HÉLIO ANTÔNIO DA SILVA

INFLUÊNCIA DO CICLO DE FURAÇÃO NA USINABILIDADE DO FERRO FUNDIDO CINZENTO GH190



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

2010

HÉLIO ANTÔNIO DA SILVA

INFLUÊNCIA DO CICLO DE FURAÇÃO NA USINABILIDADE DO FERRO FUNDIDO CINZENTO GH190

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA.**

Área de Concentração: Materiais e Processos de Fabricação.

Orientador: Prof. Dr. Álisson Rocha Machado
Co-orientador: Prof. Dr. Éder Silva Costa

UBERLÂNDIA – MG

2010

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU , MG, Brasil

S586i Silva, Hélio Antônio da, 1946-
Influência do ciclo de füração na usinabilidade do ferro fundido cinzento GH190 [manuscrito] / Hélio Antônio da Silva. - 2010.
150 f. : il.

Orientador: Álisson Rocha Machado.
Co-orientador: Éder Silva Costa.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.
Inclui bibliografia.

1. Usinagem - Teses. 2. Brocas (Ferramenta) - Teses. 3. I. Machado, Álisson Rocha, 1956- II. Costa, Éder Silva, 1965- III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. IV. Título.

CDU: 621.9

Folha de aprovação (obrigatório)

Essa página que deverá vir assinada pela Banca Examinadora será fornecida pela Secretaria de Pós-graduação após a defesa. Entretanto o aluno deverá solicitá-la somente depois de realizadas todas as correções sugeridas pela Banca e confirmadas pelo orientador.

DEDICATÓRIA

À minha esposa e filho e aos meus familiares e amigos pelo amor, incentivo e oportunidade de realizar este sonho.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Álisson Rocha Machado e Dr. Éder Silva Costa pelo incentivo, suporte técnico e orientação, imprescindíveis à realização do presente trabalho.

À Universidade Federal de Uberlândia/Faculdade de Engenharia Mecânica/Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem-LEPU pela infra-estrutura essencial à realização desta dissertação.

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais/CEFET-MG, pela oportunidade de realizar este trabalho e em especial ao Prof. Henrique Avelar pelo suporte técnico.

Aos colegas de trabalho da UFU: Sebastião Gonçalves Lima Junior, Paulo R. Mota, pelas importantes discussões e auxílio durante esta pesquisa.

Aos professores Rosemar B. da Silva e Marcos Barrozo, pelo suporte técnico.

Aos técnicos: Reginaldo F. Souza (LEPU), Cláudio Gomes do Nascimento (LEPU) e Ângela M. S. Andrade (LTM) pelo apoio na parte experimental.

Aos alunos de Iniciação Científica: Igor Mauro de Castro, Bruno Castro Rodrigues, Roger Oliveira Coelho Andrade, Thiago Larquer, Sergio Abraão Retes Junior, Frederico Mariano Aguiar e Rodrigo de Azambuja Montandon Ribeiro pelo auxílio técnico durante e após a realização dos ensaios experimentais.

À OSG Sulamericana de Ferramentas Ltda, nas pessoas do Engº Coiti Fukushima e do Sr. Hélio Kamigashima que forneceram as brocas para a realização dos ensaios.

À Teksid do Brasil pelas barras em ferro fundido GH190.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

A Deus.

DA SILVA, H. A. **Influência do Ciclo de Furação na Usinabilidade do Ferro Fundido Cinzento GH190.** 2010. 169 f. Dissertação de Mestrado, Universidade de Uberlândia, Uberlândia.

Resumo

Dentre as operações de usinagem, a furação com brocas helicoidais destaca-se por ser uma das mais utilizadas na indústria metal-mecânica. Apesar de a literatura apresentar muitas pesquisas, percebe-se que ainda existe espaço para trabalhos científicos sobre o processo de furação. O presente trabalho analisa a influência do ciclo de furação (contínuo e intermitente – conhecido popularmente como “pica-pau” ou “elimina-cavaco”) no desempenho da usinagem do ferro fundido GH190 realizada com brocas helicoidais de aço rápido, revestidas com multicamadas de TiN-TiAlN e diâmetro de 10 mm. O experimento foi baseado em um planejamento fatorial fracionário 2^{4-1} e os ensaios organizados em duas etapas, a primeira com o recuo da ferramenta de 1 mm e uma, duas e três paradas da ferramenta. A segunda etapa com três paradas ao longo do comprimento de furação e recuo de 1 mm, 3 mm e total da ferramenta. Cada ensaio foi executado em três corridas, sendo o teste e duas réplicas. A vida das brocas foi expressa em termos do número de furos usinados. Como critério de encerramento dos testes de usinagem foi adotado a falha catastrófica da ferramenta (colapso). Além da vida da ferramenta, foram considerados, também, como variáveis de saída o acabamento superficial, os desvios de circularidade e de cilindricidade e os esforços de Usinagem (F_z, M_z) monitorados. Durante os ensaios foram registradas imagens da aresta de corte, ponta e guia da broca para verificação dos níveis de desgaste. Foram empregadas diferentes velocidades de corte (45 m/min e 65 m/min), diferentes avanços de corte (0,20 mm/rev e 0,30 mm/rev) e diferentes condições para o sistema lubri-refrigerante (seco, jorro e MQF). Para efeito de comparações, dez planejamentos contendo oito ensaios cada, foram combinados e analisados. Os resultados mostraram que o ciclo de furação influencia na usinabilidade, dependendo do sistema lubri-refrigerante e do número de paradas utilizados. A velocidade de corte, o jorro e o MQF são as variáveis que mais influenciam a vida da ferramenta. Em geral houve uma relação direta entre as condições de corte e as variáveis de saída: esforços de usinagem, rugosidades (R_a e R_z) e desvios geométricos (cilindricidade e circularidade). A ação dos fluidos de corte contribui para uma melhor qualidade superficial dos furos usinados.

Palavras-chave: Ciclo de furação. Desgaste e vida da broca. Acabamento superficial. Desvios de circularidade. Cilindricidade. Forças de usinagem.

DA SILVA, H. A. Influence of Cycle Drilling Machinability in Gray Cast Iron GH190. 2010. 169 f. Master's Thesis, University of Uberlândia.

Abstract

Among the machining operations, drilling with twist drills stands out as one of the most widely used in the metalworking industry. Although the literature presents a lot of research, surely there is still room for scientific work on the drilling process. This study examines the influence of the drilling cycle (continuous and intermittent - popularly known as "pecker" or " eliminates chip") on the performance of machining of cast iron GH - 190 with HSS twist drills coated with multilayer TiN-TiAlN, diameter 10 mm. The experiments were based on a fractional factorial design 2^{4-1}. The trials were organized in two parts, first with the retrieve of the tool of 1 mm and one, two and three stops of the tool. The second part with three stops along the length of drilling and tool retrieves of 1 mm, 3 mm and total. Each test was performed in three runs, one test and two replicas. The end of tool life criterion adopted was catastrophic failure of the tool (collapse). Besides the tool life, the following output variables were also considered: the surface finish, the cylindricity deviation, roundness, thrust force (F_z) and torque (M_z) monitored. During the tests images of the cutting edge, cutting point and margin of the drills were recorded to check the levels of wear. Different cutting speeds (45 m / min and 65 m / min), feed rates (0.20 mm / rev and 0.30 mm / rev) and lubri-coolant conditions (dry, flood and MQF) were used. For comparison purposes, ten plans with eight trials each, were combined and analyzed. The results showed that the drilling cycle affects machinability, depending upon the lubri-cooling system and the number of stops used. The cutting speed, the flood and MQF systems are the variables that most influenced the tool. In general there was a direct relationship between cutting conditions and the output variables: thrust force, torque, surface roughness (R_a and R_z) and geometric deviations (roundness and cylindricity). The action of cutting fluids contributes to better surface quality of machined holes.

Keywords: Drilling cycle. Wear and tool life. Surface finish. Cylindricity deviation. Roundness. Machining forces.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Letras Latinas

ABNT ..... Associação Brasileira de Normas Técnicas
AISI ..... American Iron and Steel Institute
AFS ..... American Foundry Society
A_γ ..... Superfície de saída
A_α ..... Superfície principal de folga
A'_α ..... Superfície secundária de folga
APC ..... Aresta Postiça de Corte
CNC ..... Comando Numérico Computadorizado
D ..... Diâmetro da broca (mm)
DIN ..... Deuttsches Institut für Normung
DMS ..... Denominação comercial do fabricante do aparelho
dp ..... Passo de hélice
DP ..... Profundidade final de furação
DP ..... Profundidade final de furação
DPR ..... Profundidade final de furação relativa ao plano de referência
EP ..... Aditivo de extrema pressão
EX-BDR ..... Denominação comercial do fabricante das brocas utilizadas nesse experimento
f_c ..... Avanço de corte
Fy ..... Força transversal
Fx ..... Força radial
FUTURA ..... Denominação comercial para revestimento de multicamadas de TiN/TiAlN
F_z ..... Força de avanço
Gb ..... Gigabytes
G0 ..... Avanço rápido descontando uma distância segura para evitar choques
G1 ..... Avanço de corte programado quando da chamada de ciclo
G4 ..... Tempo de permanência
GG25 ..... Tipo de ferro fundido cinzento
GH190 ..... Tipo de ferro fundido cinzento (classificação segundo norma FIAT de 1991)
HB ..... Dureza Brinell
HRB ..... Dureza Rockwell B
HRC ..... Dureza Rockwell C
HSS ..... Aço rápido M7 convencional
HV ..... Dureza Vickers

Ncm ..... Newton centímetros
kN .....kilonewtons
KB, KT, KM ..... Parâmetros do desgaste de cratera
Kc..... Pressão específica de corte
kW.....Potência em kilowatts
kVA ..... Potência aparente em Volt-Ampérer
L/D ..... Relação comprimento diâmetro do furo
MB .....Mega bytes
MEV ..... Microscópio Eletrônico de Varredura
MHz .....Mega Hertz
MP .....Metalurgia do pó
MQF ..... Mínima quantidade de fluido de corte
MMS SE1..... Denominação comercial do fabricante do óleo
M_z.....Torque
n..... Velocidade de rotação do eixo árvore (rpm)
N ..... Newtons
Ncm ..... Newton-centímetro
Nm .....Newton-metro
OSG.....Osawa Screw Grinding
P_c ..... Potência de corte
PC..... *Personal Computer*
pC ..... Unidade de sensibilidade do sensor do dinamômetro
P_f.....Plano admitido de trabalho
P_o ..... Plano ortogonal
P_p ..... Plano dorsal
P_r..... Plano de referência
P_s ..... Plano de corte
P'_s .....Plano de corte secundário
PVD ..... *Physical Vapour Deposition*
R_a..... Rugosidade média
RAM..... *Random Access Memory*
$R_{máx}$.....Rugosidade máxima
RPM..... Rotações por minuto
R_z ..... Rugosidade média entre as rugosidades máximas dentro de cada cut-off
RTP.....Plano real de retorno (absoluto)
RFP..... Plano real de referência (absoluto)

S .....Aresta principal de corte
S'..... Aresta secundária de corte
SDIS .....Distância real segura (sem sinal)
VB_B .....Desgaste de flanco médio
VB_{Bmax} .....Desgaste de flanco máximo
V_c .....Velocidade de corte

Letras Gregas

α ..... Ângulo de folga
α_{ce} .....Ângulo de folga lateral efetivo
α_f .....Ângulo de folga lateral
α_o ..... Ângulo de folga ortogonal
α_p .....Ângulo de folga dorsal
β ..... Ângulo de cunha
β_f .....Ãngulo de cunha lateral
β_o ..... Ângulo de cunha
β_p .....Ângulo de cunha dorsal
γ ..... Ângulo de saída
γ_f..... Ângulo de saída medido no plano admitido de trabalho
γ_o ..... Ângulo de saída ortogonal
γ_p .....Ângulo de saída dorsal
δ .....Ângulo de hélice
ε_r ..... Ângulo de ponta
η .....Ângulo da direção efetiva
λ_c.....Comprimento de amostragem
λ_s..... Ângulo de inclinação
ϕ .....Ângulo de cisalhamento
σ..... Ângulo de ponta
φ.....Ângulo da direção de avanço
χ_r .....Ângulo de posição
χ'_r ..... Ângulo de posição da aresta secundária
ψ .....Ângulo da aresta transversal
Δs.....Diferença de altura de corte permitida entre as duas arestas cortantes

SUMÁRIO

Resumo.....v
Abstract.....vi
Lista de Símbolos e Abreviaturas.....vii
Capítulo I – Introdução..... 01
Capítulo II – Revisão Bibliográfica..... 05
2.1. O Processo de Furação..... 05
2.1.1. Máquinas e equipamentos utilizados na furação 08
2.2. Geometrias de Brocas Helicoidais 11
2.2.1. Perfis transversais das brocas helicoidais 19
2.3. Materiais de Ferramentas para Furação..... 22
2.3.1. Brocas de HSS 23
2.3.2. Brocas de metal duro 26
2.4. Qualidade de Furos..... 28
2.5. Esforços de Usinagem na Furação 31
2.5.1. Forças..... 32
2.5.2. Torque 34
2.5.3. Potência de usinagem..... 34
2.6. Geração e Distribuição de Calor na Furação 36
2.6.1. Distribuição de calor em usinagem 37
2.6.2. Fontes de calor..... 37
2.6.3. Medição de temperatura na furação..... 39
2.7. Desgaste e Vida das Brocas 40
2. 7.1. Formas de desgaste..... 40
2.7.2. Mecanismos de desgaste..... 41
2.7.3. Vida de brocas 46
2.7.4. Fatores que influenciam a vida das brocas..... 46
2.8. Fluidos de Corte Aplicados na Furação 48
2.8.1. Funções dos fluidos de corte 48
2.8.2. Classificação dos fluidos de corte 50
2.8.3. Método de aplicação 51
2.9. Usinagem do Ferro Fundido Cinzento..... 53
2.10. Ciclos de Furação..... 58
2.10.1. Definições..... 58
2.10.2. Tipos de ciclos de furação..... 59

2.10.3. Influência do ciclo na produtividade do processo 62
2.11. Planejamento de Experimentos 66
2.11.1. Planejamento fatorial completo 66
2.11.2. Planejamento fatorial a dois níveis 2^{k-1} 67
Capítulo III – Procedimentos Experimentais 68
3.1. Ferramentas de Corte, Materiais Usinados e Máquina-Ferramenta 69
3.1.1. Ferramenta de corte 69
3.1.2. Material usinado 70
3.1.3. Máquina-ferramenta 73
3.2. Ensaios de Furação 74
3.2.1. Etapa 1 76
3.2.2. Etapa 2 76
3.3. Meios Lubri-Refrigerantes e Sistemas de Aplicação 78
3.4. Parâmetros Monitorados / Medidos nos Experimentos 81
3.4.1. Vida e desgaste das ferramentas de corte 82
3.4.2. Qualidade dos furos usinados 83
3.4.3. Esforços de usinagem (F_z, M_z) 90
Capítulo I V – Resultados e Discussões 94
4.1. Análise Estatística dos Resultados 94
4.2. Resultados da Etapa 1 95
4.2.1. Vida das ferramentas de corte 95
4.2.2. Qualidade dos furos usinados 108
4.2.3. Desgaste nas ferramentas de corte 114
4.2.4. Esforços de usinagem F_z 118
4.2.5. Cálculo do tempo de usinagem 126
4.3. Resultados da Etapa 2 133
4.3.1. Vida das ferramentas de corte 133
4.3.2. Qualidade dos furos usinados 138
4.3.3. Desgaste das ferramentas de corte 146
4.3.4. Esforços de usinagem F_z e M_z 147
4.3.5. Cálculo do tempo de usinagem 153
Capítulo V – Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros 160
5.1. Conclusões 160
5.2. Sugestões para trabalhos futuros 162
Capítulo VI – Referências Bibliográficas 163
Capítulo VII – Anexos 172

7.1. Anexo I..... 172
7.2. Anexo II (em CD no verso da contra capa)..... 174

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

A usinagem é reconhecidamente o processo de fabricação mecânica mais popular, transformando em cavacos algo em torno de 10% de toda a produção de metais e empregando dezenas de milhões de pessoas em todo o mundo (TRENT, 1984 e TEIXEIRA, 2001). Dentro dos processos convencionais de usinagem, aqueles que utilizam ferramentas com geometria de corte definida, principalmente torneamento, fresamento e furação, predominam nas linhas da fabricação do setor metal-mecânco (KÖNIG, 1990). Esse último é de épocas remotas, quando os egípcios há 4000 anos já utilizavam o processo de furação para cortar blocos de pedra, através da abertura de furos paralelos muito próximos uns aos outros, utilizando furadeiras manuais chamadas de furadeira de arco.

Na idade média utilizou-se sílex e ossos como ferramentas em uma espécie de furadeira manual que dependia principalmente da habilidade de seu executor. Também existem registros que indicam que esta foi uma das primeiras operações executadas em metal. Mesmo ao longo de todos estes anos, a furação manteve sua importância dentro dos processos de fabricação, sendo ainda hoje de grande importância nos processos industriais. Este fato justifica plenamente o desenvolvimento de estudos contínuos com o objetivo de atingir melhoramentos técnicos e econômicos neste processo.

A importância da furação pode ser avaliada no consumo de ferramentas, que atualmente é estimado como sendo da ordem de 250 milhões de unidades por ano (Amorim, 2003 e Viana, 2004). Diferente do torneamento, a rotação ocorre no eixo da ferramenta, com avanço perpendicular à superfície a ser furada, sendo que a operação de desbaste deixa um pobre acabamento superficial que em conjunto com outros processos de fabricação provém elementos de fixação, muitas vezes de importância secundária, ou servem de acabamento através de outros processos (alargamento, brochamento). Sendo esse processo o mais barato

para obtenção de furos cilíndricos ou cônicos, a aplicação de outros processos só se justifica caso a operação apresente características que não podem ser atingidas pelo processo tradicional de furação. Todos esses fatos fazem da furação um dos principais processos de usinagem ocupando 25% do espaço em relação aos demais. Apesar da sua importância, o processo de furação durante muitos anos ficou estagnado. O surgimento de novos revestimentos de ferramentas (TiC, TiN, TiAlN, Al_2O_3, etc.), novos materiais de ferramentas (metal duro, cerâmica, nitreto de boro cúbico, diamante, etc.) e modernas geometrias para ferramentas de corte foram absorvidos inicialmente pelos processos de torneamento e fresamento não se aplicando de imediato na furação. A explicação está na exigência de alta rotação e rigidez das máquinas de furação, para serem compatíveis com estas novas tecnologias. Para exemplificar, uma broca de 10 mm, que é muito comum, para ser utilizada com velocidade compatível ao metal duro (±200m/min) demandaria uma rotação de 6400 RPM, o que é bastante alta para as furadeiras convencionais. Porém, nos últimos anos com a introdução de centros de usinagem CNC de alta rotação e rigidez, muitos desses revestimentos, materiais e geometrias têm sido incorporados ao processo de furação, o que trouxe avanços significativos. Entretanto, a broca helicoidal de aço-rápido, com ou sem cobertura, ainda é a ferramenta mais utilizada no processo de furação na indústria atual, o que torna este processo relativamente lento. A utilização de baixas velocidades de corte pode gerar a formação de aresta postiça de corte (APC), principalmente na vizinhança do centro da broca. Por outro lado, o aumento da velocidade de corte para minimizar a formação da APC, gera maiores desgastes, sobretudo na periferia da broca (DINIZ et al., 1999).

Quanto mais profundo o furo, mais difícil é a remoção do cavaco, fazendo-se necessário a interrupção freqüente do processo com a retirada da broca de dentro do furo, para que o cavaco possa ser removido e o calor gerado minimizado, principalmente quando o material usinado forma cavacos longos. Os centros de usinagem CNC possuem ciclos de furação de forma que a profundidade final é atingida após sucessivas penetrações, podendo a ferramenta recuar até um plano de referência para eliminar cavacos, ou recuar cerca de 1 mm para quebrar o cavaco. A dificuldade de controle do processo aumenta com a profundidade do furo. Para furos com diâmetros iguais ou menores que 30 mm os furos podem ter profundidade máxima de 3 a 6 vezes o diâmetro, para furos com diâmetros maiores que 30 mm a profundidade fica limitada a até 2,5 vezes o diâmetro (DE CASTRO, 2001).

No entanto, o processo de furação possui ainda várias particularidades, que são fatores complicadores do processo, dentre as quais se podem citar (DE CASTRO, 2001):

- O processo de geração do cavaco é interno (escondido) e existe um espaço limitado nos canais para a remoção dos cavacos. Com isso o transporte dos mesmos para fora da região de corte é dificultado;
- A velocidade de corte não é uniforme, variando desde zero, no centro do furo, até um máximo na periferia;
- A lubrificação/refrigeração da região de corte é comprometida e o fluido de corte chega com dificuldade (ou não chega) à parte de trabalho da ferramenta;
- Há uma distribuição inadequada de calor na região de corte;
- Ocorre atrito e desgaste pronunciado na ponta de corte e nas guias.

Este trabalho de natureza científica e tecnológica se justifica pelo fato de o processo de furação com brocas helicoidais de aço-rápido ser uma das operações de usinagem mais utilizada no setor metal-mecânico e pouco se ter estudado sobre a influência do ciclo de furação na vida de ferramentas, nos esforços de usinagem e na qualidade dos furos produzidos.

Como se pode observar, a grande maioria dos trabalhos relacionados à furação de ferro fundido é voltada às ferramentas, fluidos de corte, aos revestimentos e a comparações de usinabilidade entre materiais, mas praticamente nenhum focado no ciclo.

Os resultados apresentados neste trabalho podem ser transferidos de imediato para a indústria metal-mecânica principalmente a automotiva, onde blocos para motores possuem dezenas e até centena de furos em seus projetos. No processo de obtenção destes furos, normalmente uma boa soma de dinheiro é despendida, realçando a importância de qualquer investigação.

Este trabalho tem por **objetivo geral** de estudar a influência do ciclo de furação (avanço contínuo e intermitente) na vida das ferramentas, no desgaste das brocas e na qualidade dos furos cegos usinados produzidos em Ferro Fundido Cinzento GH -190 com brocas de aço rápido M42(8% Co), revestidas com multicamadas TiN/TiAlN.

No ciclo intermitente são estudadas as seguintes situações:

-Variação do Nº de paradas da broca (1, 2, 3 vezes) durante a usinagem do furo

-Variação do percurso de recuo da broca (1 mm, 3 mm e total, onde total significa até ao ponto de referência – 2 mm acima da superfície da peça).

O estudo da influência do ciclo de furação tem ainda os seguintes **objetivos específicos**:

-Verificar eventuais influências dos parâmetros de corte (v_c e f_c) nos resultados;

-Verificar eventuais influências das condições lubri-refrigerantes (seco, jorro e MQF) nos resultados;
- Monitorar a força de avanço (F_z) e o torque (M_z) durante a usinagem dos furos.

Os parâmetros avaliadores do desempenho são: vida (número de furos) e desgaste das brocas, rugosidades (R_a e R_z), erros geométricos (erro de cilindricidade e circularidade), os esforços de usinagem (F_z, M_z) que são monitorados em relação ao desgaste da broca e as imagens da aresta de corte, da ponta e da guia da broca, que foram registradas para estudo do desgaste.

O trabalho é dividido em 2 etapas. Na etapa 1 avalia-se o desempenho do ciclo com furação direta e intermitente com 1, 2 e 3 paradas e recuo de 1 mm da broca. Na etapa 2 avalia-se o desempenho do ciclo intermitente com 3 paradas e recuo de 1 mm, 3 mm e total da broca.

Esta dissertação está estruturada em sete capítulos, além deste. No capítulo II é apresentada uma revisão bibliográfica, em que são abordados conhecimentos teóricos necessários ao bom entendimento do trabalho. No capítulo III são descritos, detalhadamente, os procedimentos adotados para a realização dos experimentos, bem como o material usinado, ferramenta, máquinas e equipamentos utilizados na pesquisa. O capítulo IV traz a apresentação e discussão dos resultados obtidos nas duas etapas. No capítulo V são apresentadas as principais conclusões da dissertação e sugeridos temas para trabalhos futuros. As referências bibliográficas, utilizadas na pesquisa e na elaboração do texto, são apresentadas no capítulo VI, enquanto o capítulo VII traz os anexos que completam este trabalho.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O Processo de Furação

A furação é o processo mais competitivo, flexível e o mais utilizado para a realização de furos com secção circular na maioria dos materiais. Para tanto são usadas condições variadas, mas é considerado um processo de usinagem de desbaste (FERRARESI, 1977; STEMMER, 1992). A furação com brocas está incluída no grupo de processos de fabricação por usinagem com arestas de corte de geometria definida, sendo um dos processos mais utilizados entre todos os processos convencionais de usinagem. A grande maioria das peças de qualquer tipo de indústria do setor metal-mecânico tem pelo menos um furo e, somente uma parte muito pequena dessas peças, já vem com o furo pronto do processo de obtenção da peça bruta, como acontece no caso da fundição, do forjamento, etc. (COSTA, 2004).

A Fig. 2.1 demonstra em valores médios, o tempo de usinagem empregado para quatro processos e o número de operações em função do processo.

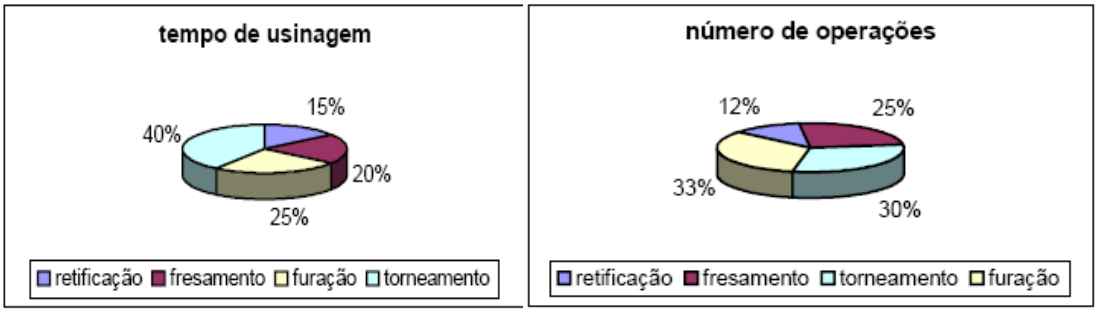


Figura 2.1 – Operações de usinagem no setor metal-mecânico (TÖNSHOFF et al., 1994)

Quase sempre o objetivo quando se usa o processo de furação é obter furos cilíndricos, por meio do movimento relativo entre a peça e a ferramenta que é denominada

broca. O movimento relativo de avanço garante a retirada contínua de material, que ocorre segundo uma trajetória coincidente com o eixo longitudinal da ferramenta. A Fig. 2.2 ilustra os movimentos de corte, de avanço e efetivo na operação de furação.

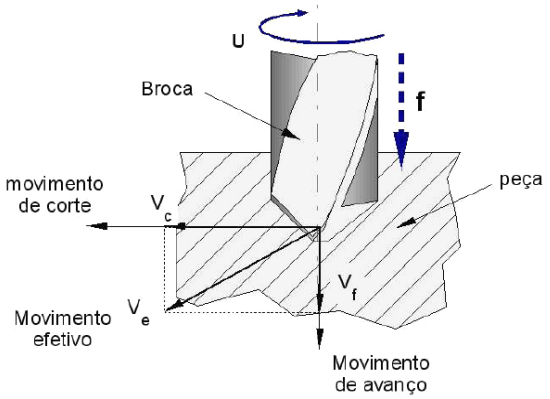


Figura 2.2 – Direção dos movimentos de corte, de avanço e efetivo, na furação (STOETERAU, 2008)

De acordo com a norma alemã DIN 8589 *apud* Castilho, 2005, a furação é definida como um processo de usinagem com movimento de corte circular, ou seja, com movimento rotativo principal. A ferramenta possui movimento de avanço apenas na direção do seu eixo de rotação, que mantém sua posição em relação à ferramenta e à peça.

Mesmo assim, os furos podem ser ainda realizados por diferentes processos, cada um com suas características e importâncias dentro da manufatura. Entre os processos mais utilizados, podem ser citados: a conformação, oxicorte, corte-plasma, corte a laser, corte por jato d'água com grãos abrasivos, eletroerosão e outros, onde a produtividade é o objetivo principal destes processos. A Fig. 2.3 apresenta algumas das formas de obtenção de furo.

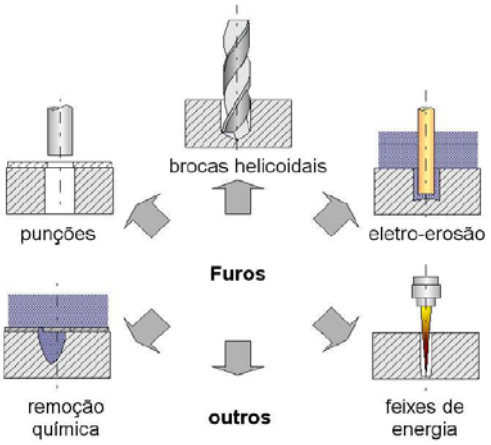


Figura 2.3 – Formas de obtenção de furos (STOETERAU, 2008)

Muitas vezes a furação é uma operação intermediária de preparação para outras operações como alargar furos com acabamentos rigorosos, serrar contornos internos e abrir roscas, conforme ilustrado na Fig. 2.4.

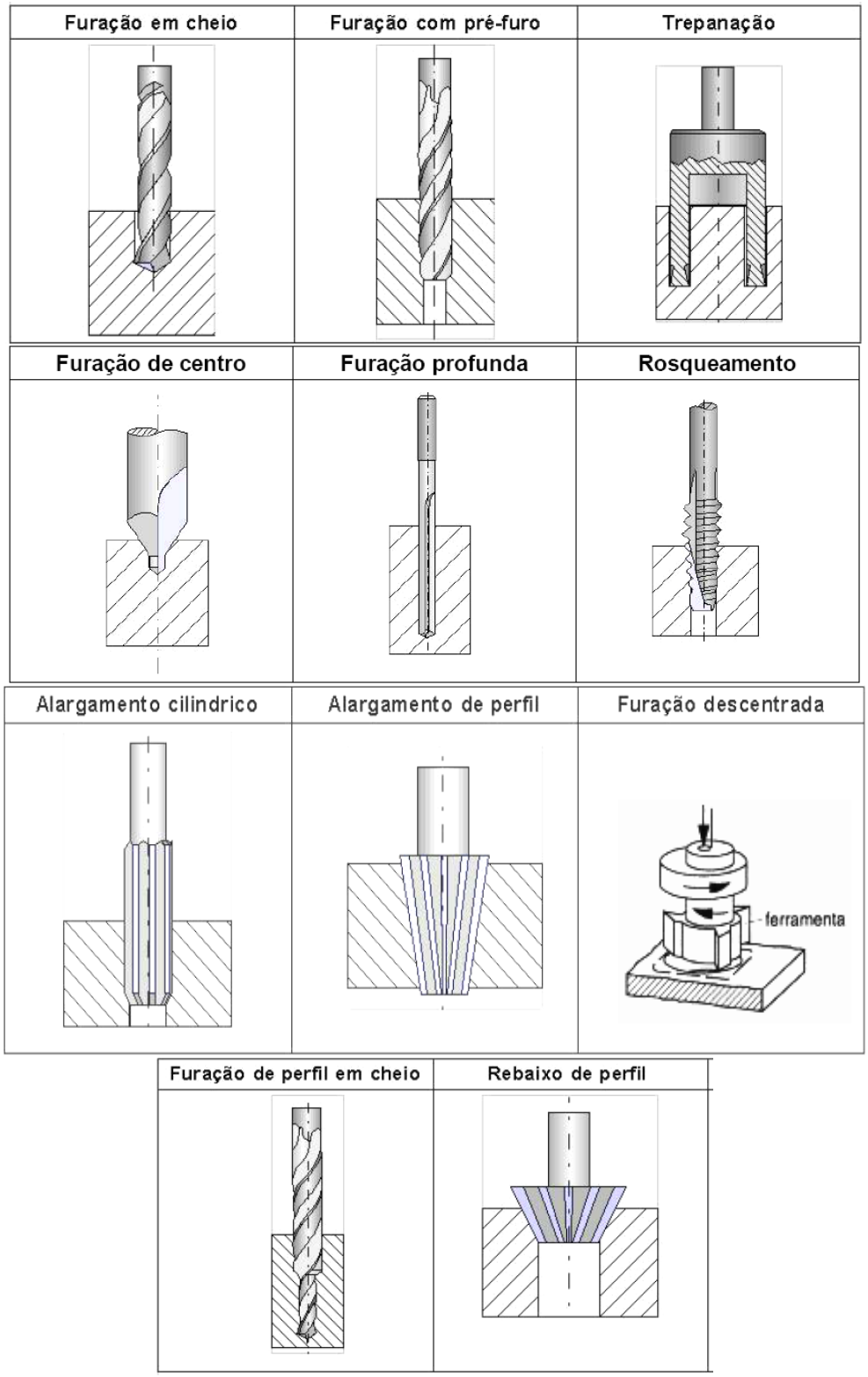


Figura 2.4 – Variações mais usuais do processo de furação (STOETERAU, 2008)

A Fig. 2.5 representa alguns tipos de furos que podem ser realizados por diferentes processos (FERRARESI, 1977). De acordo com esta figura tem-se:

(a) Furação em cheio: Processo destinado à obtenção de um furo cilíndrico em uma peça, onde todo o material contido no volume do furo é retirado na forma de cavaco;

(b) Furo com rebaixo: Processo de furação onde se tem dois diâmetros diferentes no mesmo furo, porém com profundidades diferentes. O diâmetro menor é passante e o maior tem uma menor profundidade, e geralmente é utilizado para alojar parafusos;

(c) Furo escariado: Processo de furação onde o diâmetro maior é em ângulo. Utiliza-se para alojar parafusos de cabeça chata;

(d) Furo Cego: Processo de furação onde uma parte do material contido no volume da peça que se encontra no mesmo eixo do furo não é removido, ou seja, a ferramenta não atravessa a peça.

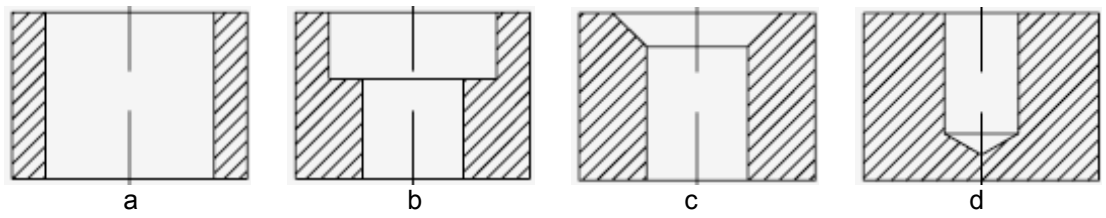


Figura 2.5 – Representação de diferentes tipos de furos: a) furo cheio; b) furo com rebaixo; c) furo escariado; d) furo cego

2.1.1. Máquinas e equipamentos utilizados na furação

Podem-se classificar as furadeiras de diversas maneiras. Quanto ao sistema de avanço, pode-se classificar como manual (ou sensitiva) ou automática (elétrico ou hidráulico). Ao contrário do que se possa parecer as furadeiras sensitivas possuem grande aplicação no meio industrial. As Fig. 2.6 a 2.14 mostram os diversos tipos de furadeiras. Quanto ao tipo de máquina pode-se classificar como: portátil, de coluna, de bancada, radial e horizontal. A furadeira de coluna, apresentada pela Fig. 2.8 é a mais encontrada em oficinas de manutenção e de produção devido a sua versatilidade. A furadeira de bancada e a furadeira radial podem ser observadas nas Fig. 2.7 e 2.9. Enquanto as furadeiras de bancada são utilizadas em pequenos serviços, as furadeiras radiais são empregadas na furação de grandes peças, o braço possui movimento de giro em torno da coluna e um carro com o sistema de acionamento da árvore principal movimenta-se por esse braço para posicionar a ferramenta. A furadeira radial pode possuir mais de uma mesa, que permite trabalhar em uma peça enquanto se está fixando outra. Também é comum deixar um fosso em um dos lados da máquina, de modo a permitir trabalhar peças grandes. No caso de

furadeiras em série pode-se ter, basicamente, dois tipos distintos de acordo com o acionamento. Podem-se ter máquinas onde cada árvore possui seu próprio motor, como mostra a Fig. 2.10, ou quando todas as árvores compartilham de um mesmo motor, como ilustrado na Fig. 2.11. As furadeiras em série são máquinas utilizadas nas linhas de produção, pois aceleram a fabricação e podem ser ajustadas para executar as várias etapas de um furo, como furar, alargar, escarear, rebaixar, etc., em sequência. Também podem ser ajustadas para efetuar diversos furos em uma só operação. Em algumas destas máquinas pode-se ajustar cada árvore livremente, dentro de seus limites, e ter sua própria velocidade de rotação. A Fig. 2.12 exibe uma furadeira CNC que possui um equipamento eletrônico capaz de receber informações através de entrada própria de dados, compilar estas informações e transmiti-las em forma de comando à máquina furadeira, de modo que, sem a intervenção do operador, realize a operação na sequência programada. Quanto ao número de árvores as furadeiras podem se classificar como: simples, quando possuem apenas uma árvore, gêmea como na Fig. 2.13, que possui duas árvores e múltipla quando possui três ou mais árvores, Fig. 2.14.

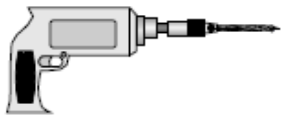


Figura 2.6 – Furadeira manual

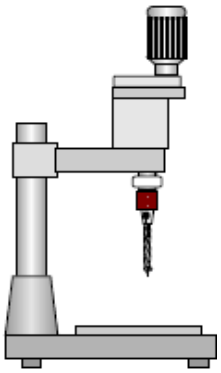


Figura 2.7 – Furadeira de bancada

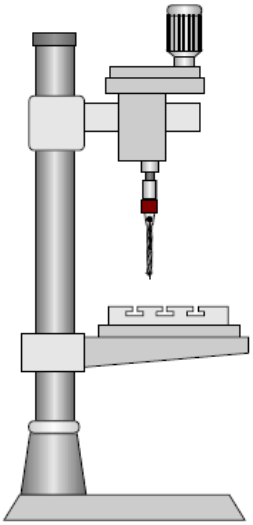


Figura 2.8 – Furadeira de coluna

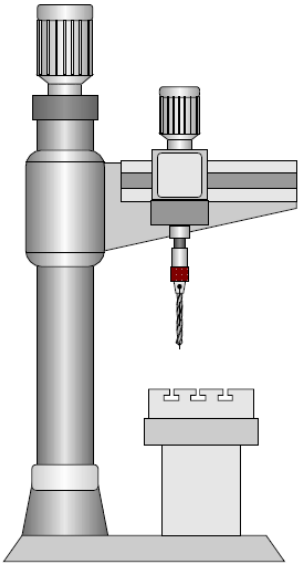


Figura 2.9 – Furadeira radial

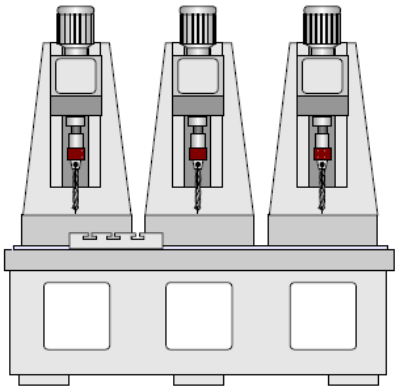


Figura 2.10 – Furadeira em série

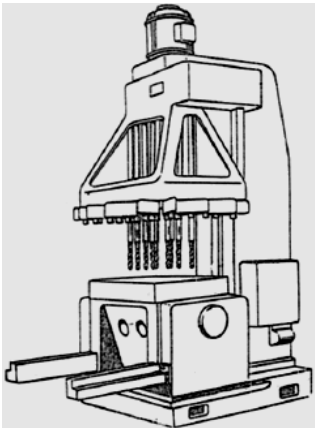


Figura 2.11 – Furadeira em série

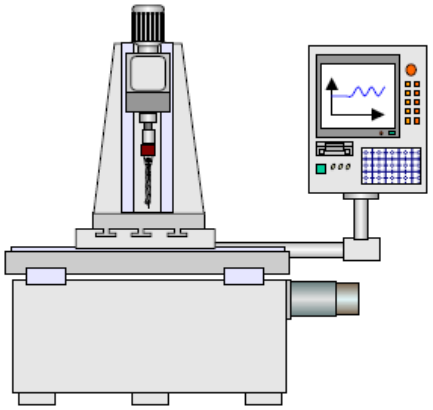


Figura 2.12 – Furadeira CNC

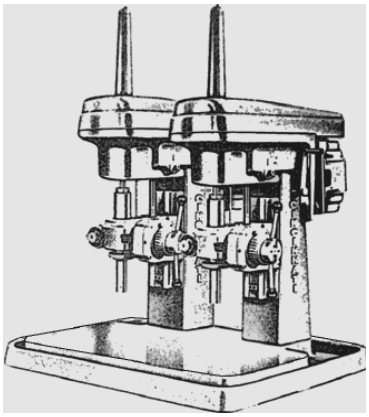


Figura 2.13 – Furadeira gêmea



Figura 2.14 – Furadeira múltipla

2.2. Geometrias de Brocas Helicoidais

O grande número de fabricantes de ferramentas de corte no mercado gera uma forte concorrência entre eles, o que, de certa forma, garante produtos de alta qualidade a preços satisfatórios (MACHADO et al., 2009).

Quanto à geometria da ferramenta de corte, esta exerce influência juntamente com outros fatores, na usinagem dos metais. É necessário, portanto, definir a ferramenta através dos ângulos da cunha cortante. A norma brasileira que trata desse assunto é a norma da ABNT NBR 6163 (1980).

Em função das suas características construtivas e aplicação na usinagem dos materiais, as brocas helicoidais possuem três tipos de hélices normalizados (MIRANDA, 2003).

- *Tipo W*: de passo curto, recomendada para materiais que formam cavacos longos, tais como liga de alumínio, magnésio, etc.;
- *Tipo N:* de passo normal, recomendada para materiais mais comuns, como aços, ferros fundidos, e materiais similares;
- *Tipo H*: de passo longo, recomendada para materiais que formam cavacos curtos, tais como ligas de cobre, ligas de zinco, borracha dura, baquelite e certos materiais plásticos.

A geometria das brocas helicoidais é controlada segundo a normalização adotada para tal (MIRANDA, 2003).

Para a descrição dos ângulos empregados numa broca helicoidal, utilizada neste estudo, faz-se necessário a conceituação de alguns termos, conforme apresentado na Fig. 2.15.

- Parte de corte: parte ativa da ferramenta formada pelas cunhas de corte com as respectivas arestas de corte;
- Cunha de corte: é a cunha da ferramenta formada pela intersecção das superfícies de saída e de folga. Através do movimento relativo entre a peça e a ferramenta, formam-se os cavacos sobre a cunha de corte;
- Superfície de saída ($A\gamma$): é a superfície da cunha de corte, sobre a qual o cavaco é formado e sobre a qual o cavaco escoa durante sua saída da região do trabalho de usinagem;
- Superfície principal de folga ($A\alpha$): é a superfície da cunha de corte da ferramenta que contém a aresta principal de corte e que defronta com a superfície principal de usinagem;

- Superfície secundária de folga (A'α): é a superfície da cunha de corte da ferramenta que contém a sua aresta de corte secundária principal e que defronta com a superfície em usinagem secundária;
- Aresta principal de corte (S): é a aresta da cunha de corte formada pela intersecção das superfícies de saída e de folga principal. Gera na peça a superfície principal de usinagem;
- Aresta secundária de corte (S'): é a aresta da cunha de corte formada pela intersecção das superfícies de saída e de folga secundária. Gera na peça a superfície secundária de usinagem;
- Ponta de corte: parte relativamente pequena da cunha de corte onde se encontram as arestas principal e secundária de corte. A ponta de corte pode ser a intersecção das arestas, ou a concordância das duas arestas através de um arredondamento, ou o encontro das duas arestas através de um chanfro (DINIZ et al., 1999).

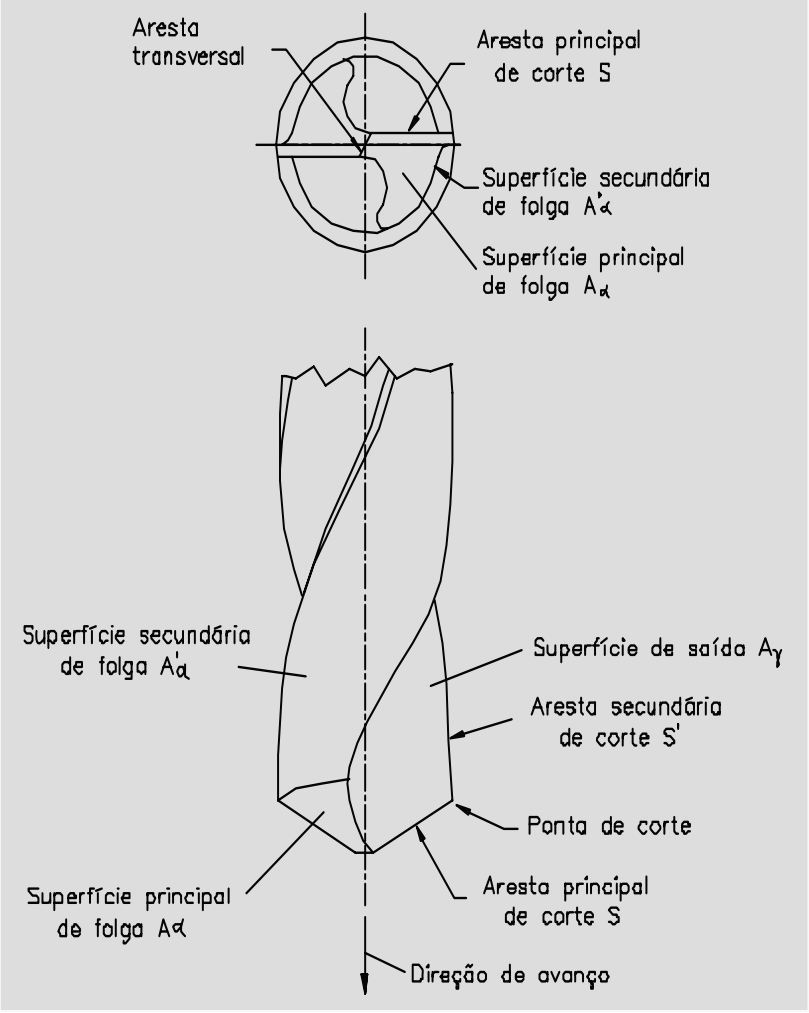


Figura 2.15 – Arestas e superfícies de corte de uma broca helicoidal (ABNT 6163, 1980)

Os ângulos definidos no sistema de referência da ferramenta chamam-se ângulos da ferramenta. Os ângulos da ferramenta referem-se ao ponto de corte escolhido. Os principais planos e ângulos são indicados a seguir nas Fig. 2.16 e 2.17, respectivamente.

- Ângulo de posição da ferramenta (χ_r): é o ângulo entre o plano de corte da ferramenta (P_s) e o plano admitido de trabalho (P_f), medido no plano de referência da ferramenta (P_r);
- Ângulo de posição da aresta secundária da ferramenta (χ'_r): é o ângulo entre o plano de corte secundário da ferramenta (P'_s) e o plano admitido de trabalho (P_f), medido no plano de referência da ferramenta (P_r);
- Ângulo de ponta da ferramenta (ε_r): é o ângulo entre os planos principal de corte (P_S) e o secundário de corte (P'_s), medido no plano de referência da ferramenta (P_r);
- Ângulo de inclinação da ferramenta (λ_s): é o ângulo entre a aresta de corte e o plano de referência da ferramenta (P_r), medido no plano de corte da ferramenta (P_s);
- Ângulo de saída da ferramenta (γ): é o ângulo entre a superfície de saída (A_γ) e o plano de referência da ferramenta (P_r) definido num dos planos: ortogonal da ferramenta (P_o), sendo, neste caso, o ângulo de saída ortogonal (γ_o) ou plano admitido de trabalho (P_f), quando será o ângulo de saída lateral (γ_f), ou ainda plano dorsal (P_p), quando será o ângulo de saída dorsal (γ_p);
- Ângulo de cunha da ferramenta (β): é o ângulo entre as superfícies de saída (A_γ) e de folga (A_α). Pode ser definido num dos planos: plano ortogonal da ferramenta (P_o), sendo, neste caso, o ângulo de cunha ortogonal da ferramenta (β_o) ou plano admitido de trabalho (P_f), quando será o ângulo de cunha lateral da ferramenta (β_f) ou ainda plano dorsal da ferramenta (P_p), quando será o ângulo de cunha dorsal da ferramenta (β_p);
- Ângulo de folga da ferramenta (α): é o ângulo entre a superfície de folga (A_α) e o plano de corte da ferramenta (P_s). Pode ser definido sobre um dos planos: plano ortogonal da ferramenta (P_o) sendo, neste caso, o ângulo de folga ortogonal da ferramenta (α_o) ou plano admitido de trabalho (P_f), quando será o ângulo de folga lateral da ferramenta (α_f) ou ainda, plano dorsal da ferramenta (P_p), quando será o ângulo de folga dorsal da ferramenta (α_p);

Para os ângulos de folga, de cunha e de saída definidos nos planos ortogonal da ferramenta (P_o), admitido de trabalho (P_f) e dorsal da ferramenta (P_p), valem as seguintes relações:

$$\alpha_o + \beta_o + \gamma_o = 90^\circ,\ \alpha_f + \beta_f + \gamma_f = 90^\circ,\ \alpha_p + \beta_p + \gamma_p = 90^\circ \qquad (2.1)$$

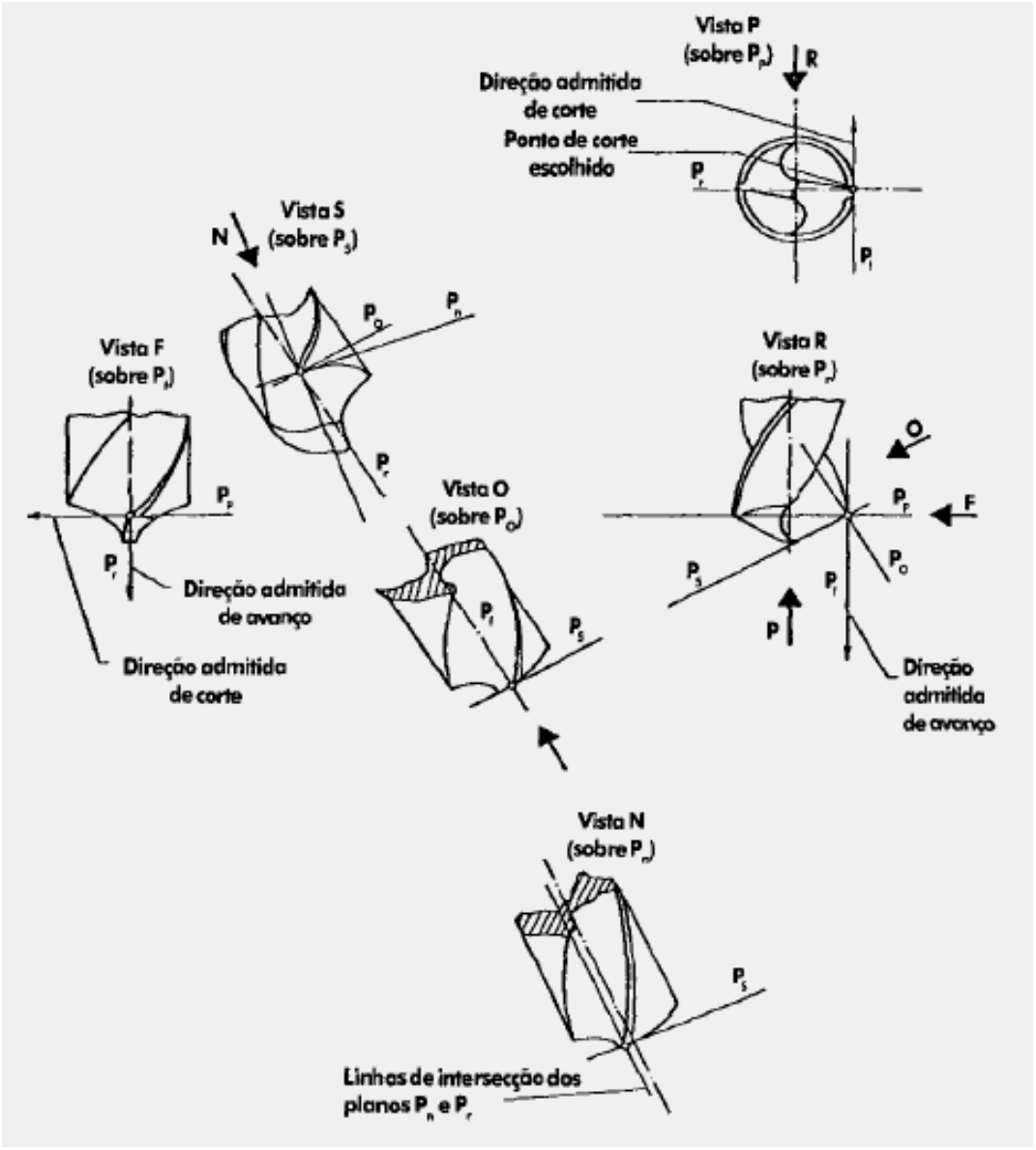


Figura 2.16 – Planos do sistema de referência da ferramenta na broca helicoidal (NBR 6163, 1989)

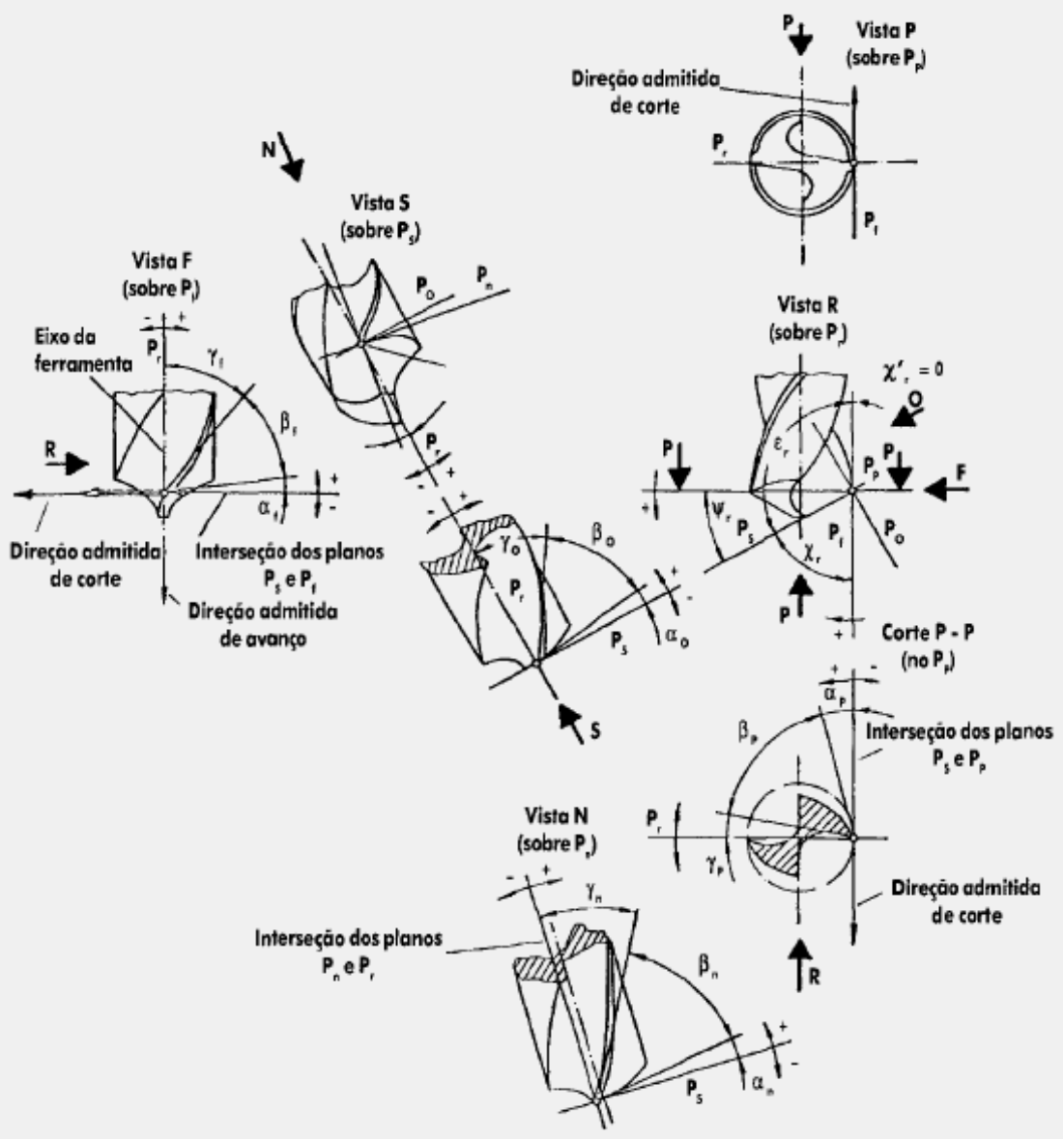
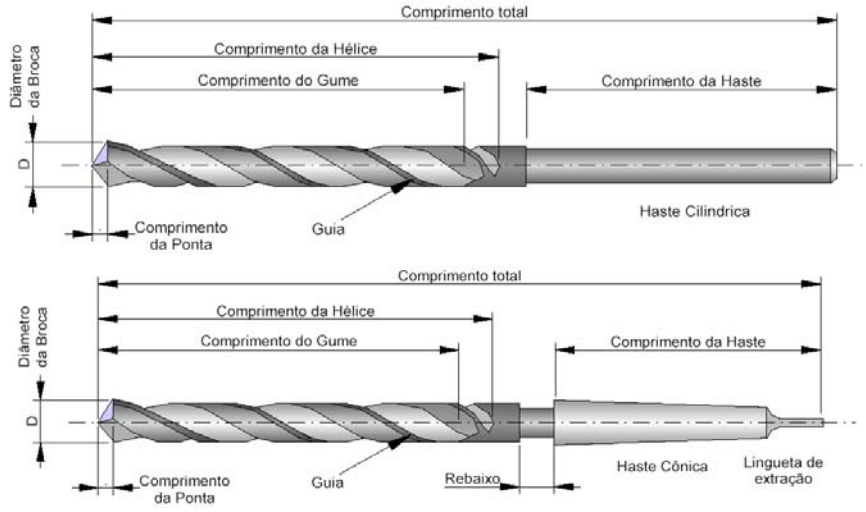


Figura 2.17 – Ângulos da ferramenta numa broca helicoidal (NBR 6163, 1989)

A broca helicoidal, como ferramenta, é normalizada de acordo com suas características construtivas e geométricas, como ilustrado na Fig. 2.18.

Para fins de fixação e afiação a broca pode ser dividida em três partes: haste, ponta e corpo. A haste é a parte que fica presa à máquina, podendo ser cilíndrica ou cônica dependendo de seu diâmetro e modo de fixação. As hastes cônicas são geralmente utilizadas para diâmetros maiores que 25 mm, com o objetivo de reduzir o batimento radial. As hastes cilíndricas são normalmente empregadas para brocas de diâmetros menores que 25 mm.



Figuras 2.18 – Constituintes da broca helicoidal (STOETERAU, 2008)

O corpo é a parte que serve de guia e corresponde ao comprimento útil da ferramenta. No corpo da broca destaca-se (STEMMER, 1995; TEIXEIRA, 1995):

- *Canais helicoidais*: são as superfícies de saída da ferramenta. Permitem a saída dos cavacos e possibilitam a chegada do fluido de corte nas arestas. O comprimento do canal helicoidal também pode variar dependendo do diâmetro da broca e do comprimento do furo que se deseja usinar. Os canais devem ser largos o suficiente para garantir a remoção dos cavacos, porém, o aumento excessivo do tamanho dos canais reduz a resistência do corpo da broca, o que pode resultar em deformações e vibrações não toleráveis. As brocas helicoidais convencionais têm dois canais, porém, principalmente na furação de plásticos, pode-se usar uma broca com apenas um canal, ou mais de dois canais quando se deseja dar acabamento em furos pré-usinados;
- *Guias:* a superfície externa de uma broca helicoidal apresenta duas regiões (uma em cada aresta de corte) que tem diâmetro maior que o diâmetro das paredes da broca. Tais regiões são denominadas guias e elas têm duas funções básicas, que são guiar a broca dentro do furo e evitar que toda parede externa da broca atrite com as paredes do furo, diminuindo assim os esforços necessários para a furação;
- *Diâmetro (D):* é medido entre as duas guias da broca. Normalmente tem tolerância dimensional h8. A broca é retificada no seu diâmetro em direção à haste com uma leve conicidade, reduzindo-se o seu diâmetro em direção à haste de 0,02 a 0,08 mm por 100 mm de comprimento;
- *Núcleo:* parte interior da broca de diâmetro normalmente igual a 0,16xD. Serve para conferir rigidez à broca;

- *Aresta lateral (secundária) de corte:* situada na extremidade da guia. A aresta secundária de corte exerce influência significativa no acabamento da parede do furo usinado.

A ponta da broca é a extremidade cortante que recebe a afiação. Podemos destacar na ponta da broca:

- *Arestas de corte:* numa broca helicoidal convencional, as duas arestas principais de corte não se encontram em um ponto, mas existe uma terceira aresta ligando-as. Esta terceira aresta é chamada de aresta transversal de corte. Cada aresta principal de corte pode ser encarada de forma análoga a uma ferramenta de corte simples. O comprimento da aresta transversal da broca depende do diâmetro da alma (núcleo da broca). Esta aresta corta em condições extremamente desfavoráveis (velocidade de corte muito baixa, ângulo de saída negativo), de forma que o material deformado por ela não forma cavaco e sim é extrudado radialmente. No centro da broca a velocidade de corte efetiva é igual à velocidade de avanço, ou seja, a velocidade de corte é zero e sobre toda a aresta de corte transversal a velocidade de corte é muito baixa;
- *Superfície de folga (flanco):* Esta superfície é inclinada de modo que a broca entre em contato com o material da peça apenas na faixa das arestas principais e aresta transversal de corte;
- *Ponta de corte (quina):* É na ponta de corte que ocorrem as mais altas velocidades de corte e solicitações térmicas e mecânicas;
- *Superfície de saída (face):* é a superfície da cunha de corte, sobre a qual o cavaco se desliza.

A norma DIN 1414 (1977) fixa os critérios de aceitação da diferença de altura de corte permitida, Δs, entre as duas arestas cortantes.

Os valores normalmente empregados do ângulo de hélice (medidos na periferia da broca) são os seguintes:

- dp = 20° a 30° (passo normal), empregado em brocas do tipo N, onde o ângulo de ponta vale 118° e 130°;
- dp = 10° a l5°(passo longo), empregado em brocas do tipo H, onde os ângulos de ponta normalmente empregados valem entre 80° e 140°;
- dp = 35° a 40°(passo curto), empregado em brocas do tipo W, onde o ângulo de ponta normalmente empregado é da ordem de 130°.

O ângulo de saída lateral da broca γ_f (ângulo de saída medido no plano admitido de trabalho P_f) coincide com o ângulo de hélice dp (Fig. 2.17) e é variável ao longo do diâmetro da ferramenta (Fig. 2.19).

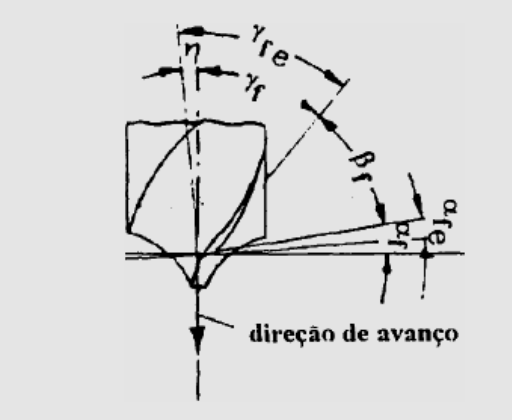


Figura. 2.19 - Geometria da parte de corte de uma broca helicoidal

Os ângulos normalmente possíveis de serem alterados após a fabricação de uma broca helicoidal são aqueles localizados no plano admitido de trabalho P_f, mesmo assim, somente os ângulos laterais de folga α_f, e consequentemente o de cunha lateral β_f, Fig. 2.20.

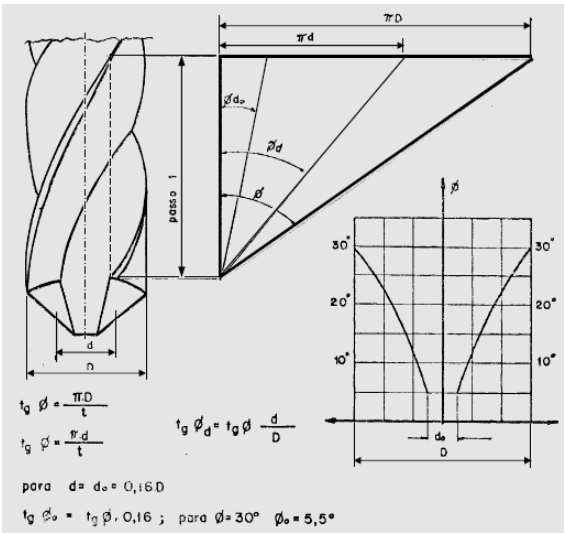


Figura 2.20 - Variação do ângulo de hélice de uma broca em função do diâmetro (FERRARESI, 1972)

Os ângulos de folga (medidos nos diversos planos da ferramenta) não podem ser nulos ou negativos e isto é extremamente importante nas brocas helicoidais, quando da

afiação ou reafiação delas. De acordo com a Fig. 2.19, o ângulo de folga lateral efetivo α_{fe} vale:

$$\alpha_{fe} = \alpha_f - \eta \tag{2.2}$$

Com a variação do diâmetro da broca, o ângulo da direção efetiva η se altera, pois para os processos onde o ângulo da direção de avanço φ vale 90° (caso da furação), é dado pela expressão (ABNT NB 204, 1989):

$$tg\,\eta = \frac{f}{\pi D} \tag{2.3}$$

Pela Eq. (2.3), verifica-se que o ângulo da direção efetiva é função do avanço e do diâmetro da broca. Para um determinado avanço, o ângulo η variará em cada ponto da ferramenta, dependendo em qual diâmetro se está calculando o mesmo. Portanto, à medida que se caminha para a região central da broca, maior será o valor do ângulo. Deste modo, o valor de η será maior na região central do que na periferia da ferramenta.

Na Eq. (2.2) verifica-se, que o valor do ângulo de folga lateral efetivo α_{fe} poderá, em algum ponto da broca, dependendo do valor do ângulo lateral de folga $\alpha_{f,}$ ser negativo ou nulo. Para que isto não aconteça, é necessário que o valor do ângulo lateral de folga $\alpha_{f,}$ tenha um valor positivo e suficiente, para ser maior que o valor do ângulo da direção efetiva η em toda a extensão do diâmetro. Assim, caso se deseje trabalhar com um avanço de, por exemplo, 0,32 mm/volta em uma broca com diâmetro de 10 mm, o valor do ângulo η, próximo à região central, valerá:

$$tg\eta = \frac{0,32}{\pi \times 0,16 \times 10} = 0,06 \Rightarrow \eta = 3,6° \tag{2.4}$$

Desta forma, para que em nenhum ponto da broca o ângulo de folga lateral efetivo α_{fe} seja negativo, o valor do ângulo lateral de folga α_f (ângulo ajustável nas afiadoras de brocas) deverá ser maior que 3,6° (NOVASKI, 1996).

2.2.1. Perfis transversais das brocas helicoidais

a) Perfil do tipo I

Estudos (MASUHA, 1980 apud MIRANDA, 2003) estabelecem, após análise sistemática das secções transversais utilizadas, três grupos de perfis (Fig. 2.21). O primeiro grupo contém os perfis clássicos desenvolvidos ao longo de vários anos e que já são normalizados (DIN 1412, 1977; DIN 1414, 1977; DIN 1836, 1977).

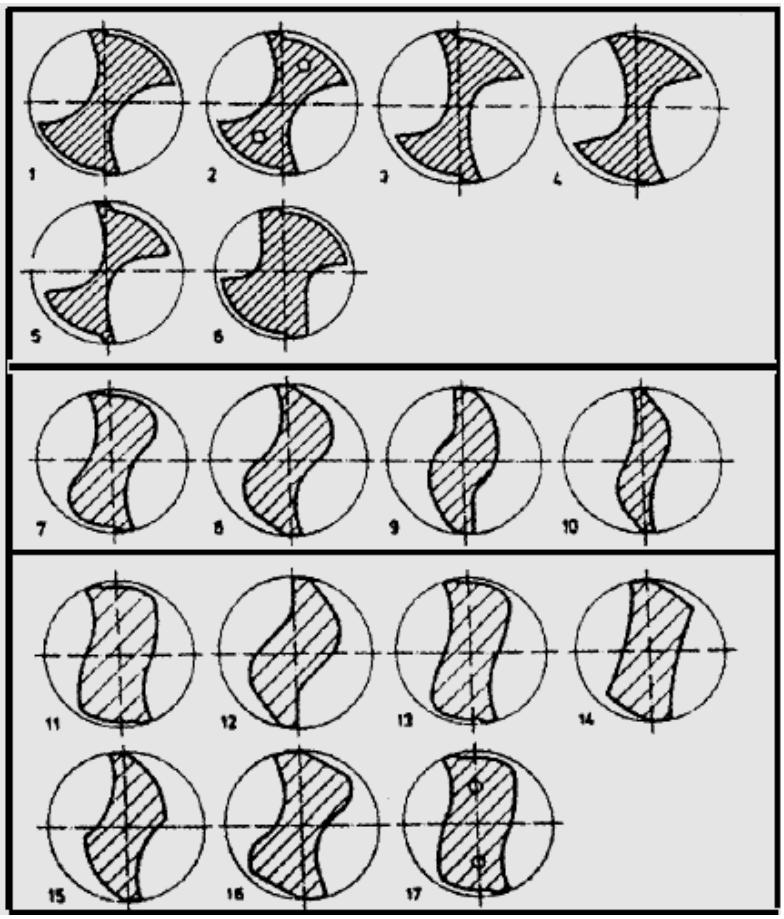


Figura 2.21 - Perfis das brocas helicoidais (MASUHA, 1980 apud MIRANDA, 2003)

Nos perfis "classificados" como do tipo I, verificam-se as seguintes características (MASUHA, 1980 apud MIRANDA, 2003):

- Uma guia com largura entre 0,0025 e 0,15D;
- Um diâmetro do núcleo entre 0,08 e 0,2D e um aumento do diâmetro do núcleo no sentido da haste variando entre 1,4 e 1,8 mm em 100 mm;
- Uma secção transversal, que compreende entre 35% e 45% da secção total do círculo.

Para aumento da resistência da broca são aumentados: o diâmetro do núcleo e o diâmetro da superfície secundária de folga (tipo 6). Para melhorar a refrigeração na ponta da broca, este tipo de perfil comporta canais de refrigeração (tipo 2). Para brocas utilizadas em máquinas do tipo automáticas, prevê-se a utilização de brocas com o diâmetro do núcleo reduzido (tipo 5).

b) Perfil do tipo II

Surge através de desenvolvimentos realizados a partir dos perfis do tipo I. Algumas características observadas nestes perfis são:

- Uma guia arredondada, fazendo com que praticamente não seja mais possível determinar-se o diâmetro da superfície secundária de folga;
- Um núcleo mais reforçado, com diâmetro variando entre 0,2 e 0,28D, no entanto, não mais aumentando no sentido da haste (tipos 7 e 8);
- Uma guia bastante delgada, fazendo com que o atrito entre a guia e a parede do furo seja diminuído.

O aumento do núcleo depende da utilização. Na furação de materiais com baixa resistência à tração, o núcleo não precisa ser aumentado (tipo 10). As brocas com estes perfis possuem ângulos de ponta variando entre 125° e 130° e ângulo de hélice > 35°. Normalmente se empregam estes perfis com afiação do tipo cruzada que consiste em retificar um plano inclinado nos flancos da ferramenta, eliminando total ou parcialmente a aresta transversal.

c) Perfil do tipo III

Tipo de perfil desenvolvido para furações difíceis. Como características deste tipo de perfil têm:

- Perfil aproximadamente romboidal, limitado por curvas aproximadamente paralelas entre si;
- Núcleo extremamente reforçado, em tomo de 0,3 e 0,4D. O núcleo não varia ao longo do comprimento da broca;
- Uma guia extremamente delgada, diminuindo o atrito entre a guia e a parede do furo.

Estes perfis são adequados para furações com comprimentos acima de 5xD, em função da sua elevada estabilidade. O ângulo de saída é, normalmente, mais elevado do que nas brocas normalizadas do tipo N, com ângulo de ponta em torno de 125 a 130° e ângulo de hélice entre 30° e 45° (NOVASKI, 1996).

2.3. Materiais de Ferramentas para Furação

O processo de usinagem, que utiliza como ferramenta um material mais duro que o da peça, é a operação mais comum entre os processos de fabricação existentes. Baseado no princípio da dureza relativa, o surgimento de novos materiais e ligas estruturais com excelentes propriedades de resistência mecânica e elevada dureza contribui para o aparecimento de novos materiais de ferramentas mais resistentes para as operações de usinagem.

Por outro lado, a usinagem de materiais frágeis e/ou operações de cortes interrompidos (como no caso do fresamento, por exemplo) requerem materiais de ferramentas com suficiente tenacidade para suportarem os choques e os impactos inerentes a tais processos.

Como dureza e tenacidade são duas propriedades opostas (normalmente alta dureza significa baixa tenacidade e vice-versa), o balanço destas propriedades nos materiais de ferramentas de corte se tornou um desafio para os fabricantes. Mais uma vez dedicação em estudos e investimentos na pesquisa mostra-se eficientes, pois hoje se pode encontrar no mercado grande número de ferramentas com invejáveis características simultâneas de tenacidade e dureza. A conciliação dessas propriedades foi conseguida com a produção de ferramentas com diferentes composições químicas, tamanho de grãos finos e total controle dos processos de fabricação e tratamento térmico, o que lhes confere um grau de pureza e qualidade excepcionais (MACHADO et al., 2009).

As principais propriedades que um material de ferramenta de corte deve apresentar são listadas abaixo, não necessariamente em ordem de importância. Dependendo da aplicação, uma ou mais propriedades podem se destacar (MACHADO et al., 2009).

- Alta dureza;
- Tenacidade suficiente para evitar falha por fratura;
- Alta resistência à compressão;
- Alta resistência ao cisalhamento;
- Boas propriedades mecânicas e térmicas a temperaturas elevadas;
- Alta resistência ao choque térmico;
- Alta resistência ao impacto;
- Ser inerte quimicamente.

Dentre os diferentes materiais utilizados para a confecção de brocas, destacam-se o aço rápido (HSS) e o metal duro. Ambos os materiais encontram um vasto campo de

aplicação nas empresas de manufatura e as brocas de metal-duro apresentam cada vez mais uma fatia maior no mercado de ferramentas para furação.

2.3.1. Brocas de HSS

De todos os tipos de ferramentas empregados na indústria, as brocas requerem a mais alta combinação de resistência à torção e tenacidade. O aço rápido da qual elas são feitas, deve ser capaz de ser conformado em arestas de corte que não se lascarão rapidamente e um corpo que resistirá tensões de torção e flexão.

Elas devem também ter boas propriedades de dureza ao rubro, uma vez que o corte final de uma broca enterrada no furo está mais intimamente em contato com o cavaco quente que está se formando do que acontece com outras ferramentas. Na combinação de propriedades das brocas são necessárias grande dureza e tenacidade e dureza ao rubro mais moderada. São estas as qualidades comuns mostradas de um aço rápido, M-1, M-2, M-7, M-10 e T-1. Uma boa prova de que estes aços apresentam a melhor combinação de tais propriedades reside no fato de que elas constituem o maior percentual de aços rápidos utilizados para a fabricação de brocas. A classe de molibdênio na maioria dos casos é uma opção mais econômica do que o tungstênio tipo T-1. Uma maioria significativa de todas as brocas de aço de alta velocidade hoje é feita de molibdênio, os tipos com um aumento crescente têm mostrado preferência para M-7 e M-10 (METAL CUTTING TOOLS HANDBOOKS, 1989).

Nos últimos anos tem havido uma tendência para a usinagem de componentes metálicos após tratamento térmico com um nível de dureza cada vez maior. Ao mesmo tempo, têm aparecido novas ligas-térmicas resistentes. Estas são geralmente ligas de alto teor de elementos de liga e são consideravelmente mais difíceis do que as anteriores para usinar. Estas tendências têm necessitado a utilização de máquinas de furar e equipamentos de apoio ao trabalho com uma construção mais rígida e tem exigido também a construção de brocas mais consistentes. Elas também tornaram necessárias, em algumas aplicações, o uso de materiais para brocas de maior dureza ao rubro e resistência à abrasão do que o aço rápido padronizado (METAL CUTTING TOOLS HANDBOOKS, 1989).

Aços rápidos de qualidades especiais, com maiores teores de carbono, vanádio e alguns que contêm adições de cobalto, têm sido usados com sucesso na furação de aço de baixa liga e de dureza relativamente alta, bem como muitas das ligas resistentes termicamente. Os tipos de aços rápidos contendo cobalto têm maior dureza ao rubro, melhor do que a classe padrão; todos aqueles que contêm carbono mais elevado e vanádio têm maior resistência à abrasão. Melhorias na resistência à abrasão e dureza ao rubro, são

acompanhados por alguma diminuição da tenacidade e esse fato deve ser considerado quando se estiver usando brocas feitas destas classes especiais.

Estas classes especiais implicam custos unitários mais elevados do material da ferramenta e, por causa do aumento da resistência à abrasão, maior custo de fabricação da ferramenta. A economia na utilização dos materiais da ferramenta que envolva custos de materiais e de fabricação mais elevados deverá ser sempre calculada, considerando juntamente o desempenho da broca.

Em brocas de aços especiais de alta velocidade predomina o uso de aços a base de molibdênio sobre o uso à base de tungstênio e aços especiais aplicados nas brocas de torção. As classes M-3, F-33 e M-42 são típicas dos aços especiais de alta velocidade que tiveram uso comum por algum tempo. A classe T-15 é o único aço rápido especial à base de tungstênio usado com alguma regularidade nas brocas de torção. Os aços rápidos podem também ser fabricados pelo processo de metalurgia do pó, MP. O processo MP produz a mesma composição de aços rápidos que são produzidos convencionalmente. Esse processo também pode usar combinações de elementos de liga e em quantidades práticas não convencionais de transformação.

Tratamentos superficiais e revestimentos

As superfícies das brocas foram modificadas de várias formas ao longo dos anos para melhorar a seu desempenho. Esta tendência vai continuar com novos processos e técnicas que estão sendo desenvolvidas. Os principais mecanismos destes tratamentos têm sido para aumentar a resistência à abrasão, aumentar a lubricidade e para reduzir a aresta postiça de corte relacionada com soldagem de cavacos. Os seguintes tratamentos e revestimentos são os mais comuns em uso hoje (METAL CUTTING TOOLS HANDBOOKS, 1989):

1. Nitreto – Uma camada superficial muito dura de azoto a qual forma compostos de metal reforçado para proporcionar resistência à abrasão;
2. Óxido de Vapor – Um óxido de ferro é formado na superfície de um forno quando aplicado vapor sob calor moderado. O óxido age como um lubrificante e reduz soldadura em aplicações de ferrosos. Nitrito e vapor são muitas vezes utilizados como tratamentos complementares;
3. Cromagem – Este revestimento de superfície aumenta a lubricidade e diminui a aderência de cavacos. Na operação de furação, é muitas vezes aplicada em materiais não-ferrosos. Por vezes, é aplicada a uma superfície nitritada;

4. Nitreto de Titânio – Reduz a fricção e soldadura de cavacos, e funciona como um isolante térmico entre o cavaco e a ferramenta. As áreas de aplicação onde ela parece ter o maior potencial estão em materiais ferrosos abaixo 40 HRC de dureza, e de materiais não-ferrosos.

Em função das suas propriedades, os revestimentos utilizados nas ferramentas de usinagem são classificados como endurecedores ou lubrificantes. As camadas do primeiro tipo possuem dureza, frequentemente superior a 2.500 HV (apenas a título de comparação, o metal duro tem dureza entre 1.500 e 2.000 HV). Essas camadas, além do reduzido desgaste por abrasão, proporcionam pouca adesão dos cavacos gerados na usinagem. Isto, por sua vez, leva à redução do desgaste por adesão, coeficiente de atrito e forças de corte (SCHULTZ et al., 2000). A Tab. 2.1 mostra os desenvolvimentos dos revestimentos, particularmente aqueles à base de titânio.

Tabela 2.1 - Propriedades de alguns revestimentos (SCHULTZ et al., 2000)

Tipo	**Espessura típica (μm)**	**Microdureza HV 0,05**	**Resistência à oxidação (ºC)**	**Coeficiente de atrito**
TiN	1 a 5	2.100 a 2.600	Até 450	0,4
TiCN	1 a 5	2.800 a 3.200	Até 350	0,25 a 0,4
TiAlN	1 a 5	2.600 a 3.000	Até 700	0,3 a 0,4
TiAlCrYN	1 a 5	2.600 a 3.000	Até 950	0,3 a 0,4

Revestimentos cerâmicos à base de óxido de alumínio (Al_2O_3) geralmente são usados apenas em combinação com outros tipos de camadas.

As camadas lubrificantes têm uma camada de material duro como base, por cima da qual é depositada uma camada de material macio (por exemplo, bissulfeto de molibdênio, MoS_2) ou uma segunda camada de material duro com propriedades lubrificantes (por exemplo, carbono contendo metal - WC/C). Em ambos os casos o objetivo é reduzir o atrito, possibilitando a usinagem sem fluido de corte ou, pelo menos, a usinagem com mínima quantidade de lubrificante (MQL).

Na usinagem sem fluido de corte, as funções dos fluidos de corte podem ser parcialmente substituídas pela introdução de revestimentos sobre o substrato das ferramentas. O revestimento permite a separação entre a ferramenta e o cavaco. O coeficiente de atrito que surge entre esse par de materiais é muito pequeno e atua no sentido de reduzir as forças decorrentes da fricção, assim como, em decorrência, a geração de calor na zona de contato.

O calor gerado devido à camada de revestimento não pode penetrar indiscriminadamente no substrato protegendo termicamente o material da ferramenta. Dessa forma, é conveniente que a camada de revestimento apresente dureza a quente mais alta. Uma melhor resistência ao desgaste a quente é um fator importante na usinagem sem fluido de corte.

Quando é feita a usinagem sem fluido de corte de ligas de alumínio, os maiores problemas são: a adesão de material e o acúmulo de resíduos de cavaco por adesão sobre a ferramenta. Revestimentos de diamante ainda são os mais adequados, devido à sua baixa tendência à adesão.

Onde o desgaste por adesão atua de forma secundária, os revestimentos à base de titânio são os mais indicados. As camadas de TiAlN se caracterizam por apresentar maior dureza a quente, sendo bastante adequadas na usinagem sem fluido de corte. O TiCN, por outro lado, só apresenta alta dureza sob temperaturas relativamente baixas, mas em compensação tem maior tenacidade. Exemplo de aplicação: usinagem sem fluido de corte de furos rosqueados.

2.3.2. Brocas de metal duro

O metal duro é um material sinterizado, composto por carbonetos ligados por um ligante metálico, geralmente o cobalto, que proporciona tenacidade ao conjunto, sendo que a dureza a quente e a resistência ao desgaste é proporcionada pelos carbonetos (FERRARESI, 1977).

Brocas maciças ou com pastilhas de carboneto são bastante utilizadas na furação de ferro fundido, metais não-ferrosos e materiais não metálicos. As brocas de vários sulcos, de pastilhas de carboneto com passagens para conduzir refrigerante para a ponta onde furar, estão encontrando uso onde são necessários furos com tolerância de retidão, tamanho estreito e paralelismo. Elas têm sido usadas eficazmente sobre uma grande variedade de ligas ferrosas e não ferrosas (METAL CUTTING TOOLS HANDBOOKS, 1989).

Muitas brocas de matriz reforçada de pastilha de carboneto têm sido usadas com sucesso na furação de ligas de relativamente baixa e alta dureza e para muitas ligas resistentes termicamente. Um *setup* rígido de máquina é necessário para esse efeito.

A seleção de um carboneto sinterizado como material para brocas, depende do tipo de material a ser furado e do número de furos a ser perfurado. As classes à base de WC + Co, são utilizadas para a grande maioria das aplicações de perfuração com metal duro. As pontas de carboneto devem ser solidamente apoiadas no corpo da broca. O corpo da broca de aço rápido endurecido fornece um apoio sólido para as pontas, de metal duro com

capacidade de resistência à abrasão e margens de resistência ao desgaste (METAL CUTTING TOOLS HANDBOOKS, 1989).

As brocas de metal-duro, por apresentarem uma menor tenacidade que as de aço rápido, necessitam ter uma geometria de ponta adequada, para que possam se auto-centrar no início do processo de furação, evitando assim uma possível quebra da ferramenta (GÜHRING, 1997).

Os metais-duros apresentam como vantagens uma boa distribuição estrutural, dureza elevada, resistência à compressão e ao desgaste às elevadas temperaturas. Este conjunto de propriedades faz do metal duro um material muito apropriado para a fabricação de ferramentas de corte. As principais classes de metal-duro utilizadas na furação são apresentadas na Tab. 2.2 (GÜHRING, 1997).

Tabela 2.2 – Principais classes de metal-duro utilizadas na furação (GÜHRING, 1997)

Classe	Dureza [HV]	Resistência flexão [N/mm^2]	Sensibilidade ao lascamento	Aplicação em condições instáveis
K10	1870	3000	Muito alta	Não recomendada
K10/20	1620	3100	Alta	Ruim
K20	1700	3200	Média	Difícil
K40	1620	3700	Baixa	Boa
P25	1540	2300	Oscilante	Possível
P40	1420	2500	Muito baixa	Muito boa

Na usinagem de furos cegos sem fluido de corte, o problema da retirada de cavacos é maior devido ao aumento do atrito e temperatura. Neste tipo de aplicação, a tecnologia de revestimentos oferece a possibilidade de aplicar uma camada lubrificante ao metal duro. Dessa forma, é mantido o transporte de cavacos para fora do canal, melhorando também o processo de introdução da ferramenta e diminuindo a tendência à adesão.

Uma ferramenta é revestida quando se desejam garantir características duras, resistentes ao desgaste e quimicamente inertes na superfície, mantendo um núcleo relativamente tenaz. O revestimento das ferramentas de metal duro ganhou grande importância nas últimas décadas porque proporciona desempenho muito superior ao da ferramenta sem revestimento na usinagem de materiais, principalmente dos ferrosos (MACHADO et al., 2009).

O TiAlN (nitreto de titânio e alumínio) é um revestimento que tem sido muito utilizado na indústria para a usinagem de ferros fundidos, principalmente no processo de furação. Uma característica relevante dos filmes de TiAlN é quanto a sua dureza a quente durante a

usinagem, pois segundo alguns pesquisadores ocorre uma reação de oxidação na superfície do revestimento, dando origem à alumina (Al_2O_3) mantendo a dureza do revestimento mesmo a altas temperaturas e, por conseguinte aumentando a resistência ao desgaste (ALMEIDA, 2008).

Nos últimos anos, porém, novos revestimentos foram desenvolvidos e se mostraram bastante competitivos, já que podem elevar os limites de desempenho das ferramentas. Um desses revestimentos, desenvolvidos pela empresa Balzers, é o Balinit Alcrona® - nitreto de cromo-alunímio (AlCrN). Este revestimento possui uma elevada resistência à oxidação e dureza a quente, ou seja, uma ótima resistência à abrasão e baixo coeficiente de atrito na usinagem de aços. Algumas dessas características estão mostradas na Tab. 2.3.

Tabela 2.3 - Propriedade do revestimento Alcrona® (BALZER, 2006)

Composição Química	Micro Dureza	Temperatura Máxima em serviço	Cor
AlCrN	3200 HV	1100ºC	Azul acinzentado

2.4. Qualidade de Furos

A qualidade dos furos está associada ao processo, ao material, à ferramenta e aos parâmetros de corte que são utilizados. Porém, a perfeição na realização de furos é muito difícil, devido aos vários fatores que a influenciam. Temos a situação ideal e a situação real para realizar a operação, e nem sempre a ideal se aproxima da real.

Para poder obter furos aceitáveis há critérios expressados na forma de tolerâncias, que podem ser dimensionais ou de forma.

As tolerâncias dimensionais estão relacionadas com a medida nominal e a medida real encontrada no furo, as tolerâncias de forma estão relacionadas com a geometria dos furos.

a) Tolerâncias dimensionais

A tolerância dimensional é a faixa de valores que a medida obtida pode variar da nominal e permanecer aceitável. Os fatores que levam a esta variação são vários, por exemplo: a seleção da máquina que irá realizar a operação, o processo definido para esta operação, os parâmetros adotados nas medidas e as dimensões da peça a ser realizada (AGOSTINHO, 1995).

b) Tolerâncias geométricas

As peças são compostas de corpos geométricos ligados entre si por superfícies de forma simples. Durante a usinagem, consideram-se também os desvios das formas da superfície real com relação à teórica, sejam eles macro ou microgeométricos, assim como os desvios de posição entre as diversas superfícies entre si (AGOSTINHO, 1995).

Os desvios descritos anteriormente poderão ser classificados em:

b.1) *Desvios de forma* – definidos como grau de variação das superfícies reais com relação aos sólidos geométricos que os definem.

Podem ser classificados em:

Desvios macrogeométricos – retilineidade, circularidade, cilindricidade, planeza, etc.

Desvios microgeométricos – rugosidade superficial.

b.2) *Desvios de posição* – definidos como o grau de variação das diversas superfícies reais entre si, com relação ao seu posicionamento teórico. São as tolerâncias de paralelismo, ângulos, alinhamento, perpendicularismo, simetria e posicionamento (AGOSTINHO, 1995).

Circularidade

A circularidade (Fig. 2.23) é uma tolerância de forma macrogeométrica, que tem relação com os diâmetros encontrados na peça quando medida. As diferenças do circulo real para o circulo teórico são genericamente denominadas ovalizações. Tolerância de circularidade é a variação entre duas circunferências do ponto mais afastado do centro, ao ponto mais próximo. O campo de tolerância no plano considerado é limitado por dois círculos concêntricos e distantes de “t” (ABNT NBR 6409, 1976).

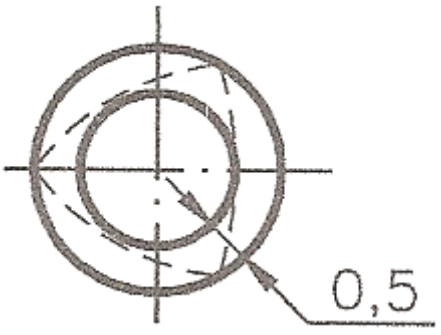


Fig. 2.23 – Representação da circularidade (ABNT NBR 6409, 1976)

Cilindricidade

A cilindricidade (Fig. 2.24) também é uma tolerância de forma macrogeométrica, que tem relação com os cilindros coaxiais. A diferença entre estes cilindros coaxiais é a cilindricidade. O campo da tolerância de cilindricidade é limitado por dois cilindros coaxiais, distantes em “t” (ABNT NBR 6409, 1976).

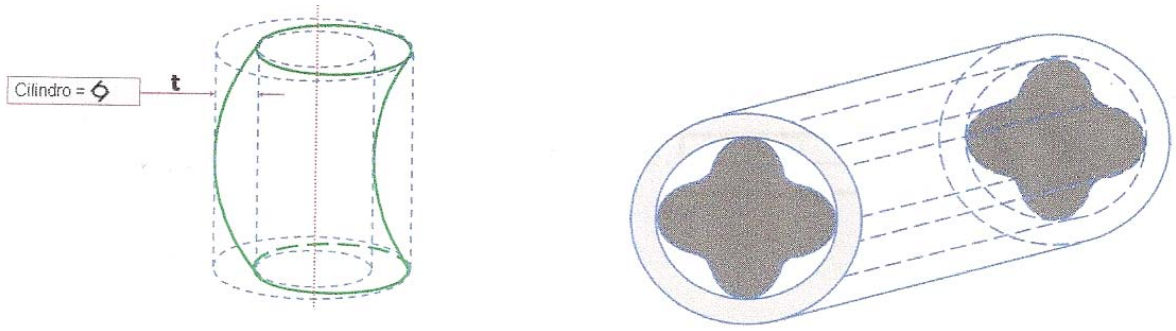


Fig. 2.24 – Representação de cilindricidade (TAYLOR, 2000 apud MARTINS, 2008)

Rugosidade

O processo de furação produz variações nas superfícies de trabalho. Estas variações são muitas vezes imperceptíveis ou invisíveis a olho nu. São cristas e vales que as ferramentas formam nas superfícies usinadas, conhecidas como rugosidades. A rugosidade pode ser causada pelas variações no processo induzidas por vibrações, esforços de usinagem (F_z e M_z), imperfeições nos mecanismos das máquinas-ferramentas ou mesmo por defeitos da peça.

Com base na ABNT NBR 6405 (1988), existem alguns itens importantes, para realização do trabalho de furação.

Rugosidade média (R_a): É a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento, dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média, dentro do comprimento de amostragem (μm).

Rugosidade máxima ($R_{máx}$): É a distância entre crista (pico) mais alta e o vale mais profundo, dentro do comprimento de amostragem.

Rugosidade média (R_z): É a profundidade média de rugosidade, definida como a distância média entre os cinco picos mais altos e os cinco vales mais profundos, dentro de um comprimento médio medido.

Comprimento de amostragem (λ_c) (cut-off): É o comprimento de onda senoidal para o qual o filtro de ondas transmite 75% do valor real da amplitude da ondulação. É dado em milímetros, e definido em função da qualidade da superfície.

Para exemplificar valores do parâmetro R_a no processo de furação, a Fig. 2.25 apresenta os resultados encontrados por Miranda (2003), quando comparou a influência de diferentes condições lubri-refrigerantes: a seco, com óleo emulsionável aplicado na forma de jorro e MQL (Mínima Quantidade de Lubrificante). Os melhores resultados foram obtidos quando se aplicou o fluido de corte na forma MQL.

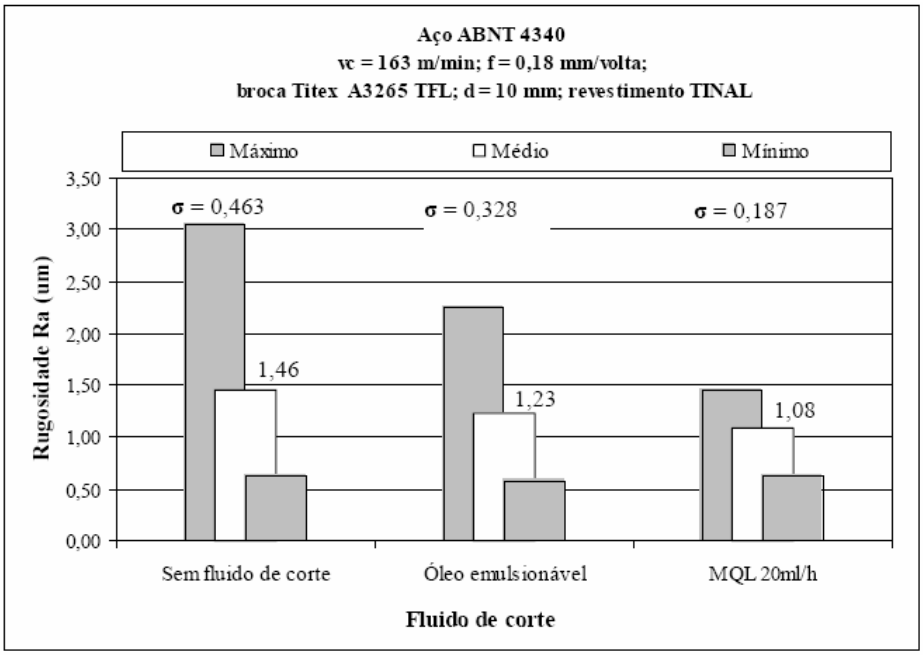


Figura 2.25 – Rugosidade média dos furos para as diferentes condições de lubrificação (MIRANDA, 2003)

2.5 - Esforços de Usinagem na Furação

Durante o processo de furação, verificam-se as seguintes resistências à penetração da broca (DINIZ et al., 1999):

- Resistência devido ao corte do material nas duas arestas principais de corte;
- Resistência devido ao corte pelo esmagamento do material na aresta transversal de corte;

- Resistência devido ao atrito das guias com a parede do furo e entre a superfície de saída da broca e o cavaco.

Uma broca helicoidal durante o corte é basicamente submetida a esforços de torção (devido à rotação da broca) e a esforços de compressão (devido ao avanço da broca). Assim, para se estimar os esforços de um processo de furação, basta calcular o momento torçor e a força de avanço do processo. Segundo Diniz et al. (1999), a participação percentual de cada uma dessas grandezas, oscila entre os valores apresentados pela Tab. 2.4.

Tabela 2.4 - Participação do momento torçor e força de avanço no processo de furação (DINIZ et al., 1999)

Esforços	Arestas Principais	Aresta Transversal	Atritos
Momento torçor	77 – 90%	3 – 10%	3 – 13%
Força de avanço	39 – 59%	40 – 58%	2 – 5%

Percebe-se pela tabela apresentada a grande participação da aresta transversal de corte nos valores de força de avanço, devido aos fatores (DINIZ et al., 1999):

- Baixa velocidade de corte e ângulo de saída negativo na região central da broca;
- Baixos valores e até mesmos valores negativos do ângulo efetivo de folga nesta região;
- Esmagamento do cavaco e encruamento do fundo do furo causados pela aresta transversal.

Devido a estes fatores, tenta-se evitar este efeito danoso da aresta transversal através de seu chanframento ou da furação com um pré-furo.

É importante notar que, quando as arestas principais da broca não estão igualmente afiadas, o esforço de corte de uma aresta é diferente do esforço da outra aresta, podendo causar flexão da ferramenta.

2.5.1. Forças

O estudo das forças de usinagem é importante para (FERRARESI, 1977; SANDVIK COROMANT, 1994; WEINGAERTNER et al., 1995; DE CASTRO, 2001):

- O projeto, avaliação e desenvolvimento das máquinas ferramentas;
- O entendimento dos fenômenos na região de corte e formação do cavaco;
- O monitoramento e entendimento de mecanismos de desgastes;

- A determinação da usinabilidade do material;
- A determinação das condições de corte e;
- O conhecimento da energia gasta.

As forças de usinagem, que atuam na aresta principal de corte durante a furação com brocas helicoidais, podem ser divididas em três componentes: força de corte (F_c), força de avanço (F_z) e força passiva (F_p). A Fig. 2.26 mostra estas forças (TEIXEIRA, 1995; STEMMER, 1995; WEINGAERTNER et al., 1995).

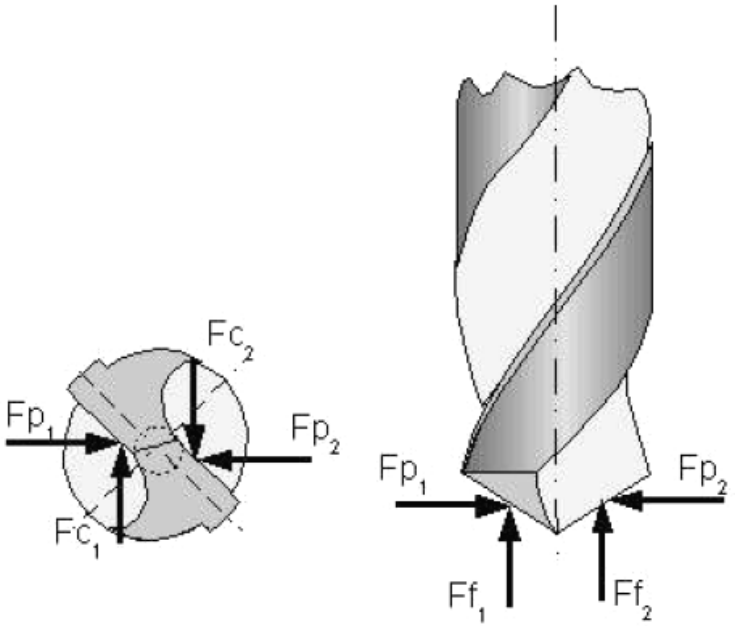


Figura 2.26 – Forças atuantes na aresta principal de corte (STEMMER, 1995)

A força de corte (F_c) é decorrente da resistência ao corte do material usinado. Ela é predominantemente responsável pelo momento torçor que atua na furação. O atrito das guias da broca e dos cavacos na parede do furo também contribui para o aumento do momento torçor. Esta contribuição é função da qualidade da afiação e do fluido de corte utilizado (FRANCO, 1999; DE CASTRO, 2001).

A força de avanço (F_z) é decorrente da atuação da aresta transversal de corte e da resistência ao corte (penetração do material usinado). Esta força também recebe pequenas contribuições do atrito do cavaco nos canais da broca (SANDVIK COROMANT, 1994; TEIXEIRA, 1995).

A força passiva (F_p) atuante em uma aresta principal tem o sentido oposto à força passiva atuante na outra. Presumindo-se que a geometria da ponta da broca tenha sido corretamente construída, a resultante é nula. Ela é desprezível quando comparada com as forças de corte e as forças de avanço (FRANCO, 1999; DE CASTRO, 2001).

2.5.2. Torque

O momento torçor pode ser medido diretamente através do uso de dinamômetro na peça ou na ferramenta (FERRARESI, 1977; SUBRAMANIAN et al., 1993; WEINGAERTNER et al., 1995). A equação matemática para cálculo do momento torçor é (STEMMER, 1995):

$$M_t = \frac{F_c \times D}{2000} = K_c \frac{f \times D^2}{8000} \qquad \text{[N.m]} \qquad (2.5)$$

Onde:

F_c = força de corte;
D: diâmetro da broca;
F_z: avanço (mm/volta);
K_c: pressão específica de corte.

A pressão específica de corte depende principalmente: do diâmetro da broca, do avanço e do material da peça. A geometria da broca, o fluido de corte e o estado de afiação das arestas afetam K_c de forma secundária (FERRARESI, 1977; STEMMER, 1995).

2.5.3. Potência de usinagem

A potência de corte (P_c) é resultante do produto entre o momento torçor e a velocidade angular da ferramenta (SANDVIK COROMANT, 1994). Através do seu conhecimento é possível calcular a potência necessária na máquina para a realização da furação. A equação matemática da potência de corte Eq. (2.5) é dada por (SANDVIK COROMANT, 1994; STEMMER, 1995; DE CASTRO, 2001; COSTA, 2004).

$$P_C = \frac{M_t.2.\pi.n}{60000} = \frac{M_t.n}{9549} \qquad \text{[kW]} \qquad (2.6)$$

Medição de esforços na furação

Com um dinamômetro, é possível monitorar a força axial e o momento de torção durante o processo de furação. Diversos autores apresentam modelos com constantes empíricas para determinação desses esforços de corte (SPUR, KRONENBERG, DAAR, KIENZLE, OXFORD e SHAW apud DAAR, 1967). Altintas (2000) apresenta um modelo para a força axial (que é bastante importante para a formação de rebarbas), baseado nos

conceitos que consideram a dureza do material e a endentação provocada pela aresta transversal de corte.

Holfman (1994) desenvolveu um transdutor, instrumentado com extensômetros, calibrado para utilização em ensaios como, por exemplo, de furação. A construção foi baseada em um dos modelos construídos por Daar (1967), com modificações na instrumentação e aquisição dos sinais. Este possibilita a medição do momento de torção e da força axial a que a broca é submetida durante o processo de furação.

Foi utilizado um hardware para as tarefas posteriores ao transdutor (Fig. 2.27), obtendo-se assim um gráfico com as variações de esforços ao longo do tempo.

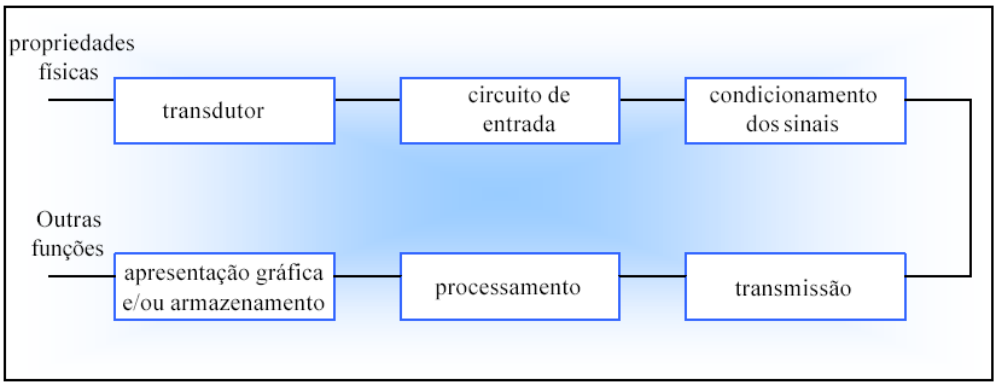


Figura 2.27 – Sistema básico de aquisição de dados (HOLFMAN, 1994)

Na Fig. 2.28 observa-se o conjunto do dinamômetro, que consiste em uma haste para fixação na máquina, onde é montado o transdutor com as nervuras instrumentadas, com um pino para alojar o mandril. Neste pino é colocada uma tampa para proteção do equipamento. As nervuras foram instrumentadas formando ponte completa de “Wheatstone”, de tal forma que a leitura de um canal não afete o outro, durante a aquisição.

O instrumento foi calibrado, obtendo-se duas curvas de calibração que serviram para transformar os valores de micro-deformações obtidos durante o processo de furação em força axial e momento de torção.

Através de ferramentas estatísticas disponíveis no software foi possível estabelecer valores para cada trecho do sinal, e um valor médio das solicitações ao longo do tempo. Na Fig. 2.29, pode-se observar um exemplo de sinal obtido durante a furação do aço ABNT 1020.

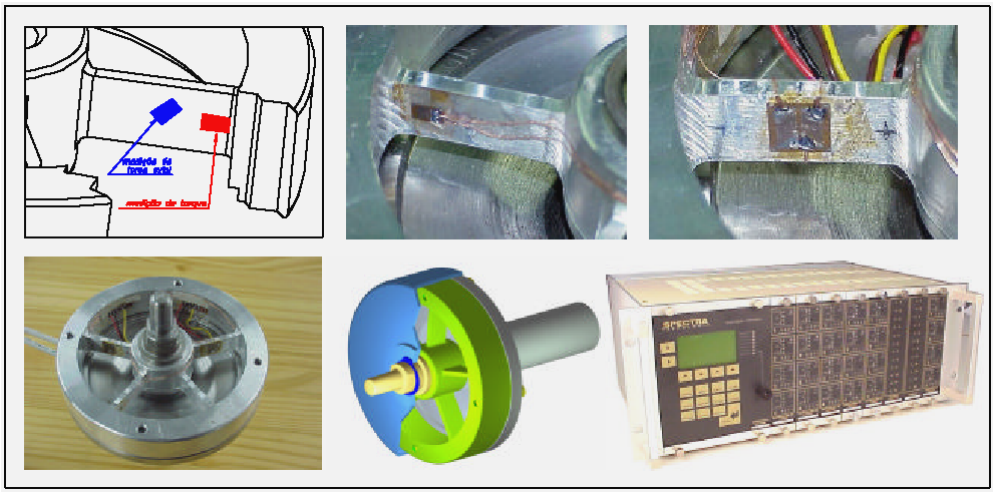


Figura 2.28 – Conjunto do dinamômetro e sistema de aquisição (HOLFMAN, 1994)

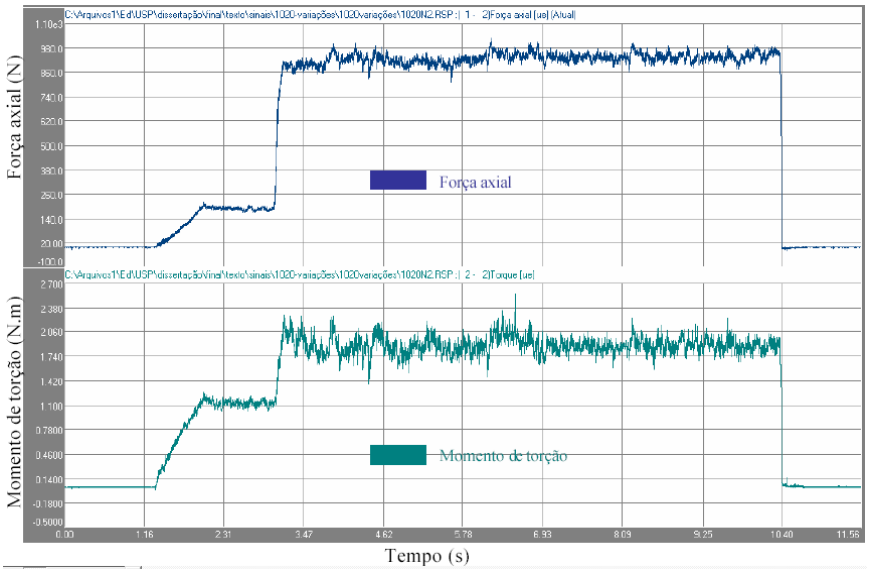


Figura 2.29 – Sinal obtido durante a furação do aço ABNT 1020 (HOLFMAN, 1994)

2.6. Geração e Distribuição de Calor na Furação

Durante o processo de furação a broca é fortemente influenciada pelas altas temperaturas a que está submetida. A temperatura média desta ferramenta está relacionada à taxa de deformação do material da peça na zona de cisalhamento secundária, de modo que o aumento da faixa de velocidades de corte tem como consequência o aumento da temperatura média da ferramenta. Com isso, o desenvolvimento de ferramentas de corte com boas propriedades de resistência ao desgaste a temperaturas elevadas é um dos requisitos para o aumento da faixa de velocidades de corte e, em consequência, da produtividade (GUIMARÃES et al., 2007).

A temperatura desenvolvida nas operações de usinagem sempre foi um fator preocupante para as ferramentas de corte. Taylor em 1894, jogando água na região de corte, conseguiu aumentar em 33% a velocidade de corte sem prejuízo da vida da ferramenta. Além de acelerar os mecanismos de desgaste termicamente ativados, a temperatura reduz o limite de escoamento das ferramentas. Temperaturas da ordem de 1000°C podem ser encontradas na interface cavaco-ferramenta e as ferramentas de corte têm que estar preparadas para suportarem estes valores durante o corte. Smart e Trent (1975) após usinarem um aço de baixo carbono verificaram que a máxima temperatura acontece à determinada distância da aresta principal de corte, e que ela cresce com o aumento da velocidade de corte.

2.6.1. Distribuição de calor em usinagem

A introdução de novos materiais de ferramentas de corte tem permitido um aumento expressivo das velocidades de corte nos últimos anos, sempre em busca de uma maior produtividade, o que tem levado a um aumento extraordinário da temperatura na interface cavaco-ferramenta. Do calor gerado em usinagem (MACHADO et al., 2009):

- A maior parte é dissipada pelo cavaco;
- Uma pequena parcela é dissipada pela peça e outra para o meio ambiente;
- O restante (8 a 10%) vai para a ferramenta, e o aumento da temperatura associado a este calor pode chegar a 1100 °C, o que compromete fortemente a resistência da ferramenta.

As condições da interface cavaco-ferramenta (aderência, escorregamento ou aresta postiça de corte) devem ser assumidas como fatores mais importantes a serem considerados na influência sobre a temperatura de corte (MACHADO et al., 2009).

2.6.2. Fontes de calor

Durante o corte dos metais existem três regiões de geração de calor. A Fig. 2.30 ilustra as três zonas distintas, onde o calor pode ser gerado em usinagem. São elas (MACHADO et al., 2009):

I - Zona de cisalhamento primário, zona A da Fig. 2.30;

II - Zona de cisalhamento secundário, zona B e C da Fig. 2.30;

III - Zona de interface entre a peça e a superfície de folga da ferramenta, zona C da Fig. 2.30.

Do calor gerado na zona de cisalhamento primário a maior parte é dissipada pelo cavaco, mas uma pequena fração que é conduzida na peça pode causar problemas dimensionais. A temperatura do cavaco aumentada devido ao cisalhamento no plano primário, entretanto, terá praticamente nenhuma influência na temperatura da ferramenta, porque o tempo com que uma pequena porção do cavaco (lamela) passa sobre a superfície de saída da ferramenta é muito pequeno para conduzir calor.

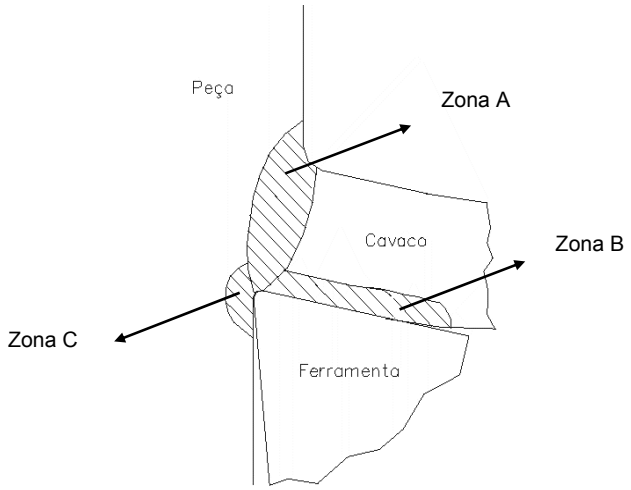


Figura 2.30 - Zonas de geração de calor em usinagem (MACHADO et al., 2009)

A Zona de cisalhamento secundário é a principal fonte de calor responsável pelas altas temperaturas da ferramenta de corte, principalmente quando da usinagem de materiais duros e de alto ponto de fusão (ferro fundido, aços e ligas de níquel e titânio). A temperatura na zona de fluxo, e, portanto, a temperatura da ferramenta depende da quantidade de trabalho realizado para cisalhar o material e da quantidade de material que passa pela zona de fluxo, e isto varia com o material da peça. A zona de fluxo, portanto, constitui uma fonte efetiva de calor.

Trent (1988) enumerou pelo menos três parâmetros metalúrgicos que influenciam a temperatura da ferramenta:

I - O ponto de fusão do principal elemento químico do material da peça, quanto mais elevado, maior é a temperatura;

II - Elementos de liga que aumentam a resistência do material da peça, aumentam a temperatura;

III - Presença de fases de baixa resistência ao cisalhamento na interface (tais como MnS e grafita), diminui a temperatura.

O calor gerado na zona de interface entre a peça e a superfície de folga ocorre na usinagem com pequenos ângulos de folga ($< 2°$) ou quando o desgaste de flanco da

ferramenta atinge valores consideráveis. A análise é similar à zona de cisalhamento secundário, com a presença da zona de fluxo o que implica em altas temperaturas na superfície de folga (MACHADO et al., 2009).

2.6.3. Medição de temperatura na furação

O conhecimento da energia térmica fornecida à ferramenta pode proporcionar o aumento do desempenho da broca e consequentemente o desenvolvimento de produtos de maior qualidade e baixo custo.

Uma das funções dos meios auxiliares de corte é retirar parte do calor produzido durante a remoção de material da zona de trabalho. A eficiência dos diferentes produtos empregados como meios auxiliares de corte pode ser avaliada através da medição das temperaturas desenvolvidas na ferramenta, na peça ou nos cavacos. Como geralmente o objetivo da medição da temperatura é a comparação entre os valores obtidos nas diferentes condições de trabalho, a medição da temperatura na ferramenta parece ser a mais apropriada. Esta opção permite fixar o ponto de medição reduzindo as incertezas e mantendo constante o erro sistemático para todas as medições.

Teixeira (2001) avaliou a temperatura desenvolvida durante o trabalho de corte no processo de furação realizado num torno. A broca de aço rápido era fixa, alojada no lugar do contra-ponto (Fig. 2.31 e 2.32). Este material de ferramenta permite a fácil usinagem dos canais e alojamentos para sensores. O comportamento da temperatura na ferramenta foi avaliado através de sensores termoelétricos (termopares tipo K) convenientemente instalados em posições próximas às regiões de corte.

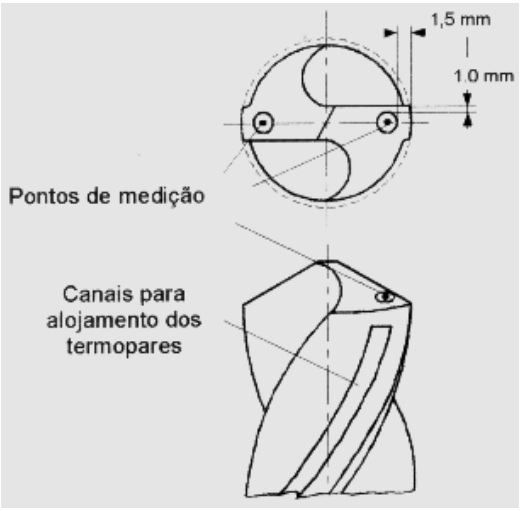


Figura 2.31 - Posição dos sensores (TEIXEIRA, 2001)

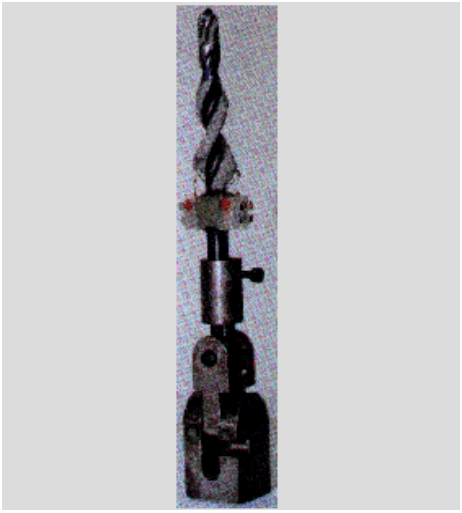


Figura 2.32 - Ferramenta com sensores (TEIXEIRA, 2001)

Na furação foram utilizados dois termopares, um próximo de cada parte cortante da aresta principal da broca (Fig. 2.31), sendo registradas duas curvas de temperatura, uma para cada termopar. Para diversas condições de corte e diferentes formas de aplicação de fluido de corte foi adquirido o comportamento da temperatura no ponto de medição e apresentado o valor médio das duas medições (TEIXEIRA, 2001).

2.7. Desgaste e Vida das Brocas

Estudos (MACHADO et al., 2009; COSTA, 2004) mostram que o desgaste é o fator limitador do grau de utilização das ferramentas de corte, que através dos custos e do tempo de corte, definem basicamente a economia de um processo de fabricação. A aresta da ferramenta se desgasta com maior intensidade na face de saída e no flanco, sendo estes dependentes da forma e da duração da solicitação térmica, mecânica e química da região de corte. Um motivo essencial para o desgaste está na combinação de altas temperaturas de usinagem e fortes carregamentos mecânicos. A seleção correta do material e geometria da ferramenta, dos parâmetros de usinagem e a boa estabilidade do sistema máquina-peça-ferramenta podem minimizar o desgaste da ferramenta de corte.

2.7.1. Formas de desgaste

Além do desgaste de cratera na superfície de saída e de flanco na superfície de folga, as brocas helicoidais podem apresentar desgastes na aresta transversal, na quina (ponta de corte) e nas guias.

Kanai e Kanda (1979) distinguem as formas de desgaste que podem ocorrer em brocas helicoidais (Fig. 2.33). Diferentes mecanismos podem originar estes desgastes e a evolução do mesmo se dá de forma semelhante na ponta da ferramenta. Nas zonas de corte predominam as solicitações térmicas provocadas pelo calor gerado pelo atrito dos cavacos na superfície de saída e pelo atrito das guias. Esse carregamento pode levar ao desgaste de cratera na ferramenta (TEIXEIRA, 1995; DE CASTRO, 2001).

Brinksmeier (1990) constatou que o desgaste de guia pode aumentar o calor gerado devido a um maior atrito entre peça e ferramenta. Isto leva à dilatação térmica e a um crescimento radial da broca gerando o efeito de *Stick slip*, ou seja, a guia adere e escorrega na parede do furo constantemente. Este fenômeno causa vibrações e trepidações no processo de corte podendo levar à quebra catastrófica da ferramenta (DE CASTRO, 2001).

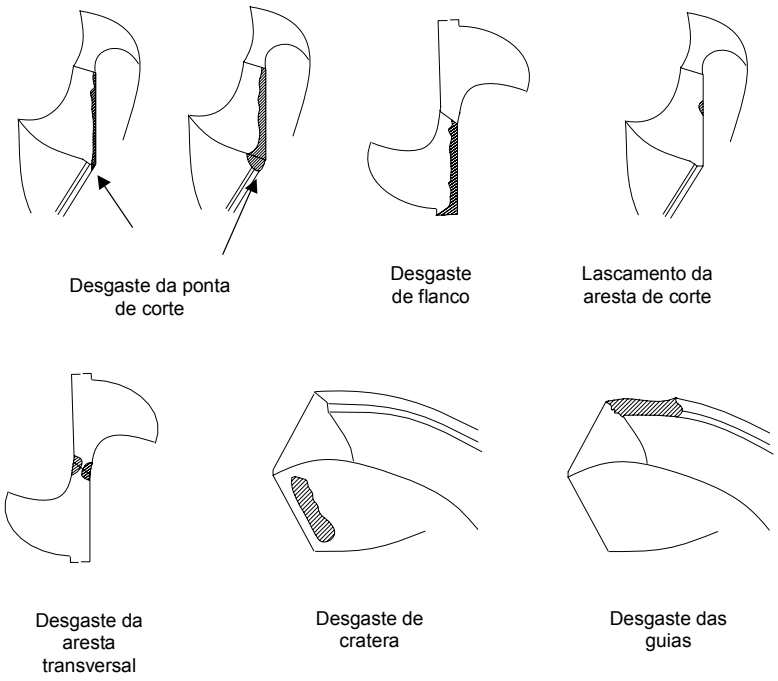


Figura 2.33 - Formas de desgaste em brocas helicoidais (KANAI; KANDA, 1979)

2.7.2. Mecanismos de desgaste

As formas de desgaste apresentadas na Fig. 2.33 são profundamente relacionadas com o comportamento dos mecanismos de desgaste que atuam nas interfaces peça-cavaco-ferramenta. Para realizar o corte, a cunha cortante sofre elevadas solicitações térmicas e mecânicas, proporcionando a ação de diversos mecanismos de desgaste que atuam simultaneamente no sentido de degradar as ferramentas. Os mecanismos de desgaste dependem da forma de atuação da ferramenta durante o corte, isto é, dependem basicamente das características da ferramenta, movimentos de corte e avanço, parâmetros de corte e condições de corte (STEMMER, 1995; FERRARESI, 1977; EDWARDS, 1993; DINIZ et al., 1999).

A literatura apresenta variações na classificação dos mecanismos de desgaste (PALMAI, 1987; FERRARESI, 1997; DINIZ et al., 1999; TRENT; WRIGHT, 2000; MACHADO et al., 2009), porém grande parte dos trabalhos existentes considera pelo menos seis mecanismos diferentes (TRENT; WRIGHT, 2000), sumarizados na Fig. 2.34.

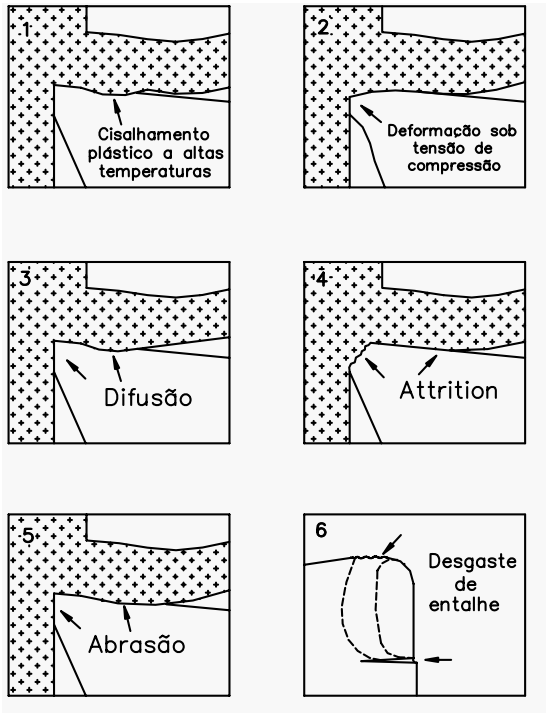


Figura 2.34 - Mecanismos e processos de desgaste que podem atuar nas ferramentas de corte (TRENT; WRIGHT, 2000)

A seguir, cada um destes mecanismos (alguns são mais processos de desgaste, do que propriamente um mecanismo) é definido em separado (MACHADO et al., 2009).

a) Deformação plástica superficial por cisalhamento a altas temperaturas

Ocorre mais frequentemente na usinagem de metais com alto ponto de fusão, em ferramentas de aço rápido, e não é propriamente um mecanismo, mas sim um processo de desgaste. As tensões cisalhantes na interface cavaco-ferramenta são suficientes para causar deformação plástica superficial. Devido às altas temperaturas ali desenvolvidas, a resistência ao escoamento do material da ferramenta, próximo à interface, é reduzida. Como consequência, o material é arrancado da superfície da ferramenta por cisalhamento, formando-se assim uma cratera, Figura 2.34-1, (MACHADO et al., 2009).

b) Deformação plástica da aresta de corte sob altas tensões de compressão

Ocorre na usinagem dos materiais de alta dureza, é, também, mais um processo do que um mecanismo de desgaste. A combinação de altas tensões de compressão com altas temperaturas na superfície de saída pode causar a deformação plástica da aresta de corte das ferramentas de aço-rápido ou metal duro. Geralmente, ocorre, a altas velocidades de corte e avanço e leva a uma falha catastrófica, Figura 2.34-2, (MACHADO et al., 2009).

c) Desgaste difusivo

A difusão consiste na transferência de átomos de uma área de maior concentração atômica para outra de menor concentração. Este processo depende da temperatura na interface peça-ferramenta, da afinidade química dos materiais e do tempo de contato (DE CASTRO, 2001). Como em usinagem, as velocidades relativas entre ferramenta-peça ou ferramenta-cavaco são altas e o tempo de contato entre esses materiais é muito pequeno, isto praticamente levaria o mecanismo de difusão a ser desprezível, se não fosse à existência de uma zona de aderência (zona morta ou zona de fluxo) na interface cavaco-ferramenta (TRENT, 1984). A existência de um gradiente de velocidades dentro da zona de fluxo, assumindo o valor zero na interface com a ferramenta, e as elevadas temperaturas são suficientes para promover o processo difusivo. A renovação constante da zona de aderência, promovida pela alta taxa de deformação, garante um fluxo difusivo também constante. Em ferramentas de aço-rápido a difusão não é significativa, pois a temperatura em que ocorre a transferência atômica é maior que a de amolecimento da ferramenta. Na usinagem de aço e demais ferrosos com ferramentas de metal duro em temperaturas de 700 a 1300 graus Celsius, a difusão tende a ocorrer da seguinte maneira (KÖNIG e KLOCKE, 1997): o carbono se satura na fase cobalto com apenas 0,07%. O ferro tem solubilidade total no cobalto. Assim, o ferro do aço tende a se difundir para a fase cobalto das ferramentas, fragilizando-a e aumentando a solubilidade do carbono para 2,1%. Esta maior solubilidade do carbono na fase ferro–cobalto promove a dissociação de carbonetos de tungstênio, formando um carboneto complexo do tipo $(FeW)_{23}C_6$, liberando carbono. Este carboneto complexo de ferro e tungstênio tem uma resistência à abrasão muito menor que o carboneto de tungstênio original, fragilizando, portanto, a ferramenta de corte. Os carbonetos de titânio e tântalo são mais estáveis dificultando a formação do carboneto complexo e impedindo o enfraquecimento da ferramenta de corte. Isto explica a maior resistência das ferramentas da classe P na usinagem de aço (MACHADO et al., 2009).

Este mecanismo de desgaste poderá atuar tanto na superfície de saída como na superfície de folga, porém, são mais importantes na superfície de saída, onde as zonas de aderência e de fluxo ocorrem com mais frequência. A taxa de desgaste irá aumentar com o aumento da velocidade de corte e do avanço. Como se processa a nível atômico, no microscópio as áreas desgastadas por difusão têm uma aparência lisa, Fig. 2.34-3.

c) Desgaste por aderência e arrastamento – attrition

Este mecanismo ocorre, geralmente, em baixas velocidades de corte, onde o fluxo de material sobre a superfície de saída da ferramenta se torna irregular. A aresta postiça de

corte pode aparecer, e se ela for instável o contato com a ferramenta se torna menos contínuo. Sob estas condições, fragmentos microscópicos são arrancados da superfície da ferramenta e arrastados junto ao fluxo de material adjacente à interface. Em geral, a zona de escorregamento (ao invés da zona de aderência), o corte interrompido, a profundidade de corte variável, entre outros, promovem o fluxo irregular de material e, portanto, favorecem a participação do mecanismo de desgaste por *attrition*. Como este mecanismo se processa em nível de grãos, no microscópio, as áreas desgastadas por *attrition* têm uma aparência áspera, Fig. 2.34-4, (MACHADO et al., 2009).

d) Desgaste abrasivo

Este mecanismo de desgaste envolve a perda de material por microsulcamento, microcorte ou microlascamento, causados por partículas de elevada dureza relativa. Estas partículas podem estar contidas no material da peça (e.g., carbonetos e carbonitretos), ou podem, principalmente, serem partículas da própria ferramenta que são arrancadas por *attrition*, por exemplo. Este mecanismo de desgaste é muito importante na usinagem com ferramentas de aço-rápido, ferramentas revestidas, cerâmicas puras e cerâmicas mistas, Fig. 2.34-5, (MACHADO et al., 2009).

e) Desgaste de entalhe

O desgaste de entalhe não é propriamente um mecanismo, mas sim uma forma de desgaste. Porém, ainda não existe um consenso na literatura, que explique exatamente o mecanismo que provoca o desgaste de entalhe. Por esta razão, é comum tratar esta forma de desgaste como um mecanismo. Ele ocorre, principalmente, na usinagem de materiais resistentes a altas temperaturas (tais como: liga de níquel, titânio, cobalto e aço inoxidável). Geralmente, nas regiões onde ocorrem estes tipos de desgaste, as condições de escorregamento prevalecem e os mecanismos de desgaste, provavelmente, envolvem abrasão e transferência de material (*attrition*) e eles são bastante influenciados pelas interações com a atmosfera (ISO 3685, 1977). Existem evidências para sugerir que óxidos se formam continuamente e se aderem na ferramenta naquelas regiões, e a quebra das junções de aderência entre os óxidos e a ferramenta pode, ocasionalmente, remover material da superfície (WRIGH; BIAGCHI, 1981; RICHARDS; ASPINWALL, 1989). Entretanto, a teoria que prevalece é a proposta por Shaw et al. (1966). Segundo estes pesquisadores, o entalhe na forma de “V” é formado pelas rebarbas produzidas nas arestas laterais do cavaco que estão encruadas, envolvendo um mecanismo de aderência e arrancamento (*attrition*), Fig. 2.34-6.

Outros mecanismos de desgastes

- Oxidação: Consiste na reação química das superfícies ativas com agentes oxidantes (o ar, água ou outro integrante dos fluidos de corte), ocorre em temperaturas elevadas. Para ferramentas de aço-rápido estas temperaturas estão acima à do amolecimento do material, já para o metal-duro está em torno de 800°C. Geralmente este desgaste é mais acentuado nas extremidades de contato cavaco-ferramenta, onde o acesso dos agentes oxidantes é mais fácil (TEIXEIRA, 2001).
- Desgaste Químico: o desgaste químico ocorre quando a ferramenta e a peça estão expostas a produtos químicos ativos, os quais estão frequentemente presentes nos fluidos de corte. É possível que o desgaste eletroquímico ocorra por ação galvânica. Acredita-se que o desgaste de cratera seja acentuado por uma ação termoquímica na face da ferramenta (DE CASTRO, 2001; TOOL AND MANUFACTURING, 1983).

Considerações sobre os mecanismos de desgaste

Para altas temperaturas de usinagem (altas velocidade de corte e avanços) irão prevalecer os desgastes por difusão, abrasão e oxidação, enquanto que para temperaturas mais baixas a abrasão e principalmente a adesão serão os atuantes, Fig. 2.35.

Todos os mecanismos (processos) de desgaste são observados na prática, mas certamente, um prevalecerá sobre os demais, dependendo principalmente do material da peça e da ferramenta, da operação de usinagem, das condições de corte, da geometria da ferramenta de corte e do emprego de fluído de corte. Em geral os mecanismos (processos) mais importantes às altas taxas de remoção de material são (MACHADO et al., 2009):

- Deformação plástica superficial por cisalhamento a altas temperaturas;
- Deformação plástica da aresta de corte sob altas tensões de compressão;
- Desgaste difusivo.

Nestes três mecanismos há o desenvolvimento de altas temperaturas. Já o mecanismo *Attrition* é mais importante a baixas velocidades, em que as temperaturas de corte são baixas o suficiente para prevenir a ocorrência dos três primeiros.

A análise dos mecanismos de desgaste é complexa, mas o procedimento mais indicado é, em primeiro lugar, considerar o material da ferramenta, o material da peça e as condições de corte em que se realizou a operação. Posteriormente se faz necessário uma análise da região desgastada, primeiro no microscópio ótico, depois no eletrônico. Análises qualitativas e quantitativas superficial de elementos químicos podem auxiliar na identificação do desgaste difusivo. Estas técnicas têm como objetivo identificar características

importantes das regiões desgastadas, que forneça indicadores de predominância dos diversos mecanismos possíveis (MACHADO et al., 2009).

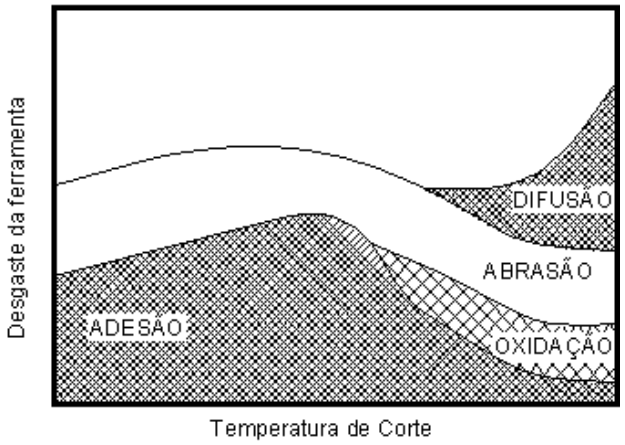


Figura 2.35 – Mecanismo de desgaste predominante em função da temperatura (VIEREGGE, 1970, apud KÖNIG e KLOCHE, 1977)

2.7.3. Vida de brocas

Quando as formas de desgastes, apresentadas anteriormente, atingem valores exagerados, um critério é usado para controlar o fim de vida da ferramenta e manter o processo dentro de condições seguras e econômicas. Portanto, o fim de vida de uma ferramenta é determinado pelo grau de desgaste sofrido pela ferramenta durante o período de usinagem, entendendo-se por desgaste as alterações geométricas ocorridas na cunha cortante decorrentes do trabalho de corte (TEIXEIRA, 2001).

2.7.4. Fatores que influenciam a vida das brocas

A fixação do ponto representativo do fim de vida de uma ferramenta é fundamental no estudo da usinabilidade, e o nível de desgaste permitido irá depender de inúmeros fatores, sendo os mais comuns (FERRARESI, 1977; KÖNIG, 1990; SANDVIK COROMANT, 1994; STEMMER, 1995; BRINKSMEIER, 1990; WEINGAERTNER et al., 1995; MACHADO et al., 2009):

- Tipo de operação: acabamento e/ou desbaste;
- Temperaturas excessivas atingidas pela ferramenta de corte;
- Falha completa ou preliminar da ferramenta;
- Largura da marca de desgaste de flanco ou profundidade de cratera;
- Vibrações intensas da peça ou ferramenta, ruídos fortes por vibrações na máquina;
- Tolerâncias dimensionais e geométricas não são mais possíveis de serem obtidas;

- Acabamento superficial não mais satisfatório;
- Aumento excessivo das forças de usinagem;
- Formação de rebarbas;
- Forma dos cavacos.

Na prática industrial é comum adotar como critério de fim de vida da ferramenta algumas variantes como (STEMMER, 1995; KÖNIG, 1990; BRINKSMEIER, 1990; WEINGAERTNER et al., 1995; DE CASTRO, 2001; MACHADO E DINIZ, 2000):

- Tempo de máquina: é o tempo em que a ferramenta fica na máquina cortando intermitentemente, antes de uma afiação. Indicado para máquinas automáticas;
- Tempo efetivo de corte: é o tempo em que a ferramenta pode cortar efetivamente. É um dos critérios mais usuais;
- Volume de material removido: é o volume de material removido durante reafiações sucessivas. Pode ser calculado a partir dos parâmetros de corte;
- Número de peças produzidas: critério bastante utilizado na produção seriada. Na furação pode-se empregar o número de furos produzidos ou o comprimento de usinagem (soma dos comprimentos de todos os furos usinados) como critérios de fim de vida.

A vida da ferramenta também pode ser expressa, através do tempo total de trabalho (caso de cortes interrompidos), percurso de corte (km), percurso de avanço (mm) e velocidade de corte para um determinado tempo de vida. Sistemas modernos de usinagem utilizam hoje em dia, o controle automático do desgaste, indiretamente por meio do monitoramento de forças, potência, vibrações do sistema ou emissão acústica (MACHADO et al., 2009).

A norma ISO 3685 (1977) recomenda os seguintes valores de desgaste para testes de vida de ferramentas de aço-rápido, metal duro e cerâmico, no torneamento:

I. Desgaste de flanco médio, VB_B = 0,3 mm;
II. Desgaste de flanco máximo, $VB_{Bmáx}$ = 0,6 mm;
III. Desgaste de cratera, KT = 0,06 + 0.3f; onde f é o avanço em mm/rev;
IV. Falha catastrófica.

Caso haja predominância do desgaste de entalhe, “notch wear”, a norma recomenda usar valores de VN e VC iguais a 1.0 mm como critérios também. Desta maneira, quando qualquer um dos limites for ultrapassado, recomenda-se a reafiação ou substituição da ferramenta de corte (MACHADO et al., 2009). A Fig. 2.36 ilustra esses parâmetros utilizados pela norma ISO 3685 (1977) para quantificação desses desgastes.

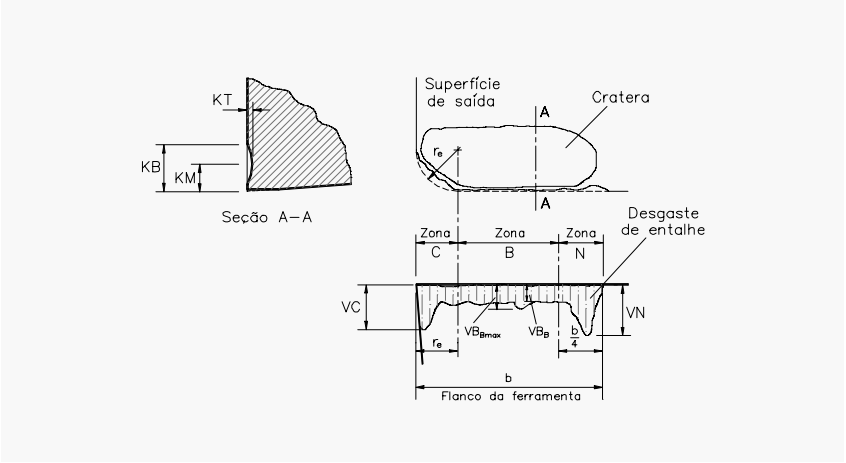


Figura 2.36 - Parâmetros utilizados pela norma ISO 3685 (1977) para quantificação de desgastes das ferramentas de corte

2.8. Fluidos de Corte Aplicados na Furação

Durante o corte se desenvolve uma grande quantidade de calor devido à energia necessária para a deformação do cavaco e à energia devido ao atrito ferramenta-peça e cavaco-ferramenta. Este calor gerado precisa ser reduzido e/ou extraído da ferramenta e peça, principalmente a fim de se minimizar o desgaste da ferramenta, a dilatação térmica da peça (e com isso se obter tolerâncias apertadas na peça) e o dano térmico à estrutura superficial da peça. A geração do calor pode ser reduzida com a diminuição do coeficiente de atrito. Se isto acontecer, não somente a geração de calor é diminuída, mas também os esforços e a potência de corte. Isto tem sido levado a cabo com o desenvolvimento de novos materiais para ferramentas (ou para camadas de cobertura de ferramentas), com o desenvolvimento de materiais de peça com usinabilidade melhorada ou com a utilização de fluidos de corte com capacidade lubrificante.

Mesmo com todo esforço para redução do calor gerado no processo de usinagem, o calor continua sendo gerado, em maior ou menor escala, dependendo das condições de usinagem, material da peça e da ferramenta, etc. Assim, esse calor deve ser extraído da região de corte, da peça e da ferramenta (refrigeração), para evitar seus efeitos danosos (DINIZ et al., 1999).

2.8.1. Funções dos fluidos de corte

Os fluidos de corte apresentam duas funções básicas que são:

- Lubrificar em baixas velocidades de corte;
- Refrigerar em altas velocidades de corte.

Como funções secundárias para os fluidos de corte podem considerar:

- Melhoria no acabamento, pela redução ou eliminação da APC e pela redução das forças de corte devido ao efeito lubrificante;
- Ajudar a retirar o cavaco da zona de corte, pois estes cavacos podem comprometer o acabamento e a ferramenta de corte. Isto é de singular importância em processos como furação e brochamento;
- Proteger a máquina-ferramenta e a peça da corrosão atmosférica. Neste caso são adicionados aditivos antioxidantes e anti-corrosivos aos fluidos;
- Evitar o aquecimento excessivo da peça, problemas de controle dimensional e queimaduras do operador;
- Contribuir na quebra do cavaco, injetando fluido sob alta pressão ou agindo na redução da área de contato cavaco-ferramenta provocando uma maior curvatura do cavaco e facilitando sua quebra (CHILDS, 1972; DA SILVA, 2006; MACHADO, 1990);
- Refrigerar a máquina-ferramenta.

Além das funções acima citadas, os fluidos de corte devem possuir propriedades como: anti-espumantes, anti-corrosivas, antioxidantes, anti-desgaste e anti-solda (EP); boa umectação; capacidade de absorção de calor; transparência e inodoro; não formar névoa nem provocar irritações na pele; compatibilidade com o meio ambiente; índice de viscosidade apropriado.

Para conferir as propriedades citadas aos fluidos ou para reforçá-las, alguns produtos químicos chamados de aditivos são utilizados, os principais são (MACHADO et al, 2009; SALES, 1999):

- *Anti-espumantes:* Evitam a formação de espumas que podem impedir uma boa visão da região de corte, comprometer o efeito refrigerante do fluido e fazer com que o fluido transborde do tanque;
- *Anti-corrosivos*: Protegem peça, ferramenta e máquina-ferramenta da corrosão. São produtos a base de nitrito de sódio (suspeitos de serem cancerígenos);
- *Antioxidantes:* Impedem que o óleo se deteriore quando em contato com o oxigênio do ar;
- *Detergentes:* Reduzem a deposição de lodo, lamas e borras. São compostos organometálicos contendo magnésio, bário e cálcio entre outros.
- *Emulgadores:* Responsáveis pela formação de emulsões. Os tipos principais são os sabões de ácidos graxos, as gorduras sulfatadas, sulfonatos de petróleo e emulgadores não-iônicos;

- *Biocidas:* Substâncias ou misturas químicas que inibem o desenvolvimento de microrganismos;
- *Aditivos Extrema Pressão (EP):* Em operações severas conferem aos fluidos uma lubricidade melhorada para suportarem as elevadas temperaturas e pressões de corte, reduzindo o contato metal-metal. Os mais empregados são aditivos sulfurizados, sulfurados, fosforosos e substâncias cloradas.

2.8.2. Classificação dos fluidos de corte

Embora genericamente designados como "fluidos" de corte, os materiais que cumprem as funções citadas anteriormente (lubrificação, refrigeração, etc.) podem ser na verdade sólidos líquidos e gasosos.

Os agentes gasosos visam principalmente à refrigeração, mas o fato de estarem sob pressão, auxilia também na expulsão do cavaco. Usa-se o ar comprimido em temperaturas abaixo de 0°C, o CO_2 (dióxido de carbono ou gelo-seco) para altas velocidades de corte de ligas de difícil usinagem, e o nitrogênio para operações de torneamento. Os agentes sólidos podem ser utilizados com objetivos de lubrificação de duas maneiras distintas (FERRARESI, 1977):

- Lubrificantes sólidos: pó aplicado diretamente na superfície de saída da ferramenta antes da operação de usinagem (MOS_2 ou grafite);
- Aditivos metalúrgicos: elementos adicionados ao material da peça durante a sua fabricação (enxofre, bismuto, chumbo, manganês, telúrio ou selênio), são chamados de aditivos de livre corte.

O grupo maior, e mais amplamente empregado é o composto pelos líquidos. Podemos dividi-lo em dois subgrupos:

1. Fluidos que não são misturados com água: Óleos de cortes integrais, óleos minerais, óleos graxos, óleos compostos, óleos de extrema pressão; óleos sulfurados e clorados;
2. Fluidos formados a partir da adição de óleo concentrado à água: Emulsões e Soluções.

- *Óleos de cortes integrais*

Óleos integrais são, basicamente, óleos minerais puros ou com aditivos (a base de cloro ou enxofre ou misturas destes dois, dando características de extrema pressão ao fluido). Devido ao alto custo, riscos de fogo, ineficiência em altas velocidades de corte, baixo poder refrigerante e formação de fungos, além de oferecerem riscos à saúde do operador, vêm perdendo espaço, sempre que possível, para os óleos solúveis em água. Entretanto, nos dias atuais já é possível à utilização de óleos de origem vegetal com boas propriedades lubrificantes e que oferecerem menos riscos à saúde do operador.

- *Emulsões*

Apresentam duas fases, uma fase contínua consistindo de pequenas partículas de óleo mineral suspensos na água (segunda fase), esta mistura é possível com a adição de agentes emulsificadores, ou seja, que ajudam a formar as gotículas de óleo que ficam dispersas na água. São usados aditivos anticorrosivos, biocidas, elementos EP e antidesgaste. Usa-se ainda gordura e óleos (animal e vegetal) para melhorar as propriedades de lubrificação.

Os fluidos semi-sintéticos (microemulsões) são também formadores de emulsões. Eles se caracterizam por apresentarem aditivos e compostos químicos e uma menor quantidade de óleo mineral ou vegetal, o que lhes conferem uma coloração menos leitosa e mais transparente. São também acrescentados aditivos como nos fluidos anteriores.

- *Soluções*

São compostos monofásicos de óleos dissolvidos completamente na água. Os compostos reagem quimicamente formando fases únicas o que dispensam o uso de elementos emulgadores. Pertencendo à classe das soluções, encontram-se os fluidos sintéticos, que se caracterizam por serem livres de óleo mineral em sua composição. São adicionados vários aditivos (lubricidade, biocidas, inibidores de corrosão), sais orgânicos e inorgânicos com água. Os óleos mais complexos são de uso geral, com boas propriedades refrigerantes e lubrificantes. Quando os fluidos sintéticos contêm apenas inibidores de corrosão, e as propriedades EP não são necessárias são chamados de refrigerantes químicos ou soluções verdadeiras.

2.8.3. Método de aplicação

Os fluidos de corte podem ser aplicados sob diversas direções, vazões, posicionadas na interface cavaco-ferramenta ou na peça. As formas tradicionalmente empregadas são (FERRARESI, 1977; DROZDA; WICK, 1993; ASM INTERNACIONAL, 1989):

1. Aplicação externa: devido à baixa modernização do parque fabril brasileiro esta é a aplicação mais encontrada nas linhas de produção (TEIXEIRA, 2001). Nesta aplicação, através de um jato externo, o fluido é direcionado convenientemente para a região de interação entre a ferramenta e a peça. A Fig. 2.37 mostra de forma esquemática três direções comuns de aplicação externa dos fluidos de corte. A aplicação externa pode ser feita basicamente por três métodos, que são:

- *Jorro do fluido a baixa pressão, ou por gravidade:* este sistema é o mais usado pela sua simplicidade. O fluido é jorrado sobre-cabeça contra a superfície do cavaco, ou ainda na superfície de saída da ferramenta;
- *Sistema a alta pressão:* neste caso o objetivo principal é melhorar a quebra do cavaco. Um jato de fluido a alta pressão (48 Kgf/cm^2 à vazão de 15 l/min) é jogado em duas direções: na direção sobre-cabeça e contra a superfície de saída da ferramenta (SALES, 1999);
- *Mínima quantidade de fluido de corte (MQF):* bicos externos pulverizam uma quantidade mínima de lubrificante em um fluxo de ar comprimido, normalmente com uma vazão menor que 100ml/h (NOVASKI; DÖRR, 1999). Utiliza-se geralmente o princípio de Venturi para fazer a mistura ar-fluido.

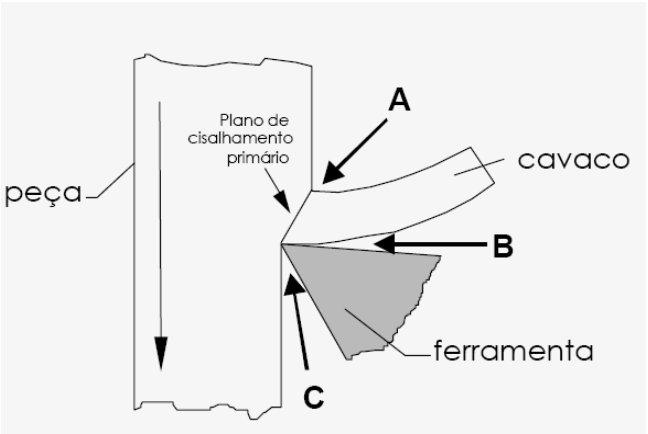


Figura 2.37 – Direções de aplicação externa de fluidos de corte. A - aplicação sobre-cabeça, B - aplicação entre a superfície de saída e o cavaco e C - aplicação do fluido entre a superfície de folga e a peça (SALES, 1999)

2. Aplicação interna: para fazer o fluido de corte chegar até a zona de corte podem ser utilizados canais convenientemente preparados nos suportes e/ou nas ferramentas. Esta forma de aplicação permite obter uma excelente penetração do fluido nas interfaces cavaco-ferramenta e ferramenta-peça. Porém o emprego desta técnica exige condições e características apropriadas no conjunto máquinas-ferramentas, suportes e ferramentas de corte, de modo a permitir a circulação dos fluidos até a zona de corte. Tudo isso se traduz em maiores custos dos equipamentos e exigem maiores cuidados com o ferramental (TEIXEIRA, 2001). A Fig. 2.38 ilustra, de forma esquemática, uma aplicação com fluxo interno de fluido de corte para o processo de furação.

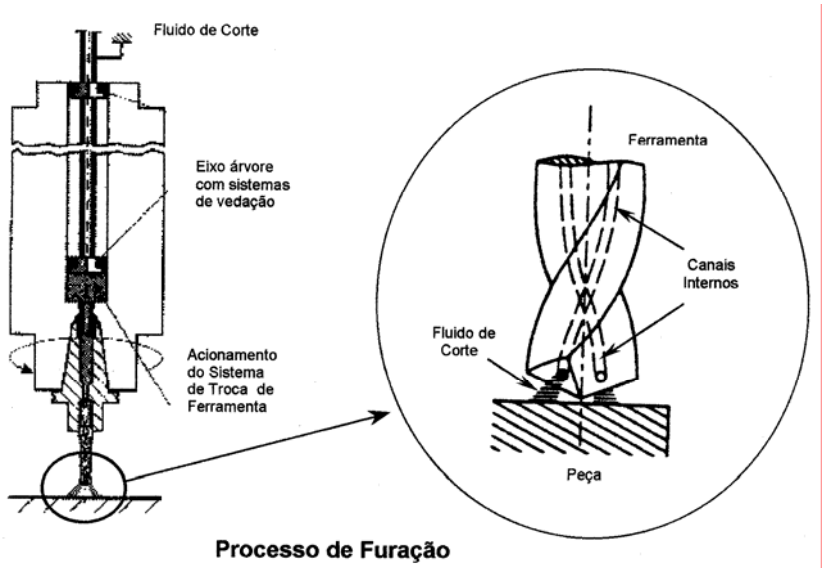


Figura 2.38 - Exemplo de aplicação interna de fluidos de corte na furação (Klocke, 1996)

2.9. Usinagem do Ferro Fundido Cinzento

A usinagem de ferro fundido pode variar desde muito fácil de usinar, como no caso do ferro fundido cinzento ferrítico (HB≈120), até muito difícil de usinar, como no caso do ferro fundido branco (HB≈550). É evidente, portanto, que como no caso dos aços a usinabilidade dos ferros fundidos vai depender da composição química e da microestrutura. A dureza do ferro fundido cinzento aumenta com o aumento da porcentagem de perlita e cementita e, portanto, aumenta o desgaste da ferramenta. Os flocos de grafita no ferro fundido cinzento diminuem a ductilidade do ferro, o que ajuda a quebrar os cavacos, dando um comprimento de contato cavaco-ferramenta pequeno, relativamente baixas forças de usinagem e potência consumida, baixas taxas de desgaste e altas taxas de remoção de material. O ferro fundido nodular é mais dúctil que os ferros fundidos cinzentos, oferecendo menores vidas do que os cinzentos, quando usinando com ferramentas de metal duro (MACHADO et al., 2009).

Para a usinagem de ferros fundidos, as ferramentas de metal duro (WC + Co) da classe K são as mais utilizadas, e a vida é geralmente limitada por desgaste de flanco. À velocidades de corte relativamente baixas (mas maiores que quando usinando aços) uma APC se forma e ela é mais estável e se destaca da ferramenta com uma frequência menor que a APC dos aços. Nestas condições, o desgaste por atrittion geralmente prevalece. À altas temperaturas ou em altas taxas de remoção do material a APC desaparece e a cratera e o desgaste de flanco se desenvolvem normalmente, por abrasão e difusão. A maior temperatura é observada na região próxima à aresta de corte, que em combinação com

altas tensões de compressão limitam a taxa de remoção de material, devido à deformação plástica da aresta de corte. Cerâmicas à base de alumina e as SIALONS têm sido cada vez mais utilizadas parta usinar ferros fundidos com sucesso (MACHADO et al., 2009).

A dureza não é um indicador de usinabilidade tão eficiente para o ferro fundido (como ocorre com os aços). Nesse caso, a microestrutura exerce papel mais preponderante. A seguir, é apresentada a influência de vários constituintes da matriz do ferro fundido sobre a vida da ferramenta (AFS, 2003).

a) Ferrita: é um constituinte essencialmente livre de carbono. Com exceção da grafita apresenta a dureza mais baixa, se comparada com os demais constituintes.

b) Perlita: é o mais comum constituinte nos ferros fundidos. Apresenta resistência e dureza média. É composta de uma estrutura fina, alternada de ferrita mole e carbonetos duros Essa estrutura pode variar entre fina e grossa. A estrutura fina é mais dura e é usinada a menores velocidades de corte. A perlita no ferro fornece a melhor combinação entre usinabilidade e resistência ao desgaste.

c) Martensita: é um constituinte de grande dureza. É formada mediante tratamentos térmicos nos ferros fundidos. Na condição dura não-revenida, a martensita é de difícil usinagem, porém, quando tratada posteriormente com um revenido, dá origem a uma estrutura contendo carbonetos esferoidais em uma matriz ferrítica, o que reduz a dureza e garante uma usinabilidade até mesmo melhor que a da perlita de mesma dureza.

d) Bainita: a estrutura bainítica é obtida após o tratamento térmico de austêmpera. Devido à maior dificuldade de ser usinada, geralmente são usadas velocidades menores que as usadas para a usinagem da martensita revenida de mesma dureza.

e) Austenita: é o principal constituinte dos ferros fundidos cinzentos com elevados teores de níquel e dos ferros dúcteis não-magnéticos. A austenita é um componente considerado como de dureza relativamente baixa e de usinabilidade similar à da ferrita. Porém, existem alguns tipos de ferros austeníticos com suficiente conteúdo de cromo para produzir carbonetos na sua microestrutura. A presença de carbonetos aumenta a dureza e diminui a usinabilidade em uma proporção maior.

f) Carbonetos: são constituintes extremamente duros, variando desde simples carbonetos de ferro até complexos carbonetos contendo elementos de liga. A presença de carbonetos em forma de finas camadas na estrutura perlítica, devido à facilidade de cisalhamento, não representa prejuízo na vida da ferramenta. Maiores quantidades de carbonetos no ferro fundido, como constituintes livres, causam diminuição da usinabilidade. Uma concentração de 5% de carbonetos livres pode significar uma diminuição significativa na vida da ferramenta. Os carbonetos podem estar presentes nas extremidades das peças fundidas devido ao rápido resfriamento dessas regiões.

g) Esteadita: é um constituinte duro, formado pela presença de fósforo no ferro fundido. Com um conteúdo de fósforo inferior a 0,2%, não exerce um efeito significativo na vida da ferramenta. Para concentrações da ordem de 0,4%, a usinabilidade é comprometida em operações críticas tais como rosqueamento. Maiores quantidades de fósforo reduzem significativamente a vida da ferramenta.

h) Estrutura mista na matriz: formada por dois ou mais constituintes, provoca efeito intermediário na vida da ferramenta, comparado ao efeito devido a cada um dos componentes isolados. No entanto, o efeito combinado não é proporcional às quantidades relativas de cada constituinte.

Em dissertação de mestrado, Santos (1999) estudou a furação de ferro fundido cinzento com brocas de metal duro integral no Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (UFU) da Universidade Federal de Uberlândia. As ferramentas para os ensaios foram fornecidas por 5 diferentes fabricantes, e 5 tipos apresentam canal para injeção de fluido de corte. As ferramentas foram divididas em dois grupos, de acordo com a presença ou não dos canais internos para injeção de fluido de corte. A Tab. 2.5 mostra o tipo, as características e o código de identificação dessas ferramentas.

Tab. 2.5 – Ferramentas utilizadas nos ensaios

Brocas sem canal interno para injeção de fluido de corte		**Brocas com canal interno para injeção de fluido de corte**	
Código	Características	Código	características
AS	Canais helicoidais Sem revestimento Ângulo de ponta: 130º Comprimento de hélice: 60 mm Ângulo de hélice: 10º	AF	Canais retos Sem revestimento Comprimento de hélice: 60 mm
AS_{TiNAl}	Canais helicoidais Revestimento de TiNAl Ângulo de ponta: 130º Comprimento de hélice: 60 mm Ângulo de hélice: 40º	AF_{TiN}	Canais helicoidais Revestimento de TiN Comprimento de hélice: 65 mm Ângulo de hélice: 35º
BS_{TiNAl}	Canais helicoidais Revestimento de TiNAl Ângulo de ponta: 140º Comprimento de hélice: 60 mm Ângulo de hélice: 40º	BF_{TiN}	Canais helicoidais Revestimento de TiN Comprimento de hélice: 65 mm Ângulo de hélice: 35º
CS	Canais helicoidais Sem revestimento Ângulo de ponta: 140º Comprimento de hélice: 40 mm Ângulo de hélice: 25º	CF_{TiN}	Canais helicoidais Revestimento de TiN Comprimento de hélice: 50 mm Ângulo de hélice: 25º
ES_{TiN}	Canais helicoidais Revestimento de TiN Ângulo de ponta: 130º Comprimento de hélice: 25 mm Ângulo de hélice: 40º	DF_{TiN}	Canais helicoidais Revestimento de TiN Comprimento de hélice: 60 mm Ângulo de hélice: 25º Ângulo de ponta: 130º

Para as condições de corte adotadas nos ensaios classificatórios, a ferramenta classificada como AS_{TiNAl} foi que apresentou os melhores resultados nos critérios de maior número de furos gerados, textura superficial e estabilidade dimensional dos furos ao longo da vida da ferramenta. Este resultado mostrou que o revestimento de TiAlN é uma boa alternativa para furação a seco do ferro fundido cinzento, principalmente a altas velocidades de corte.

O revestimento de TiN foi determinante no aumento da vida das ferramentas utilizadas com injeção de fluido de corte através dos canais internos. Estas sempre superaram as ferramentas não revestidas.

A vida da ferramenta classificada como ES_{TiN}, utilizada no corte a seco, comparada à vida das ferramentas revestidas com TiN com fluidos aplicados nos canais internos, mostraram que o fluido de corte contribuiu fortemente para o aumento da vida das ferramentas. Este resultado, contudo, deve ser restrito às condições de corte adotadas, uma vez que a ferramenta ES_{TiN} apresentou aumento significativo de vida, quando maiores valores de avanço foram adotados, na condição a seco.

As ferramentas classificadas como CF_{TiN} e DF_{TiN} apresentaram as menores diferenças entre os diâmetros máximos e mínimos medidos na entrada, no meio e na saída dos furos. Uma qualidade IT 6 foi conseguida com estas ferramentas.

De um modo geral, a tendência da dimensão do diâmetro dos furos é reduzir ao longo da vida da ferramenta. Esta tendência é menos marcante no caso da ferramenta AS_{TiNAl}.

A potência consumida na furação mostrou-se fortemente dependente da geometria e do grau de desgaste da ferramenta, aumentando com o aumento dos ângulos de hélice e de ponta e com o desgaste.

Em outro trabalho, Santos (2002) estudou a influência de diferentes revestimentos e aplicações de fluidos de corte no desempenho de brocas de aço rápido e metal duro na furação de ferro fundido cinzento. Os resultados mostraram a influência dos revestimentos e dos fluidos de corte na vida das ferramentas de ambos os materiais, na qualidade dimensional dos furos e nos mecanismos de desgaste. Os coeficientes de desgaste apresentaram boa correlação com o número de furos por espessura de revestimento, principalmente para brocas de metal duro.

No corte a seco as brocas de aço rápido revestidas apresentaram superior desempenho ao das ferramentas não revestidas. A aplicação de mínima quantidade de fluido fez com que as ferramentas com revestimento multicamadas de TiN e TiAlN apresentassem melhor desempenho em relação às demais.

As brocas de metal duro, com base na análise estatística, não apresentaram diferenças de desempenho, o que pode ser atribuído ao fato de a deformação plástica das arestas de corte ser mecanismo de desgaste predominante, Na furação com mínima quantidade de fluido as ferramentas revestidas apresentaram desempenho superior ao das ferramentas não revestidas.

A aplicação de mínima quantidade de fluido foi responsável pelo melhor desempenho das ferramentas em relação ao corte a seco para todas as ferramentas testadas.

Em trabalho recente, Barbosa (2009) estudou a furação de ferros fundidos austemperados e nodular perlítico também no Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (UFU) da Universidade Federal de Uberlândia. Os resultados mostraram que o ADI (Ferro Fundido Austemperado) da classe 800-10 (207 HB) apresentou melhor usinabilidade, seguido pelo ferro fundido nodular FE70003 (263 HB). O ferro fundido austemperado da classe ISO 1.050-6 (288 HB) se mostrou como o material mais difícil de usinar. Observou-se que a usinabilidade dos ferros fundidos estudados está diretamente relacionada com os diferentes tratamentos térmicos a que estes foram submetidos, conferindo diferentes microestruturas que por sua vez promovem alterações nos valores de dureza.

Em trabalho realizado, Mocellin (2002) afirma que tendo em vista as vantagens a serem obtidas com a utilização do ferro fundido vermicular em blocos de motores, em 1996 começaram as primeiras tentativas de introduzir este material em linhas transfer de usinagem em substituição aos ferros fundidos cinzentos. Porém, as altas velocidades de corte usuais nos cinzentos não puderam ser utilizadas nos vermiculares, principalmente em algumas operações críticas de usinagem, tais como o mandrilamento de cilindros, devido ao acentuado desgaste dos insertos de PCBN (*Polycrystalline Cubic Boron Nitride* – Nitreto de Boro Cúbico Policristalino), quando aplicados ao vermicular. Os resultados da usinabilidade das peças de vermicular em linhas transfer são apresentados na Fig. 2.39.

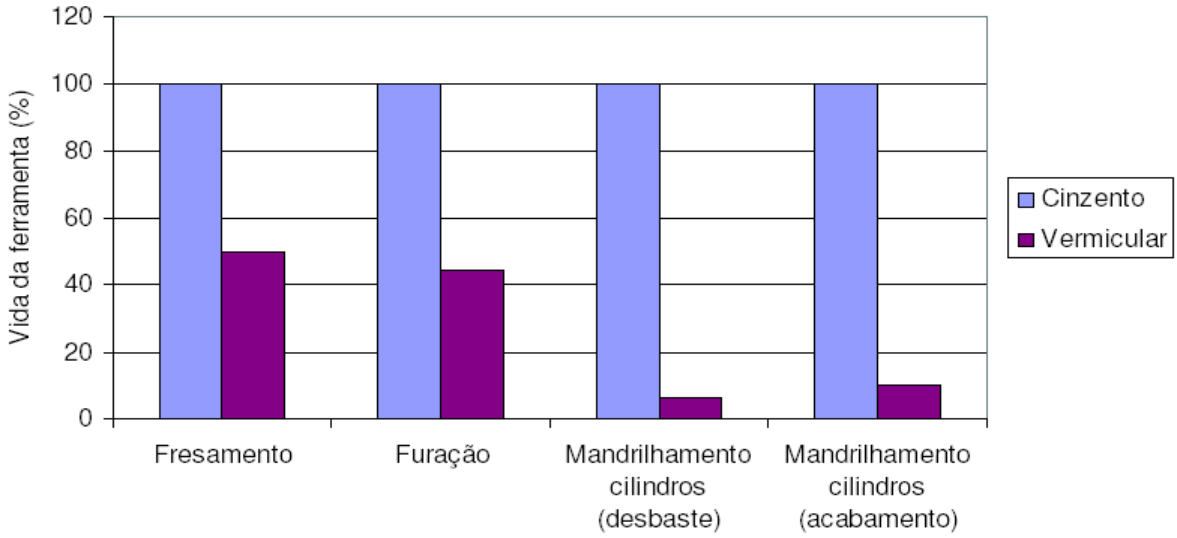


Figura 2.39 - Comparação entre usinabilidade de ferro fundido cinzento e vermicular (REUTER et al., 2000 apud MOCELLIN, 2002)

Em pesquisa de dissertação de mestrado, Bossardi (2008) fez uma análise comparativa dos meios lubri-refrigerantes na furação do ferro fundido vermicular com brocas helicoidais de metal duro revestidas com TiAiN. Ele conclui que a presença do aditivo EP proporcionou um baixo coeficiente de atrito e que o mesmo ocorre através de reações químicas que reagem em altas temperaturas (200 a 1000ºC) na região de corte, reagindo triboquimicamente com o metal exposto durante o processo mecânico, desenvolvendo uma boa aderência e formando uma camada protetora entre a peça e a ferramenta de corte. Andrade (2005) analisou a furação do ferro fundido vermicular com brocas de metal-duro com canais retos revestidas com TiN e TiAlN em dissertação de mestrado. Segundo o autor, a pesquisa serviu como base para especificações de revestimentos adequados para brocas na furação de blocos vermiculares, através dos quais se obteve redução de custos de 25% aproximadamente neste tipo de processo.

2.10. Ciclos de Furação

2.10.1. Definições

Os ciclos de usinagem são utilizados para operações tais como furar, rosquear com macho, fresar rasgos para chaveta, cavidades retangulares e circulares. Uma vez programados os dados necessários para a definição do ciclo, a execução do mesmo deve ser feita usando a função que caracteriza a chamada do ciclo. Cada vez que esta função é

lida pelo comando da máquina, será executado o último ciclo definido. É importante destacar que a ferramenta deve ser levada a uma posição inicial livre de colisões antes da chamada do ciclo (CENTRO SENAI “FUNDAÇÃO ROMI” FORMAÇÃO DE FORMADORES, 1996).

Ciclos de furação, rosqueamento, etc., são sequências de movimentos definidos de acordo com a DIN 66025 para furação, rosqueamento, etc. São chamados em forma de sub-rotinas com um nome específico e uma lista de parâmetros. Há um total de cinco ciclos disponíveis para furação. Todos eles seguem um procedimento tecnológico diferente e são, por consequência, também parametrizados diferentemente (SINUMERIK840D/840Di/810D/ FM - NC, 2000).

2.10.2. Tipos de ciclos de furação

a) Interrupções em intervalos entre uma sequência de furos

Na furação com interrupções em intervalos entre uma sequência de furos a ferramenta fura com a rotação de fuso e velocidade de avanço programada até a profundidade final de furação introduzida. Quando esta for atingida, pode ser programado um tempo de espera. O ciclo gera a seguinte sequência de movimentos:

- Aproxima até o plano de referência descontado da distância segura com G0;
- Vai para a profundidade final de furação com G1 e o avanço programado numa linha anterior;
- Tempo de espera na profundidade final de furação com G4;
- Retorno até ao plano de referência descontado da distância segura com G0 e o mesmo valor de avanço ou com outro avanço programado pelo operador;
- Movimento até o plano de retorno com G0. Avança para o próximo furo, para em seguida repetir o ciclo.

A Fig. 2.40 mostra um exemplo de ciclo de furação, onde aparecem alguns códigos com as seguintes identificações:

RTP: Plano real de retorno (absoluto);

RFP: Plano real de referência (absoluto);

SDIS: Distância real segura (sem sinal);

DP: Profundidade final de furação (absoluta);

G0: Avanço rápido descontando uma distância segura para evitar choques;

G1: Avanço de corte programado quando da chamada de ciclo;

G4: Tempo de permanência.

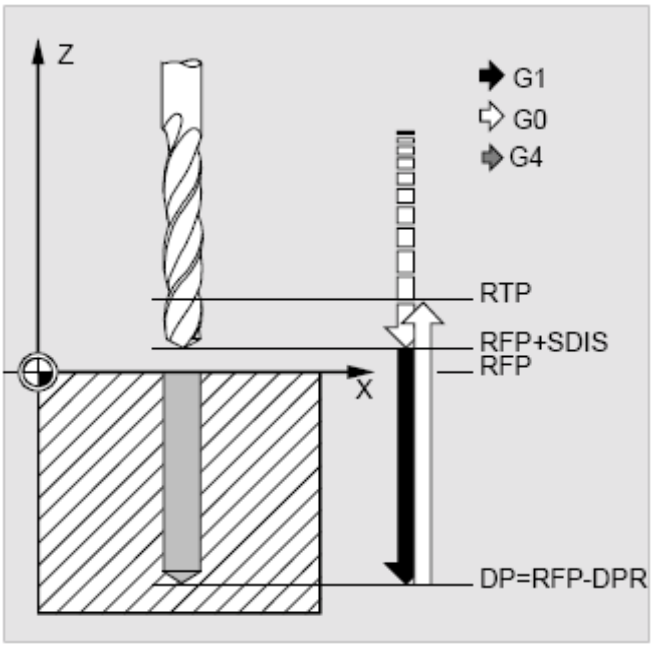


Figura 2.40 – Exemplo de um ciclo de furação, onde um tempo de espera no final da profundidade pode ser programado

b) Interrupções no meio de um furo

A furação com interrupções no meio do furo pode ser exemplificada através do ciclo para furação profunda com quebra de cavacos. A ferramenta fura com a rotação e avanço dos eixos até a profundidade programada, de forma que a profundidade final é atingida com sucessivas penetrações, podendo a ferramenta recuar até o plano de referência para eliminar os cavacos com o auxílio do jorro do fluido de corte (Fig. 2.41), ou apenas recuar 1 mm para quebrar o cavaco (Fig. 2.42). Nesta condição, existe a dificuldade de acesso do fluido de corte na ponta da broca divido à retração parcial e interna da mesma durante o processo.

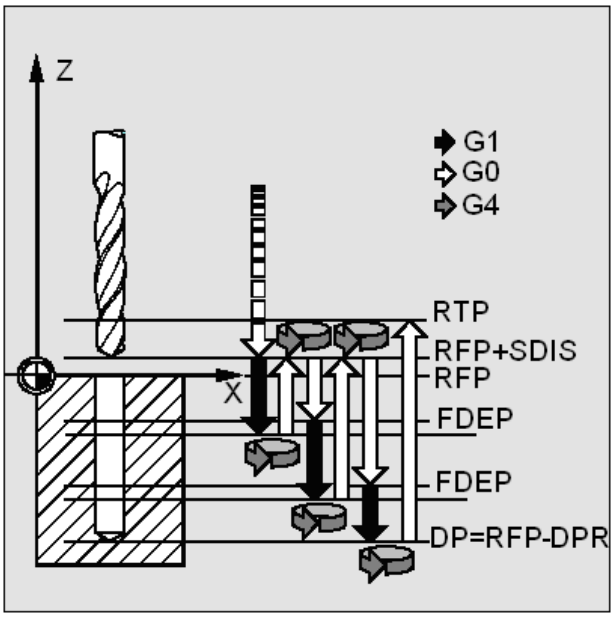


Figura 2.41 – Ciclo: eliminação de cavacos

Movimentos do ciclo (elimina cavaco):

- A broca aproxima até o plano de referência com avanço rápido (G0), descontando uma distância segura para evitar choques;
- Vai para a primeira profundidade de furação com avanço de corte (G1) programado quando da chamada de ciclo, e compensado com o parâmetro FRF (fator de avanço);
- Recua até o plano de referência para eliminar os cavacos da profundidade atual de furação com G0 estabelecido no programa principal;
- Vai para a próxima profundidade de furação com G1 e o avanço programado (a sequência de movimentos segue até que a profundidade final de furação tenha sido atingida);
- Movimento até o plano de retorno com G0;
- Aproxima até o plano de referência descontado da distância segura com G0.

Movimentos do ciclo quebra de cavacos ou pica-pau:

- Vai para a primeira profundidade de furação com G1, com o avanço programado quando da chamada de ciclo, e compensado com o parâmetro FRF (fator de avanço);
- Executa o tempo de espera na profundidade final de furação (parâmetro DTB);
- Retorno de 1 mm da profundidade atual de furação com G1 e o avanço estabelecido no programa principal (para quebrar cavacos);

- Vai para a próxima profundidade de furação com G1 e o avanço programado (a sequência de movimentos segue até que a profundidade final de furação tenha sido atingida);
- Movimento até o plano de retorno com G0.

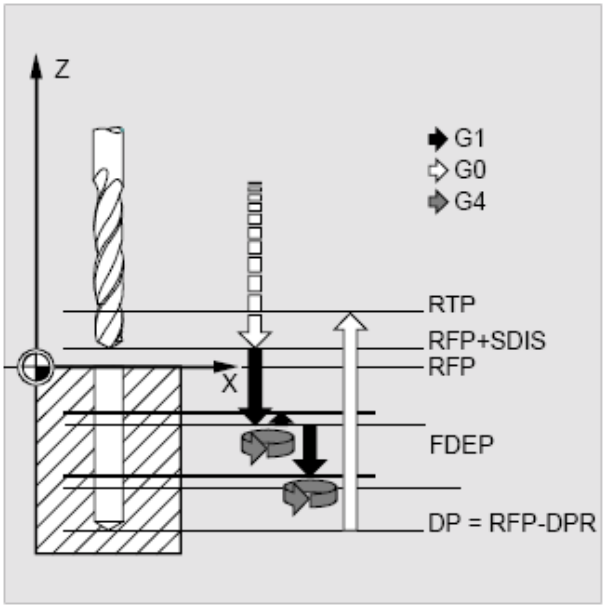


Figura 2.42 – Ciclo: quebra cavacos ou pica pau

2.10.3. Influência do ciclo na produtividade do processo

Cálculo de tempos

O ciclo de usinagem de uma peça, pertencente a um lote de Z peças, é constituído diretamente das seguintes fases (DINIZ et al., 1999):

1. Colocação e fixação da peça;
2. Aproximação e posicionamento da ferramenta;
3. Corte;
4. Afastamento da ferramenta;
5. Inspeção (se necessário) e retirada da peça.

Além destas fases, tomam parte indiretamente no ciclo de usinagem (para um lote de Z peças):

1. Preparo da máquina;
2. Remoção da ferramenta para sua substituição;
3. Recolocação e ajustagem da nova ferramenta.

Cada uma das fases acima vai ser denominada como segue:

t_t = tempo total de usinagem de uma peça

t_c = tempo de corte (fase 3)

t_s = tempo secundário (fase 1 e 5)

t_a = tempo de aproximação e afastamento (fases 2 e 4)

t_p = tempo de preparo da máquina (fase 6)

t_{tf} = tempo de troca da ferramenta (fases 7 e 8)

O tempo total de usinagem de uma peça, dentro de um lote de Z peças, será:

$$t_t = t_c + t_s + t_a + \frac{t_p}{Z} + \frac{N_t}{Z} t_{ft} \tag{2.7}$$

Onde: N_t = número de trocas da ferramenta para a usinagem do lote

$$Z = (N_t + 1)Z_t = (N_t + 1)\frac{T}{t_c} \tag{2.8}$$

$$N_t = Z\frac{t_c}{T} - 1 \tag{2.9}$$

Onde: Z_t = número de peças usinadas durante a vida T de uma ferramenta.

Substituindo na Eq. (2.7), tem-se:

$$t_t = t_c + \left(t_s + t_a + \frac{t_p}{Z}\right) + \left(\frac{t_c}{T} - \frac{1}{Z}\right) t_{ft} = t_c + \underbrace{\left(t_s + \frac{t_p}{Z} - \frac{1}{Z} t_{ft}\right)}_{t_1} + \underbrace{\frac{t_c}{T} t_{ft}}_{t_2} \tag{2.10}$$

Pode se verificar na Eq. (2.11) que o tempo total de usinagem de uma peça pode ser dividido em três parcelas, isto é:

$$t_t = t_c + t_1 + t_2 \tag{2.11}$$

Onde:

t_c = tempo de corte, que diminui com o aumento da velocidade de corte.

t_1 = tempo improdutivo, referente à colocação, inspeção e retirada da peça, aproximação e afastamento da ferramenta, e preparo da máquina para a usinagem de um lote, que é independente da velocidade de corte.

$$t_1 = t_s + t_a + \frac{t_p}{Z} - \frac{1}{Z} t_{ft} \tag{2.12}$$

t_2 = tempo relacionado com a troca da ferramenta. Quanto maior a velocidade de corte, menor a vida da ferramenta e maior é o número de paradas da máquina para substituição da mesma e vice-versa. Portanto, maior também esta parcela.

$$t_2 = \frac{t_c}{T} t_{ft} \tag{2.13}$$

Este cálculo de t_t (tempo total de usinagem de uma peça) se aplica para um ciclo contínuo de furação ou outro processo qualquer. Para o caso de ciclos interrompidos, como o elimina cavaco e o “pica pau” (quebra cavaco), a Eq. (2.11), em sua parcela de tempos improdutivos, (t_1), (Eq. 2.12) ganhará mais um item, relativo ao tempo total perdido no processo, devido à utilização da estratégia. Este tempo pode ser: t_{ec} = tempo total perdido na aplicação da estratégia elimina cavaco (pica-pau) na usinagem de um furo.

Desta forma, a Eq. (2.11) poderá ser reescrita assim:

$$t_t = t_c + \left(t_s + t_a + t_{ec}(ou.t_{pc}) + \frac{t_p}{Z} - \frac{1}{Z} t_{ft} \right) + \frac{t_c}{T} t_{ft} \tag{2.14}$$

Um exemplo de investigação dos ciclos de furação foi o trabalho desenvolvido por Costa (2004), em cinco etapas no Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (UFU) da Universidade Federal de Uberlândia. Na etapa de nº 5, destaca-se a variação do ciclo de furação. As condições de corte e os resultados para estes testes, em relação à vida das brocas, estão apresentados na Tab. 2.6.

Tabela 2.6 – Resultados de vida (n° de furos) para as brocas da etapa 5 do trabalho desenvolvido por Costa (2004)

Teste	Sistema Lub./Ref.	Processo Furação	f (mm/volta)	v_c (m/min)	Broca TiAlN	Vida
01	Seco	Elimina-Cavaco	0,16	80	A	12
02					B	16
03	Seco	Elimina-Cavaco	0,20		A	12
04					B	22
05	MQF	Convencional	0,16		A	23
06					B	88
07	MQF	Convencional	0,20		A	06
08					B	25
09	MQF	Elimina-Cavaco	0,16		A	27
10					B	170
11	MQF	Elimina-Cavaco	0,20		A	14
12					B	130
13	Jorro	Convencional	0,16		A	142
14					B	394
15	Jorro	Convencional	0,20		A	118
16					B	354
17	Jorro	Elimina-Cavaco	0,16		A	136
18					B	155
19	Jorro	Elimina-Cavaco	0,20		A	95
20					B	479
21	Jorro	Elimina-Cavaco	0,20	70	A	90
22					B	268
23	MQF	Elimina-Cavaco	0,20		A	53
24					B	167

Nestes experimentos verificou-se que o processo de furação elimina-cavaco para a usinagem com MQF foi benéfico, aumentando a vida das brocas. Para o sistema jorro com óleo semi-sintético o processo elimina-cavaco não apresentou os mesmos resultados, diminuindo, em geral, a vida das brocas. De acordo com a opinião do autor, estes resultados se devem a problemas de fadiga térmica nas brocas e de resfriamento excessivo do material da peça, que impede o amolecimento pelo calor com a aplicação do jorro. Com MQF este resfriamento é menor, além de permitir boa lubrificação dos canais da broca.

O autor conclui ainda que entre os parâmetros avaliadores de desempenho (vida, potência efetiva, vibração efetiva, rugosidades e erros geométricos) somente a potência efetiva apresentou baixa dispersão dos resultados, em média inferior a 6%, além de um comportamento padrão, predominantemente crescente com o desgaste das ferramentas. Os efeitos provocados pelos sistemas lubri-refirgerantes testados (seco, MQF e jorro) na potência efetiva foram baixos, na média inferior a 6%.

2.11. Planejamento de Experimentos

O planejamento experimental é uma ferramenta essencial no desenvolvimento de novos produtos e no aprimoramento de processos em utilização. Um planejamento adequado permite, além do aprimoramento de processos, a redução de variabilidade de resultados, a redução de tempos de análise e dos custos envolvidos.

No que se refere ao projeto de produtos, o planejamento experimental permite a avaliação e comparação de configurações (projetos) distintas, avaliação do uso de materiais diversos, a escolha de parâmetros de projeto adequados a uma ampla faixa de utilização do produto e à otimização de seu desempenho.

Um dos objetivos do planejamento experimental é a otimização do número de ensaios a ser realizado. Esse número deve ser adequado de modo a minimizar os erros experimentais (aleatórios), mas também deve contribuir para a viabilidade econômica e prática da experimentação (BUTTON, 2005).

O planejamento de experimentos é definido como sendo a especificação detalhada das operações experimentais que devem ser realizadas e dependerá do objetivo particular que se queira atingir e cada objetivo requer um planejamento diferente, para que possa ser alcançado de forma eficaz (DE BARROS NETO et al., 1995).

2.11.1. Planejamento fatorial completo

Um dos problemas dos experimentos é a determinação da influência de uma ou mais variáveis sobre outra variável de interesse, ou seja, a resposta depende dos fatores, os quais podem ser tanto qualitativos quanto quantitativos.

A Fig. 2.44 esquematiza um sistema considerado como uma função ligando os fatores (variáveis de entrada) às respostas (variáveis de saída). Sendo que o objetivo da realização dos experimentos está em descobrir esta função ou pelo menos obter uma aproximação satisfatória para ela (DE BARROS NETO et al., 1995).



Figura 2.44 - Sistema considerado como uma função ligando fatores às respostas (DE BARROS NETO et al., 1995)

2.11.2. Planejamento fatorial a dois níveis 2^{k-1}

O planejamento fatorial a dois níveis é um tipo particular de planejamento experimental (BOX et al., 1978), que é de grande utilidade em investigações preliminares, quando se deseja saber se determinados fatores têm ou não influência sobre a resposta. São métodos simples de executar e podem ser ampliados para formar um planejamento mais sofisticado, necessário quando se requer conhecer melhor a relação funcional existente entre a resposta e os fatores. Por outro lado, quando o número de variáveis de entrada é grande e quando se deseja fazer apenas uma triagem inicial é vantajoso começar pela execução de um planejamento fatorial incompleto, o chamado Planejamento Fatorial Fracionário, que corresponde a uma fração do número de ensaios do Planejamento Completo.

CAPÍTULO III

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para atingir os objetivos propostos, este trabalho foi desenvolvido em duas etapas experimentais. O fluxograma da Fig. 3.1 mostra as variáveis de entrada e os seus respectivos valores, assim como os parâmetros principais que foram mantidos constantes durante cada parte.

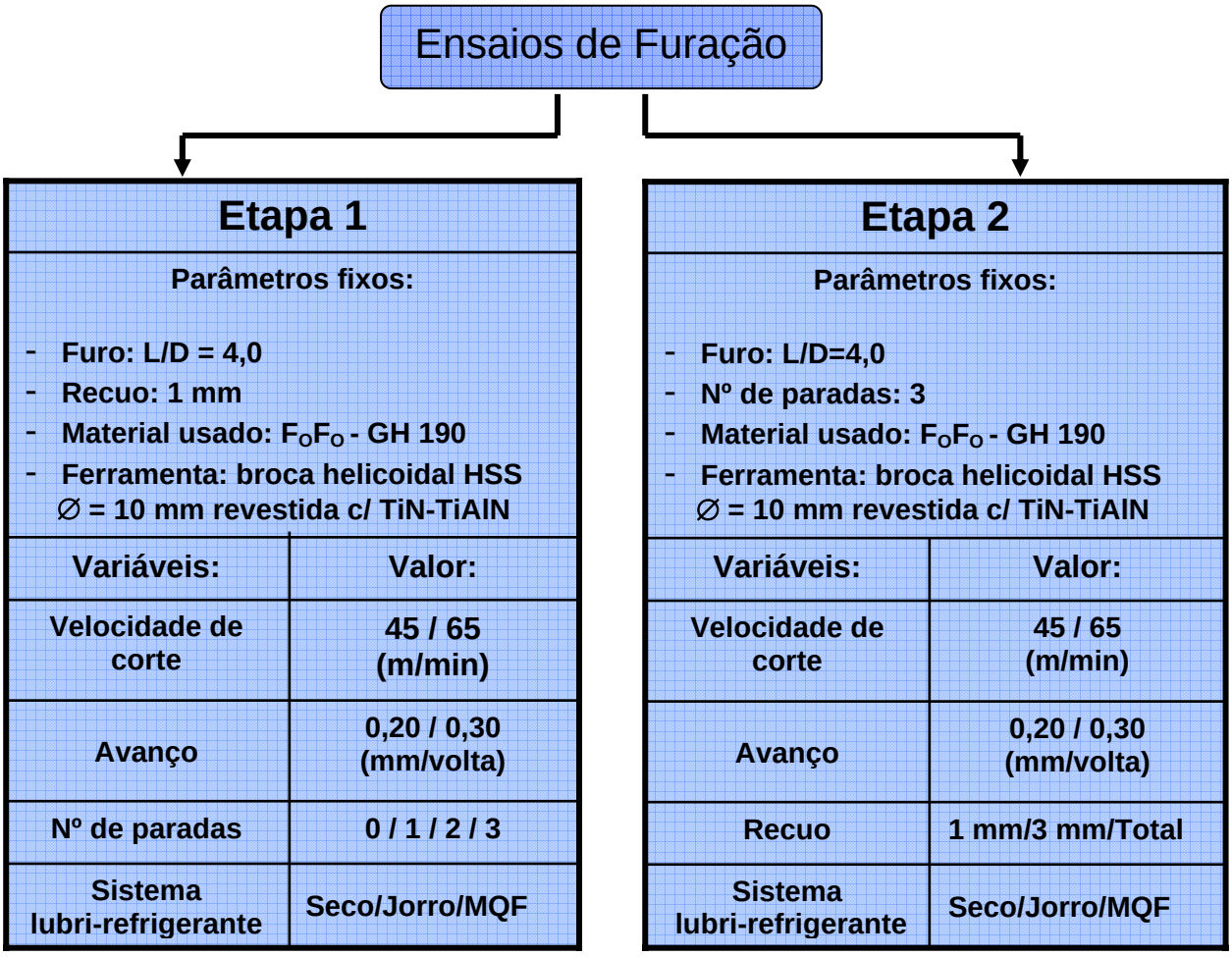


Figura 3.1 – Fluxograma: Etapas experimentais

3.1. Ferramentas de Corte, Materiais Usinados e Máquina-Ferramenta

3.1.1. Ferramenta de corte

As ferramentas de corte usadas nos ensaios experimentais foram brocas helicoidais maciças com cortes à direita e com duas arestas cortantes. As brocas eram em aço-rápido/cobalto tipo M42 (8% Co), revestidas com multicamadas de TiN e TiAlN designadas como EX-BDR, fabricadas pela OSG Sulamricana de Ferramentas Ltda. A Tab. 3.1 mostra ângulos e dimensões comuns às brocas testadas.

Tabela 3.1 – Ângulos e dimensões das brocas ensaiadas

Ângulos		Comprimento (mm)		
Ponta (σ)	Hélice (δ)	Total	Canal	Diâmetro
130°	30°	137	87	10

A geometria das brocas helicoidais utilizadas nos experimentos foi desenvolvida pela matriz do fabricante no Japão e segue normas internas da empresa. A afiação da ponta da broca resultou em uma superfície principal de folga dividida em estágios (Fig. 3.2). Esta geometria recebeu o nome de “EX-BDR OSG Futura”, por parte do fabricante. Segundo ele, a “EX-BDR”:

- Permite a furação com profundidade até quatro vezes o diâmetro da broca sem usar o processo “pica-pau”;
- Pode ser utilizada para inúmeras aplicações de alta produtividade e também em processos convencionais.



Figura 3.2 – Aspectos geométricos das brocas TiN-TiAlN: aresta transversal e superfície de folga

A Fig. 3.3 revela diferenças geométricas marcantes entre as brocas EX-BDR e a broca comum:

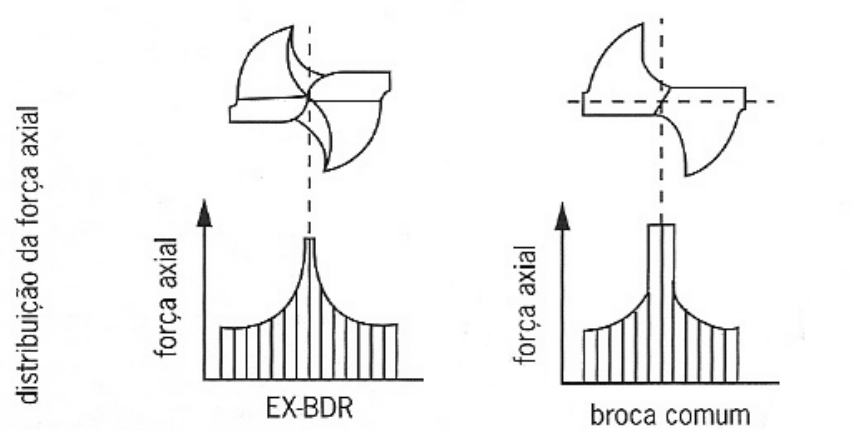


Figura 3.3 – Vista frontal das brocas EX-BDR e comum

Algumas informações do fabricante sobre a aresta transversal em forma de “s” que apresentam melhor desempenho em relação à aresta reta:

- Melhor centragem da broca, principalmente no início do furo;
- Menores desvios de circularidade e cilindricidade do furo;
- Redução em torno de 30% no força de avanço;
- Melhor desempenho na entrada dos furos;
- Melhor desempenho na furação de chapas finas (menores rebarbas);
- Maior vida da broca devida á menor geração de calor.

3.1.2. Material usinado

Para os ensaios foram furadas 12 placas de ferro fundido cinzento GH-190 de 45 mm x 200 x 500 mm conforme ilustrado na Fig. 3.4, fornecidas pela Teksid do Brasil (Betim-MG). Os furos foram cegos, com 40 mm de profundidade, distrubuidos na superfície maior da placa de modo a formarem blocos contendo sessenta e quatro furos cada um. Conforme pode ser observado na Fig. 3.4, o espaçamento entre os centros dos furos, dentro de cada bloco, tanto na direção vertical quanto na direção horizontal foi de 12 milímetros. O espaçamento entre os centros dos furos das extremidades de cada bloco adjacente foi de 12 milímetros nas direções vertical e na horizontal 14 milímetros. As distâncias entre as extremidades da placa e os furos na direção vertical foi de 12 milímetros e na direção horizantal de 9,5 milímetros.

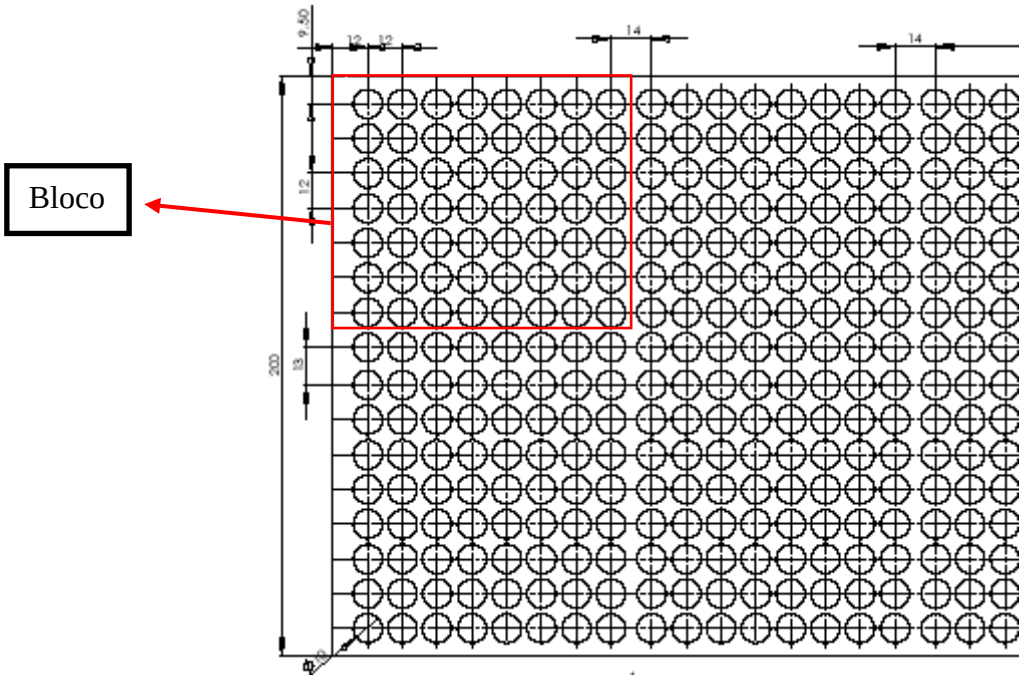


Figura 3.4 – Ilustração da vista superior da placa após a operação de furação

Após a operação de furação a placa foi serrada e os blocos separados (Fig. 3.5), de modo a facilitar a medição dos furos pelo rugosímetro e circularímetro.

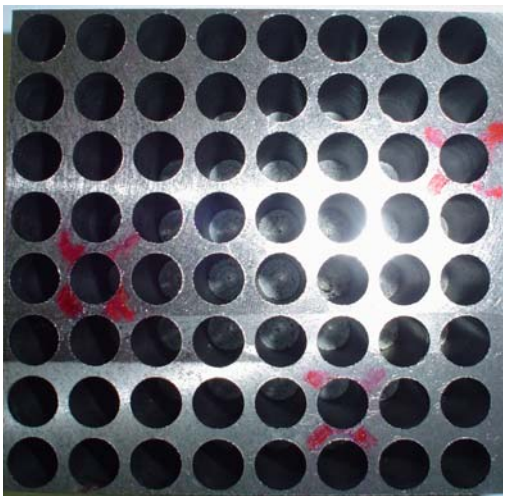


Figura 3.5 – Superfície do bloco contendo sessenta e quatro furos

Características estruturais do ferro fundido cinzento - GH 190

Para confirmação das propriedades foi retirada uma amostra do material (Fig. 3.6) para se fazer ensaios de dureza e da microestrutura do mesmo. A dureza foi avaliada em 5 pontos de cada seção, com a distância entre pontos de cinco milímetros. Os enasios foram

realizados no Laboratório de Tribologia e Materiais da Faculdade de Engenharia Mecânica, da Universidade Federal de Uberlândia, sendo os resultados de dureza estabelecidos conforme a Tab. 3.3.

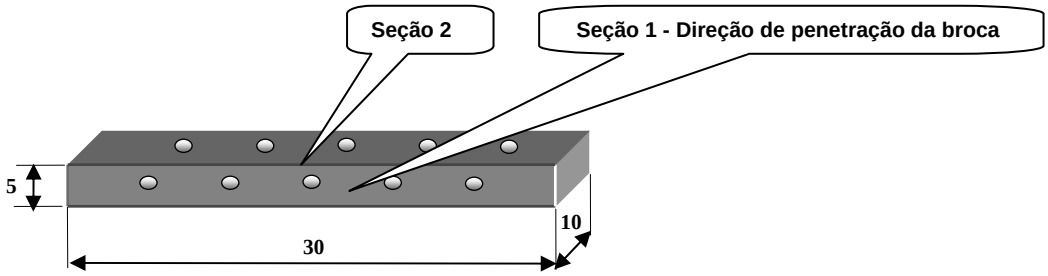


Figura 3.6 – Dimensões da amostra para obtenção da dureza do ferro fundido GH-190 usinado e os respectivos pontos de medição da dureza

Tabela 3.3 – Dureza do ferro fundido cinzento - GH 190 medida

ENSAIOS DE DUREZA BRINELL carga: 187,5 – esfera 2,5mm		
Ponto de Medição	Seção 1	Seção 2
1	174,0	191,0
2	177,0	187,0
3	174,0	191,0
4	180,0	187,0
5	174,0	198,0
Média	175,8	190,8
DesvPad	2,7	4,5

A composição química da corrida foi fornecida pela empresa Teksid do Brasil, conforme apresentada na Tab. 3.4.

Tabela 3.4 – Características do ferro fundido cinzento - GH 190 informadas pelo fabricante (fonte: Santos, 1999)

Composição química (%)					Características estruturais			Dureza (HV)
C	Si	Cr	S	P	Matriz	Grafita	Cementita e carbono livre	200
3,2 – 3,5	2,0 – 2,5	$\leq$ 0,2	$\leq$ 0,15	$\leq$ 0,10	Perlita lamelar máxima 5% de ferrita	Tipos B e D	Máx. 1%	

As durezas Brinell (HB) e Vickers (HV) são equivalentes (na prática) até o valor de 300 kgf/mm^2. Foi observada uma diferença de aproximadamente 9% entre a dureza medida

no laboratório e aquela fornecida pelo fabricante. Isto ocorreu porque, normalmente, o fabricante fornece uma dureza média geral de seus produtos baseado em Norma e não pontual para cada material.

A Fig. 3.7 apresenta algumas micrografias do ferro fundido cinzento (GH 190). Pode ser notado nas Fig. 3.7a e 3.7b que a estrutura da matriz é perlítica com grafitas em forma de veios. Também é possível observar partículas de sulfeto de manganês (Fig. 3.7d) e algumas regiões onde há predominância de ferrita, rica em fósforo, com precipitados de Fe_3P (steadita), como mostrado na Fig. 3.7c. As Fig. 3.7a e 3.7b estão sem ataque evidenciando o tipo de veio da grafita e as Fig. 3.7c e 3.7d foram atacadas com Nital a 2% evidenciando o tipo de matriz.

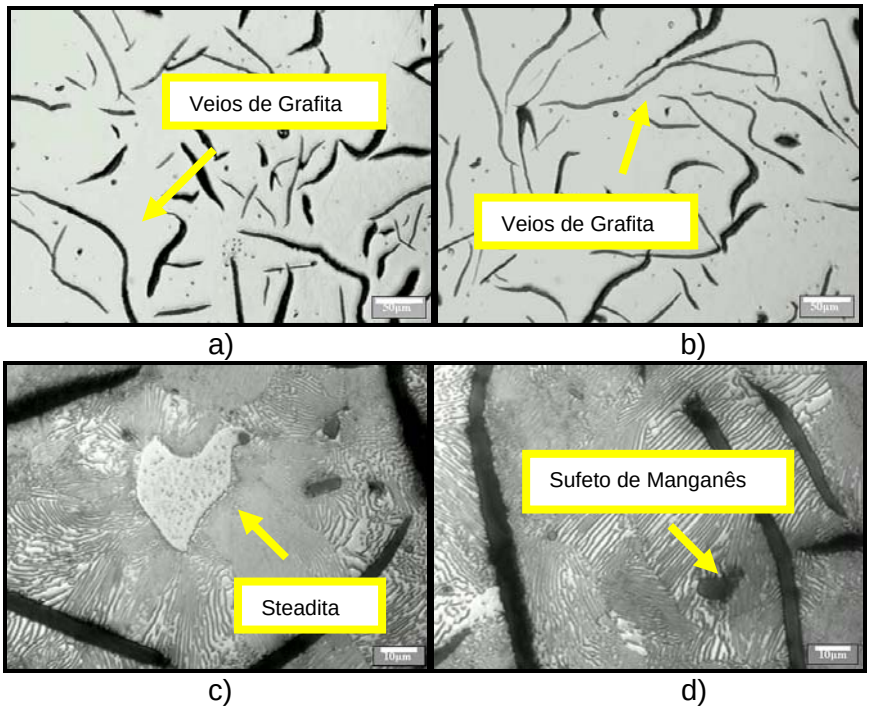


Figura 3.7 – Micrografias realizadas do ferro fundido GH-190

3.1.3. Máquina-ferramenta

A máquina-ferramenta usada para os ensaios foi um Centro de Usinagem Vertical CNC da linha Discovery modelo 760 com comando numérico Siemens 810. A potência do motor principal e a potência total instalada são de 9 KW e 15 KVA, respectivamente. Esta máquina, fabricada pelas Indústrias Romi S.A, possui rotação máxima no eixo-árvore de 10.000 rpm. A Fig. 3.8 ilustra uma vista frontal do centro de usinagem preparado com bicos (para a aplicação da técnica MQF) e dinamômetro rotativo (para monitoramento dos esforços de usinagem).



Figura 3.8 – Centro de usinagem vertical CNC utilizado nos testes de furação

3.2. Ensaios de Furação

Antes dos testes de furação, cada placa foi faceada (fresamento frontal) na superfície superior e inferior, com o objetivo de aplainar a região a ser furada, garantindo a planicidade e o paralelismo, bem como a retirada das impurezas superficiais, comuns nas ligas fundidas em areia.

Para todas as etapas experimentais utilizou-se:

- A operação de furação na vertical, sentido descendente, sem pré-furo e sem furo de centro (furação em cheio);
- Como critério de fim de vida adotou-se o colapso da broca, segundo recomendação da norma NORDTEST NT MECH 038 (1997), a vida da ferramenta foi quantificada com relação ao número de furos usinados. O furo no qual ocorreu a falha da broca foi desconsiderado;
- Aplicação externa dos fluidos de corte por meio de bicos. Características dos fluidos utilizados e dos sistemas de aplicação são apresentadas no item 3.3;
- A fixação dos corpos de prova sobre a mesa do Centro de Usinagem CNC foi realizada por meio de um sistema de calços com núcleos excêntricos e giratórios, que quando fixados à mesa por meio de parafusos, permitiam o giro desses núcleos, induzindo o deslocamento do corpo externo do calço que comprimia as extremidades

longitudinais dos corpos de prova, e assim, fazendo com que os mesmos permanecessem rigidamente comprimidos pelo referido corpo externo do calço;

- Programas CNC para gerar a seqüência de furos nas faces dos corpos de prova.

Os parâmetros de usinagem em todas as etapas experimentais foram selecionados, primeiramente, com base na literatura e recomendações do fabricante das brocas, e posteriormente, por realização de pré-testes conforme Tab. Tabela 7.260 do Anexo II. Procurou-se utilizar os limites superiores tanto de velocidade de corte como de avanço com o objetivo de otimizar os tempos de máquinas, equipamentos e pessoal.

Todas as máquinas, equipamentos e instrumentos utilizados antes, durante e após os ensaios experimentais, pertencem ao Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (LEPU) da Universidade Federal de Uberlândia, onde foi realizada toda parte experimental do trabalho.

A estratégia utilizada para realização dos experimentos foi a seguinte:

- Foi utilizado neste trabalho, o Planejamento Fatorial Fracionário (2^{4-1}) que se justifica devido à impossibilidade da realização de todos os experimentos de um Planejamento Fatorial completo, que demandaria o emprego de quantidades consideráveis de materiais, ferramentas e tempo para elaboração dos testes;
- Com o emprego do Planejamento Fatorial Fracionário (2^{4-1}) o número de experimentos se reduz pela metade para uma condição real de execução, mantendo a mesma condição de resposta do Planejamento Fatorial Completo;
- Para as etapas 1 e 2 da pesquisa cada ensaio foi executado em três corridas, ou seja, um teste e duas réplicas e a média de furos entre as corridas foi o valor considerado para a vida das brocas;
- Foram empregadas duas velocidades de corte (45 m/min e 65 m/min), dois avanços (0,20 mm/rev e 0,30 mm/rev) e diferentes condições para o sistema lubri-refrigerante (seco, jorro e MQF);
- Os esforços de usinagem (F_z, M_z) foram monitorados ao longo dos ensaios de furação.
- Os níveis de desgastes das brocas, que em último grau levava a falha abrupta da ferramenta, também foram monitorados;
- Os desvios de forma, (circularidade e cilindricidade) e rugosidades (R_a e R_z) foram medidos em vários furos ao longo da vida da broca;
- Os experimentos foram realizados conforme Tab. 3.5 e 3.6 geradas pelo programa Statistica® 7.0.

A metodologia empregada para cada etapa será descrita a seguir.

3.2.1. Etapa 1

Nesta etapa o objetivo principal foi comparar o desempenho da usinagem aplicando o ciclo intermitente variando o número de paradas (0, 1, 2, 3 vezes) com o recuo de 1 mm da broca. A tabela de testes elaborada para esta etapa pode ser vista na Tab. 3.5.

Tabela 3.5 – Planilha de testes para a Etapa 1. Recuo da ferramenta fixado em = 1 mm

Nº	Nº de paradas	Vc (m/min)	f (mm/rev)	Lubri- refrigerante
1	0	45	0,20	Seco
2	0	65	0,30	Seco
3	0	45	0,30	Jorro
4	0	65	0,20	Jorro
5	0	45	0,30	MQF
6	0	65	0,20	MQF
7	1	45	0,30	Seco
8	1	65	0,20	Seco
9	1	45	0,20	Jorro
10	1	65	0,30	Jorro
11	1	45	0,20	MQF
12	1	65	0,30	MQF
13	2	45	0,30	Seco
14	2	65	0,20	Seco
15	2	45	0,20	Jorro
16	2	65	0,30	Jorro
17	2	45	0,20	MQF
18	2	65	0,30	MQF
19	3	45	0,30	Seco
20	3	65	0,20	Seco
21	3	45	0,20	Jorro
22	3	65	0,30	Jorro
23	3	45	0,20	MQF
24	3	65	0,30	MQF

3.2.2. Etapa 2

Nesta etapa o objetivo foi comparar o desempenho da usinagem aplicando o ciclo intermitente, variando o percurso de recuo (1 mm, 3 mm e total, onde total significa recuo até um ponto de referência distante 2 mm da superfície da peça). A planilha de testes para esta etapa pode ser consultada na Tab. 3.6. Os ensaios de números 19, 20, 21, 22, 23 e 24 da Etapa 1 foram aproveitados para compor os ensaios da Etapa 2, pois correspondiam ao o recuo de 1 mm e 3 paradas, previstos para esta etapa.

Tabela 3.6 – Planilha de testes para a Etapa 2. Número de parada fixado em 3

Nº	Recuo	Vc (m/min.)	f (mm/rev.)	Lubri- refrig.
1	3	45	0,20	Seco
2	3	65	0,30	Seco
3	3	45	0,30	Jorro
4	3	65	0,20	Jorro
5	3	45	0,30	MQF
6	3	65	0,20	MQF
7	total	45	0,30	Seco
8	total	65	0,20	Seco
9	total	45	0,20	Jorro
10	total	65	0,30	Jorro
11	total	45	0,20	MQF
12	total	65	0,30	MQF
19	1	45	0,30	Seco
20	1	65	0,20	Seco
21	1	45	0,20	Jorro
22	1	65	0,30	Jorro
23	1	45	0,20	MQF
24	1	65	0,30	MQF

Conforme o esquema da Fig. 3.9, as paradas e os recuos da broca utilizados nos testes de furação foram realizados da seguinte forma:

Etapa 1 - Posição: A → furação direta (p/ os ensaios de 1-6)

B → 1 parada (recuo de 1 mm p/ os ensaios de 7-12)

C → 2 paradas (recuo de 1 mm p/ os ensaios de 13-18)

D → 3 paradas (recuo de 1 mm p/ os ensaios de 19-24)

Etapa 2 - Posição: D → 3 paradas (recuo de 3 mm p/ os ensaios de 1-6)

(recuo de total p/ os ensaios de 7-12)

(recuo de 1 mm p/ os ensaios de 19-24)

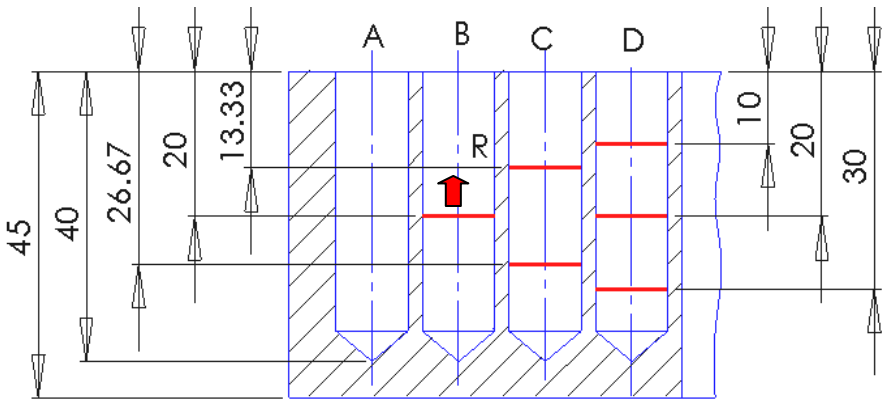


Figura 3.9 – Esquema ilustrando as paradas da ferramenta durante os ensaios de furação

3.3. Meios Lubri-Refrigerantes e Sistemas de Aplicação

Na usinagem de ferro fundido cinzento normalmente não é utilizado fluido de corte ou refrigerante de corte, pois os cavacos produzidos são em forma de lascas ou pedaços (ruptura) e a grafita presente é considerada um bom lubrificante. Entretanto, sabe-se que quando o usuário optar por utilizar algum tipo de fluído de corte com o objetivo de aumentar a produtividade e/ou reduzir custos, os benefícios virão desde que utilizados corretamente. O fluído de corte deve ser aplicado usando um método que permita que ele chegue o mais próximo possível da aresta de corte, dentro da interface cavaco–ferramenta, para que ele possa exercer suas funções apropriadamente (MACHADO, et al., 2009).

Além da usinagem a seco (sem fluido de corte), na qual somente o ar ambiente estava presente durante os ensaios de furação, foram utilizados: fluido de corte integral de origem vegetal e fluido de corte semi-sintético. As formas de aplicação dos fluidos foram por jorro e utilizando a técnica MQF, ambas as formas utilizando bicos externos à ferramenta. Na usinagem com a técnica MQF empregou-se o fluido de corte Vascomill MMS SE1 de origem vegetal, fabricado pela empresa Blaser Swisslube AG. A vazão do fluido aplicada pela técnica MQF utilizada foi de 30 ml/h. Esta técnica, que tem conquistado cada vez mais adeptos da usinagem, é uma alternativa para operações em que o fluido de corte ainda não pode ser dispensado, como no caso de furação de aços e ferros fundidos. Ela é intermediária à usinagem com refrigeração/lubrificação em abundância (jorro) e a absolutamente sem refrigeração (a seco), e consiste em despejar apenas gotículas de óleo pulverizadas pelo ar comprimido na região de corte para produzir um pequeno filme de proteção lubrificante. A técnica MQF, especificamente adaptada ao processo, pode substituir o jorro sem a modificação dos parâmetros de corte e sem redução da vida das ferramentas (COSTA, 2004). Para aplicação do fluido na forma de MQF foi utilizado o aparelho pulverizador de fluido, modelo O2AO-STD fabricado pela ITW *Fluid Products Group*, que operava com um fluxo contínuo de ar comprimido, ajustado em torno de 6,0 bar, e “spray” intermitente de fluido na freqüência de 1 pulso por segundo. Este sistema consiste de um reservatório para o fluido de corte com alimentação manual, válvulas para regulagem dos fluxos de ar comprimido e óleo, manômetro, mangueiras condutoras (ar comprimido e fluido) e 2 bicos com base de fixação magnética, para aplicação externa da mistura ar comprimido-fluido sobre a ferramenta-peça. O fluido de corte é conduzido através de uma mangueira de menor diâmetro que chega ao bico, dentro de outra maior que conduz o ar comprimido. A Fig. 3.10 ilustra o aparelho pulverizador de fluido de corte e a Fig. 3.11 os bicos aplicadores de MQF.

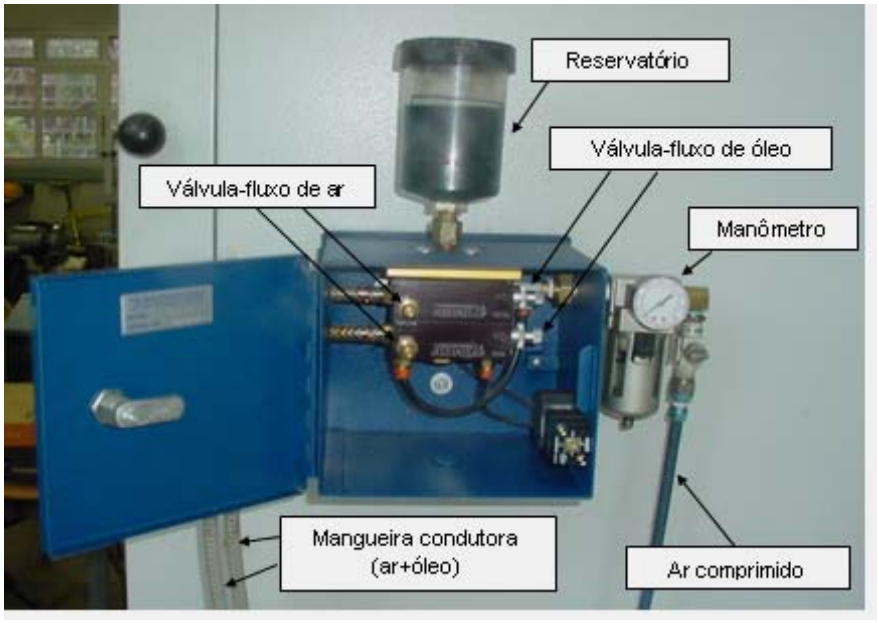


Figura 3.10 – Aparelho pulverizador para aplicação de mínima quantidade de fluido de corte

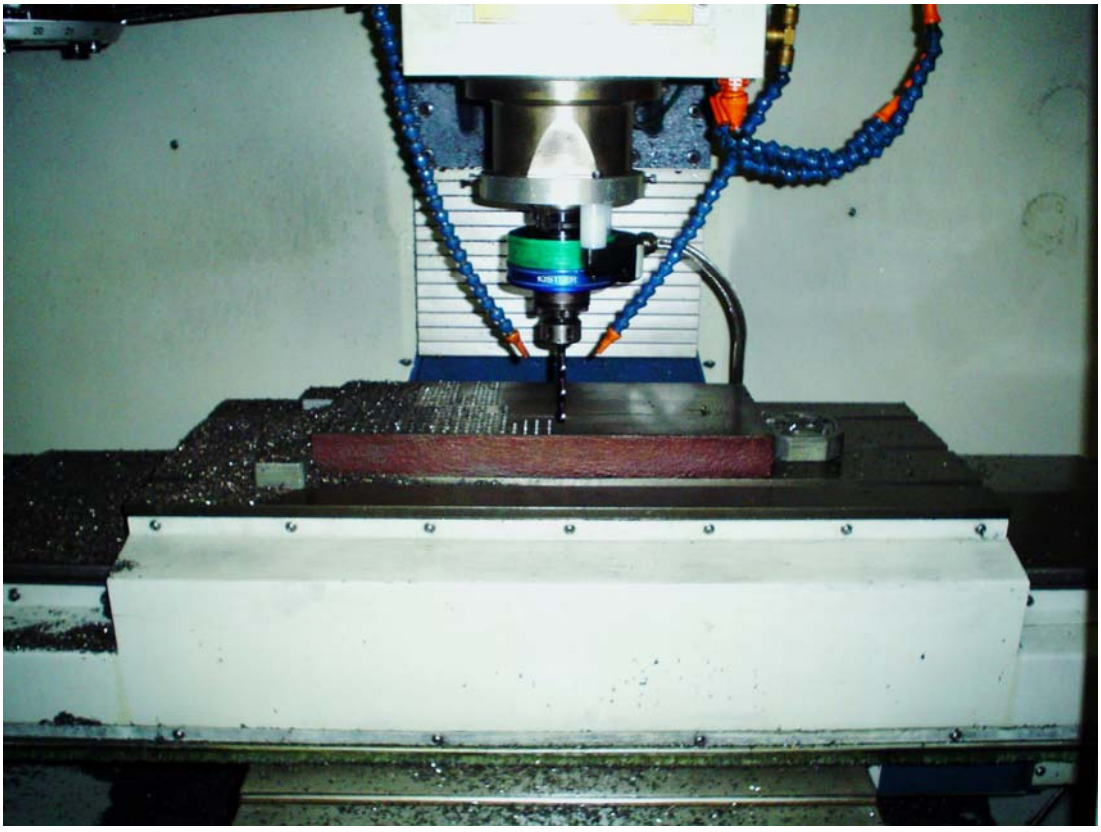


Figura 3.11 - Posicionamento dos bicos para a aplicação externa de MQF

O fluido emulsionável a base de óleo vegetal Vascomill, também fabricado pela empresa Blaser Swisslube AG, foi aplicado a uma concentração de 9% na forma de jorro e a vazão proporcionada pelo sistema de bombeamento do centro de usinagem CNC foi de 982 l/h distribuídos por 3 bicos, conforme ilustrado na Fig. 3.12.



Figura 3.12 – Aplicação por jorro do fluido de corte base de óleo vegetal Vascomill, vazão total de 982 l/h

A Tab. 3.7 mostra as principais características dos fluidos de corte utilizados durante os ensaios.

A Tabela 3.7 – Principais características dos fluidos de corte utilizados

Vascomill MMS SE 1	Vascomill
Para a refrigeração interna e externa;	Alto desempenho de corte e boas propriedades lubrificantes, especialmente em operações de remoção de metal com altas velocidades de corte;
Sem resinificação dos componentes da máquina e das ferramentas;	Permite o emprego de velocidades de corte e de avanço mais elevados;
Recomendado para alumínio, ligas de cobre, ferros fundidos, altas / baixas ligas de aços.	Óleo de corte universal para, praticamente, todos os materiais
	Ponto de fulgor muito elevado em relação às viscosidades correspondentes;
	Mínima formação de névoa, vapor e fumaça gerados por cal;
	Formação reduzida de névoa de óleo decorrente de alta pressão ou forças centrífugas;
	Melhor compatibilidade com a pele quando comparado com produtos à base de óleo mineral com grandes quantidades de aditivos matérias-primas renováveis.

A Tab. 3.8 resume os meios lubri-refrigerantes utilizados nesta pesquisa, suas formas de aplicação, vazão e as etapas experimentais em que estiveram presentes.

Tabela 3.8 – Meios lubri-refrigerantes, formas de aplicação, vazão e as etapas experimentais em que foram utilizados

Tipo de Fluido	Forma de aplicação	Vazão	Ensaios presente
Integral	MQF	30 ml/h	Etapa 1: (5, 6, 11, 12, 17, 18, 23 e 24) Etapa 2: (5, 6, 11, 12, 23 e 24)
Semi-sintético	Jorro	982 l/h	Etapa 1: (3, 4, 9, 10, 15, 16, 21 e 22) Etapa 2: (3, 4, 9, 10, 21 e 22)
Seco (sem fluido)	-	-	Etapa 1: (1, 2, 7, 8, 13, 14, 19 e 20) Etapa 2: (1, 2, 7, 8, 19 e 20)

3.4. Parâmetros Monitorados / Medidos nos Experimentos

Os parâmetros monitorados e/ou medidos durante os ensaios experimentais e que serviram de respostas para os confrontos dentro das etapas 1 e 2 foram:

- Vida e desgaste das brocas;

- Qualidades dos furos usinados: Rugosidades (R_a e R_z), erros geométricos (cilindricidade e circularidades);
- Esforços de usinagem (F_z, M_z).

3.4.1. Vida e desgaste das ferramentas de corte

A vida das brocas foi uma das respostas importantes para o confronto de desempenho entre as variáveis de saída testadas. Como critério de encerramento dos testes de usinagem adotou-se a falha catastrófica das brocas (colapso) e a vida da ferramenta foi quantificada com relação ao número de furos produzidos.

Sempre que possível, para cada teste e réplicas, após a usinagem dos furos que correspondiam aproximadamente 25%, 50%, 75% e 90% do desgaste da broca, o conjunto broca-mandril era retirado da máquina-ferramenta e levado para um sistema de aquisição de imagens para observação e registro dos níveis de desgaste da broca.

Para cada estágio de desgaste das ferramentas, os percentuais foram estimados em valores aproximados, a partir da comparação com os números de furos executados durante a realização dos pré-testes.

O registro do grau de desgaste foi realizado por meio de fotos digitais obtidas através do Estéreo Microscópio SZ6145TR - OLYMPUS e analisador de imagens Image Pro-Express, que é um sistema de captura e análise de imagens para medição do desgaste na ferramenta (Fig. 3.13).

Os seguintes tipos de desgastes, de acordo com pré-testes, foram observados nas brocas:

- Desgaste da região da ponta de corte (parte da guia e do flanco);
- Desgaste das guias próximo da ponta de corte.

Para que fosse possível a visualização destas regiões, o conjunto broca-mandril teve que ser posicionado como ilustrado na Fig. 3.13. A forma de posicionamento acontecia quando se encaixava o conjunto broca-mandril em um suporte que possuía em seu interior, um cilindro articulável com um furo cônico, o que permitia a visualização do flanco e arestas

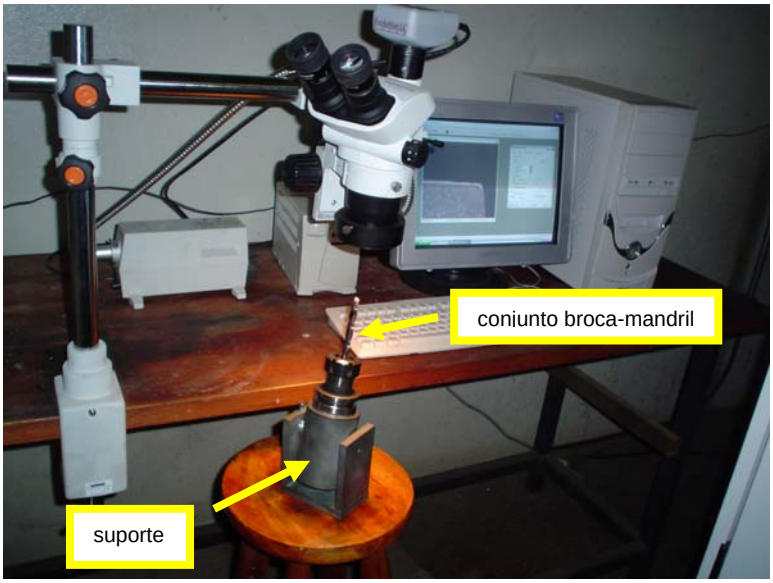


Figura 3.13 – Vista do Estéreo Microscópio SZ6145TR - OLYMPUS e analisador de imagens Image Pro-Express utilizado para observações e registros das regiões desgastadas das brocas

3.4.2. Qualidade dos furos usinados

A qualidade dos furos usinados foi avaliada através dos seguintes parâmetros:

- Erros geométricos de cilindricidade e circularidade;
- Acabamento superficial, representado pelos parâmetros de rugosidades R_a e R_Z.

Devido à impossibilidade de se avaliar todos os furos usinados (alta demanda de tempos de máquinas, equipamentos e pessoal) adotou-se um procedimento que dividia a vida das ferramentas em 5 pontos. Sendo eles:

- O ponto representativo da metade da vida da ferramenta (furo que correspondia a 50% do total de furos usinados);
- Dois pontos abaixo do meio da vida (furos correspondentes a 1% e 25% do total de furos usinados);
- Dois pontos acima do meio da vida (furos correspondentes a 75% e 90% do total de furos usinados).

Portanto, para cada ensaio (teste mais duas réplicas) tinha-se a análise de 15 furos. Para cálculo dos valores dos erros de forma (cilindricidade, circularidades) e rugosidades, foi calculada a média aritmética simples entre os respectivos pontos das corridas realizadas. Para exemplificar a metodologia empregada será usada a Tab. 3.9. Nesta tabela o

percentual de desgaste está associado à vida da ferramenta em cada corrida, por exemplo, 25% de desgaste para o teste do primeiro ensaio da Etapa 1 corresponde ao décimo furo usinado (aproximação de 25% de 41 furos). Para a 1º e 2º replica, 25% de desgaste corresponde ao sétimo furo usinado e assim sucessivamente para os demais percentuais.

Tabela 3.9 – Furos analisados, segundo a metodologia empregada

	Teste: 41 furos	1º Réplica: 29 furos	2º Réplica: 28 furos
% de desgaste	Furo nº	Furo nº	Furo nº
1	01	01	01
25	10	07	07
50	20	14	14
75	31	22	21
90	37	26	25

Os erros geométricos foram medidos usando uma máquina para medições de erros de forma (circularímetro) modelo Talyrond 131 fabricado pela Taylor Hobson. A Fig. 3.14 ilustra o sistema para medição de erros de forma.

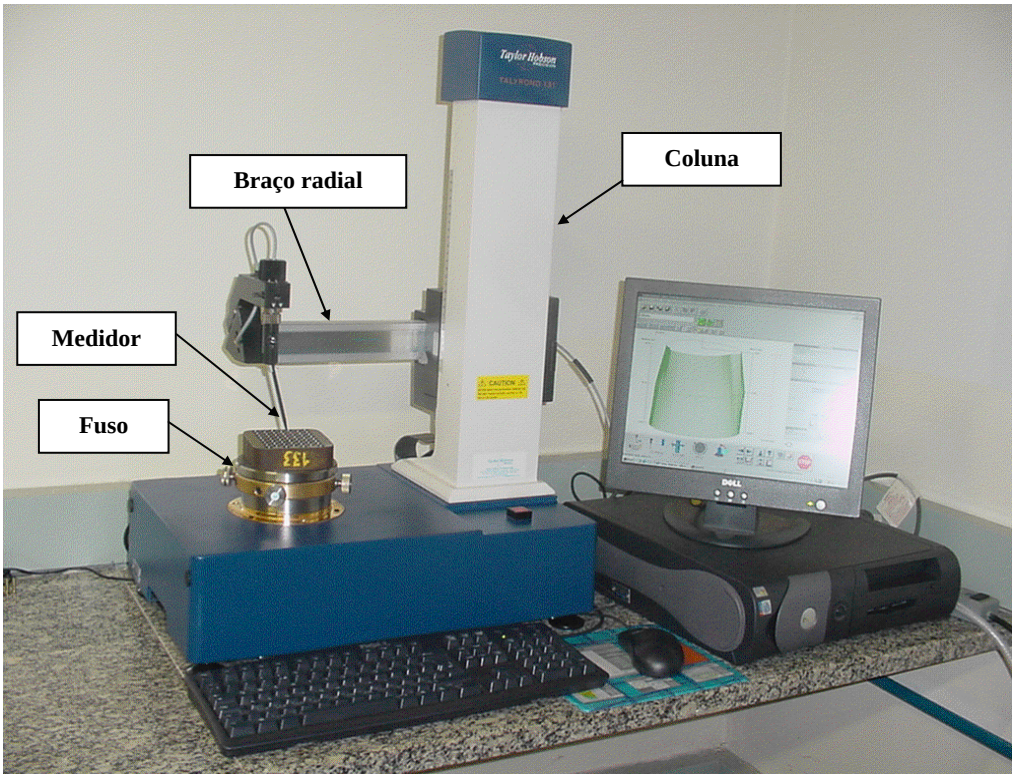


Figura 3.14 – Máquina para medições (circularímetro) dos erros geométricos de circularidade e cilindricidade dos furos. A ponta do medidor (esfera de rubi) se encontra na posição de medir (interior do furo do corpo de prova)

Este instrumento é constituído basicamente de um fuso, que gira automaticamente a peça colocada manualmente sobre a sua mesa, de um braço radial e uma coluna para o posicionamento do medidor, cuja extremidade apresenta uma pequena esfera de rubi de 2 mm de diâmetro (apalpador).

A inclinação dada ao medidor foi de aproximadamente 13° com a vertical, o que garantiu o contato permanente da superfície da esfera com a parede do furo, em todas as situações de medições. Acoplado ao circularímetro está um computador com um software dedicado, que movimenta o medidor e analisa todas as informações sobre as medições. A precisão deste equipamento é de 0,03 μm e sua capacidade máxima de medição são de 370 e 225 mm para o diâmetro e altura, respectivamente.

O circularímetro Talyrond 131 é alimentado por ar comprimido na pressão de 6 bar. O ar comprimido atua sobre o fuso criando uma espécie de colchão de ar e reduzindo extremamente o atrito no giro automático do fuso.

Antes das medições com este instrumento se faz necessário o nivelamento da peça e a centragem do furo analisado. Tanto o nivelamento do corpo de prova, colocado sobre a mesa do fuso, como a centragem dos furos eram realizados manualmente, através de parafusos reguladores da mesa e contava com auxílio do software. O nivelamento foi realizado uma vez, no início das medições de cada etapa experimental. A centragem era realizada furo a furo, em duas fases. Primeiramente, o furo a ser analisado, era posicionado manualmente o mais próximo possível do centro de rotação da mesa do fuso (pré-centragem). Posteriormente uma centragem fina era realizada.

Devido ao grande número de furos analisados, elaborou-se um programa computacional para automatizar as medições. Neste programa foi definido em quais posições e quantos planos seriam tomados, no interior dos furos, para análise dos erros de circularidade e cilindricidade.

Com o objetivo de se verificar diferenças na forma geométrica ao longo do comprimento dos furos, a circularidade foi medida em 5 planos ao longo da extensão furada, desde a borda de entrada, até o fundo dos furos. As distâncias respectivas destes planos à borda de entrada dos furos são: 11,0 mm; 17,0 mm; 23,0 mm; 29,0 mm e 35,0 mm.
A Fig. 3.15 ilustra as posições dos 5 planos onde foram medidos os erros de circularidades.

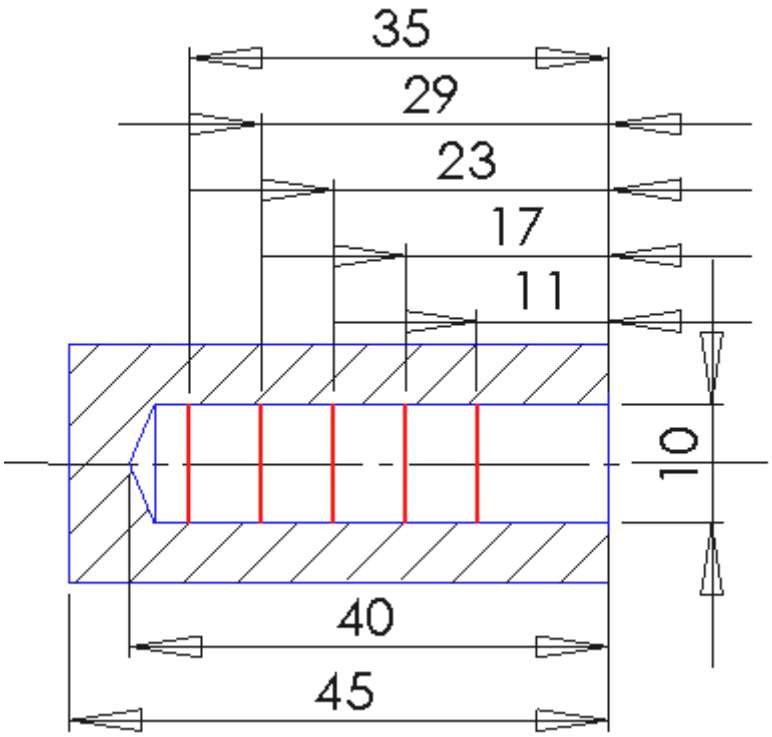


Figura 3.15 – Planos (P) para medições das circularidades. As distâncias 11, 17, 23, 29 e 35 mm foram fixadas em função do comprimento de 40 mm dos furos

Para obter o valor do erro de circularidade, o software traçava o perfil real da parede do furo. Este perfil foi determinado pela trajetória da esfera de rubi da ponta do medidor, que percorria toda a circunferência determinada pelo plano de medição. Sobre o perfil real traçavam-se duas circunferências, uma inscrita e outra circunscrita. A diferença radial entre estas duas circunferências foi o valor atribuído ao erro de circularidade.

Os erros de cilindricidade foram medidos simultaneamente com os de circularidade, ou seja, utilizou-se o mesmo programa. Para calcular a cilindricidade o software traçava o perfil real do cilindro, gerado pelo deslocamento do medidor ao longo dos planos de medição no interior dos furos. Sobre o cilindro real traçavam-se dois cilindros, um inscrito e outro circunscrito. A diferença radial entre estes dois cilindros foi o valor atribuído ao erro de cilindricidade.

As Fig. 3.16 e 3.17 mostram a tela do programa após a realização de uma medida de circularidade e cilindricidade, respectivamente.

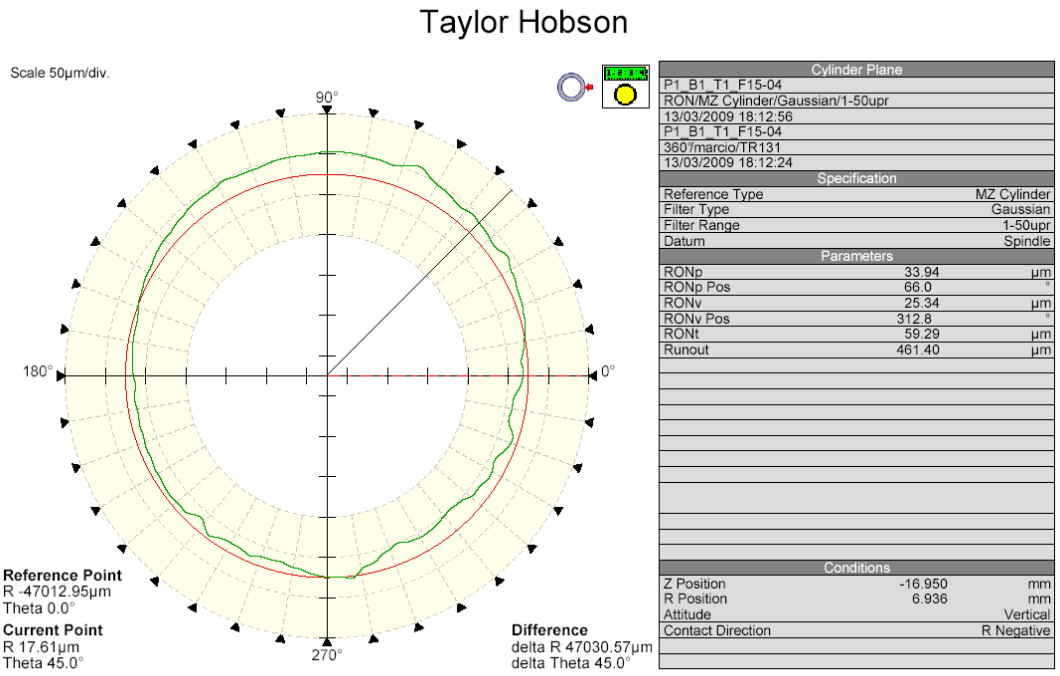


Figura 3.16 – Resultado de medição para o erro de circularidade para um plano localizado a 17 mm da borda de entrada de um furo

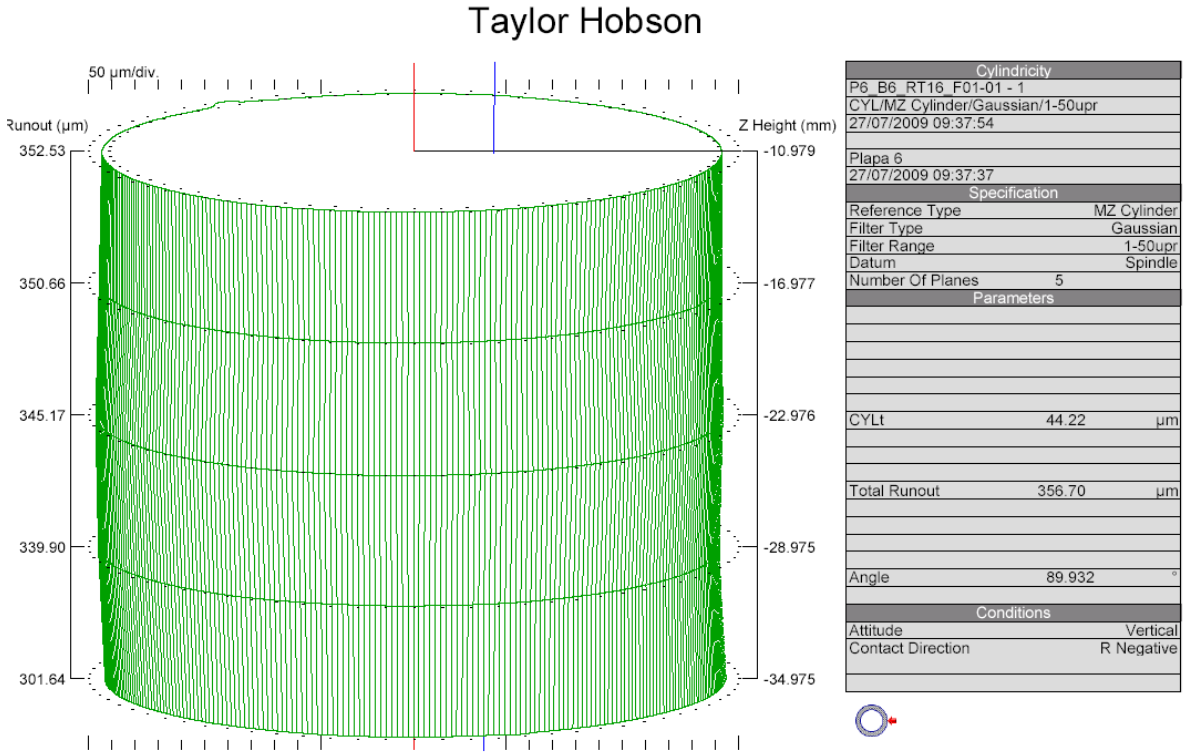


Figura 3.17 – Resultado de medição para o erro de cilindricidade de um furo

De acordo com a tabela da Fig. 3.18, cada ensaio se constituiu na análise de quinze furos ou seja, um teste e duas réplicas em cada nível percentual de desgaste definido. Para cada furo analisado eram registrados os valores das medidas de circularidade para os planos 1, 2, 3, 4 e 5. Estas cinco medidas determinaram a cilindricidade. Para análise dos resultados foram consideradas as médias de todas as medidas feitas no ensaio.

1º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr. (µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	
T	1	01	25,58	30,94	28,74	29,76	16,52	26,31	31,86
1º R		01	37,69	35,31	30,54	37,32	34,19	35,01	38,54
2º R		01	120,61	111,36	80,64	83,36	84,52	96,10	120,61
T	25	10	64,06	59,08	56,01	50,64	49,72	55,90	64,06
1º R		07	37,41	27,81	31,29	41.94	40,87	34,35	42,29
2º R		07	153,07	96,29	75,25	76,41	82,17	96,64	161,59
T	50	20	52,20	45,28	52,58	55,42	47,61	50,62	55,76
1º R		14	46,68	31,28	40,32	53,98	56,01	45,65	59,20
2º R		14	36,52	37,01	33,31	43,63	32,53	36,60	51,60
T	75	31	50,94	49,95	38,82	48,10	42,56	46,07	50,94
1º R		22	31,43	31,30	29,63	30,43	31,98	30,95	32,37
2º R		21	71,76	54,86	42,23	42,76	62,50	54,82	71,76
T	90	37	51,87	43,01	45,40	50,40	31,92	44,52	52,07
1º R		26	34,85	34,47	36,00	36,44	32,06	34,76	37,61
2º R		25	31,71	23,00	31,13	34,62	36,59	31,41	38,51
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade para o ensaio								47,98	60,58
Desvios padrões respectivos de circularidade e cilindricidade								21,57	35,53

Figura 3.18 – Modelo de tabela utilizado para os ensaios das Etapa 1 e 2 já preenchida com anotações das médias calculadas para os erros geométricos (circularidade e cilindricidade) de um ensaio.

A qualidade do acabamento superficial das paredes dos furos usinados foi avaliada com relação aos parâmetros médios de rugosidades R_a e R_z. Para medição destes valores foi usado um rugosímetro portátil Surtronic 3+ modelo 112/1590 fabricado pela Taylor Hobson. Este instrumento possui agulha do apalpador de diamante com raio de ponta de 5

μm, resolução de 0,01 μm e trabalha com carga de 150 a 300 mg. A Fig. 3.19 mostra o rugosímetro preparado para fazer uma medição



Figura 3.19 - Rugosímetro portátil Surtronic 3+ em posição de medição

As medições das rugosidades foram realizadas sobre os mesmos furos selecionados para medições dos desvios geométricos de circularidade e cilindricidade. Resultados de pré-medições de R_a mostraram, na sua maioria, valores superiores a 2 μm, o que levou à utilização de um *cut-off* de 2,5 mm (norma ISO 4287/1). A escolha deste *cut-off* resultou em um intervalo de medição de 12,5 mm (5 x 2,5). A rugosidade dos furos analisados foi realizada em três pontos da parede do furo. A escolha desses pontos para posicionamento da agulha do apalpador foi tal que o intervalo de medição a partir da borda do furo ficou com os respectivos valores: 15, 25 e 35 mm. A Fig. 3.20 exibe os intervalos de medições e suas localizações em relação à borda do furo. Pode ser observado pela Fig. 3.20 que em função da escolha dos pontos de posicionamento da agulha do apalpador houve uma sobreposição de 2,5 mm entre os intervalos de medições, uma vez que a distância entre os intervalos e seus comprimentos era de 10 mm e 12,5 mm, respectivamente.

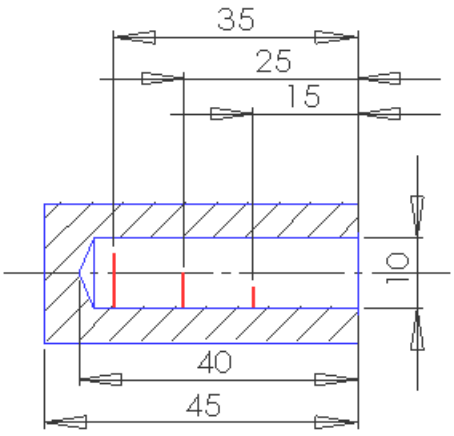


Figura 3.20 - Intervalos de medições e suas respectivas distâncias da borda do furo

A Fig. 3.21 mostra o modelo das tabelas usadas para cálculo e registro dos valores das rugosidades R_a e R_z. Os números expostos na tabela são também relativos aos resultados do primeiro ensaio da Etapa 1. Os valores das rugosidades para cada ponto representativo do nível de desgaste da ferramenta foram dados pela média entre os furos que correspondiam aos percentuais citados. Foi considerada para análise dos resultados, a média de todos os valores medidos para cada do ensaio.

1º ensaio		Rugosidade								
		R_a				Média	R_z			Média
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	(µm)	1	2	3	(µm)
T		01	2,9	2,5	3,1	2,83	21	20	24	21,67
1º R	1	01	2,4	4,2	4,6	3,73	18	33	33	28,00
2º R		01	2,2	3,3	3,8	3,10	18	27	27	24,00
T		10	4,8	4,9	5,3	5,00	37	32	29	32,67
1º R	25	07	6,9	7,0	7,2	7,03	42	44	36	40,67
2º R		07	6,9	7,0	7,2	7,03	42	44	36	40,67
T		20	4,7	6,3	4,7	5,23	27	34	30	30,33
1º R	50	14	6,7	6,0	5,5	6,06	37	35	36	36,00
2º R		14	4,3	4,2	5,0	4,50	31	28	37	32,00
T		31	5,3	5,3	5,8	5,47	33	36	35	34,67
1º R	75	22	5,7	5,2	4,7	5,20	33	31	37	33,67
2º R		21	5,7	5,2	4,7	5,20	33	31	37	33,67
T		37	5,0	5,8	4,2	5,00	35	42	25	34
1º R	90	26	7,5	5,5	5,7	6,23	43	37	33	37,67
2º R		25	7,5	5,5	5,7	6,23	43	37	33	37,67
					Média geral	5,19			Média geral	33,16
					Desvio padrão geral	1,26			Desvio padrão geral	5,46

Figura 3.21 – Modelo de tabela usada para o registro das rugosidades R_a e R_z

3.4.3. Esforços de usinagem (F_z, M_z)

Para compreender melhor o efeito do desgaste das ferramentas de corte sujeitas ao ciclo de furação, foi feito o monitoramento da força de avanço (F_Z) durante a furação para os ensaios realizados neste trabalho. O torque (M_Z) foi medido apenas nos ensaios da segunda etapa. As aquisições sempre que possível, foram realizadas durante a usinagem dos furos que correspondiam á 1%, 25%, 50%, 75% e 90% do desgaste da broca, ou seja, sobre os mesmos furos selecionados para aquisições de imagens e medições dos erros geométricos e rugosidades. A Fig. 3.22 mostra o modelo das tabelas usadas para cálculo e registro dos valores da força de avanço e do torque. Os números ilustrados na tabela, são relativos aos resultados do oitavo ensaio da Etapa 2. Os valores para cada ponto representativo da força média de avanço e do torque médio foram calculados pela média aritmética simples de F_z e

M_z entre os furos que correspondem aos percentuais citados, dentro de cada ensaio. A partir desses resultados se fez o tratamento estatístico para analisar a influência dos esforços de furação que atuam durante o ciclo.

8º ensaio		Esforços de usinagem		
Corrida	% desg	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	589,66	10,08
1º R		01	573,39	12,77
2º R		01	2181,68	9,19
T	25	01	589,66	10,08
1º R		01	573,39	12,77
2º R		04	2494,63	12,17
T	50	02	645,84	11,10
1º R		02	577,48	13,13
2º R		08	916,33	10,07
T	75	02	645,84	11,10
1º R		03	592,91	13,44
2º R		11	1012,77	11,25
T	90	03	599,91	11,58
1º R		04	604,08	13,64
2º R		14	2123,88	18,70
Médias			981,43	12,07
Desvios padrões			681,81	2,29

Figura 3.22 - Modelo de tabela usada para o registro de F_z e M_z

Equipamentos utilizados para monitorar os esforços

Para aquisição do sinal da força de avanço e torque foi utilizado um Dinamômetro Rotativo modelo 9123C1211 e condicionador de sinais também da Kistler® modelo 5223B1. A Fig. 3.23 mostra a montagem do conjunto de equipamentos e do corpo de prova utilizado. Este dinamômetro transmite os sinais por telemetria.

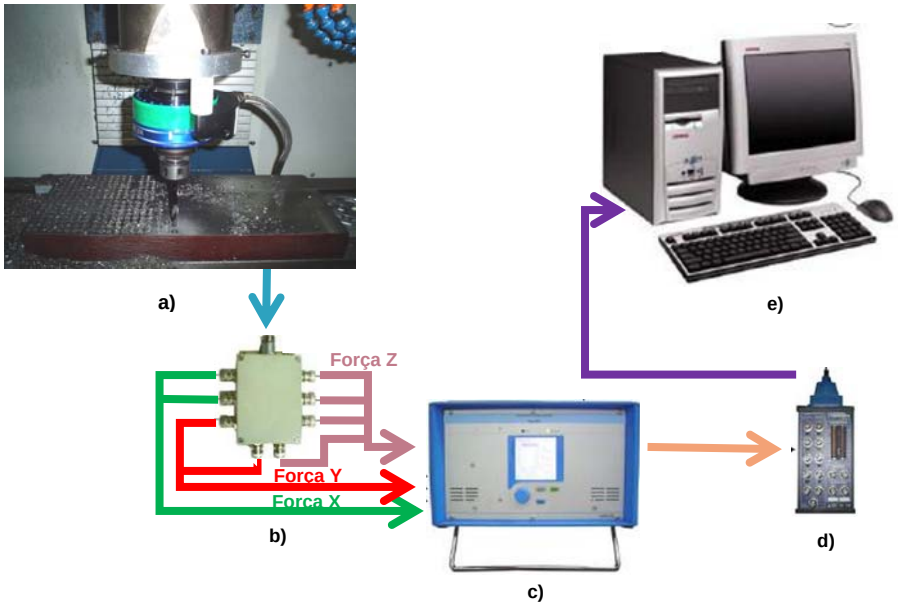


Figura 3.23 – Dinamômetro rotativo Kistler® modelo 9123C1211. a) Dinamômetro Kistler fixado ao fuso da máquina, b) Caixa de distribuição da Kistler® 5407ª c) Amplificador de carga da Kistler® 5223B1 d) Bloco conector BNC-2110 e) Computador com placa de aquisição

Conforme o esquema da Fig. 3.23, os sinais de força de avanço e torque foram adquiridos diretamente pelo dinamômetro e enviados para a caixa de distribuição da Kistler® modelo 5407ª que em seguida distribuiu para o amplificador de carga (ou condicionador de sinais). Esse amplificador permite a ajustagem de alguns parâmetros individualmente para cada um dos quatro canais disponíveis para trabalhar com o dinamômetro tais como filtro passa baixa, constante de tempo, sensitividade do sensor em pC por unidade mecânica e escala em unidades mecânicas por Volts. Trabalha com uma faixa de tensão para os sinais de -10 a 10 Volts (BEZERRA, 2003). O filtro passa baixa pode ser de 10, 30, 100, 200, 1000, 3000, 10000 ou 30000 Hz. A faixa de trabalho da sensitividade do sensor é de 1 x 10-2 a 9,99 x 103 pC por unidade mecânica. No caso da escala, a faixa de trabalho é de 1 x 10-3 a 9,99 x 106 unidades mecânicas por Volts. A constante de tempo pode ser ajustada para curto, média ou longa. Além disso, esse amplificador possui duas opções para entrada de sinais: através de 4 soquetes BNC; ou por meio de um conector de oito vias que pode ser conectado com o cabo de oito vias 1677A5, também fabricado pela *Kistler*. Os sinais de saída podem ser enviados através de conexão IEEE bus, RS-232C com um conector de 25 pinos, controle remoto de função *reset-operate* com conector de 25 pinos, conector de 15 pinos para quatro canais de medição ou soquetes BNC para 4 canais de medição, Fig 3.23. Para coletar os sinais provenientes do módulo de entrada e saída de sinais modelo BNC-12,

utilizaram-se uma placa de aquisição A/D modelo PCIMIO-16E-4, da *National Instruments*. A placa mencionada foi instalada em um computador PC (processador AMD K6 II 350 MHz, 128 MB de memória RAM e 4.3 GB de disco rígido). A Tab. 3.10 apresenta as faixas de trabalho possíveis para o dinamômetro *Kistler* 9123C.

Tabela 3.10 – Dados técnicos do dinamômetro *Kistler* 9123C

Dados Técnicos		Valor
Faixa 1	Fx, Fy	-5... 5KN
	Fz	-5... 20 Nm
	Mz	-200...200 Nm
Limite	Fx, Fy	< 0.02 N
	Fz	< 0.02 N
	Mz	< 0.02 Ncm
Freqüência Natural		4 KHz
Proteção		IP67
Peso		4.2 Ncm

A Fig. 3.24 ilustra um gráfico da força de avanço e torque em função dos pontos de aquisição. Nos gráficos podem ser vistos as faixas em que a ferramenta faz a entrada no material para iniciar o corte, em seguida o momento em que estava efetivamente cortando (faixa de usinagem), e por fim, a parada e o retorno. Neste teste (teste 1 da Etapa 2, furo 8) a força de avanço máxima atingida é de aproximadamente 1200 N e o torque máximo atingido de aproximadamente 23 N.m.

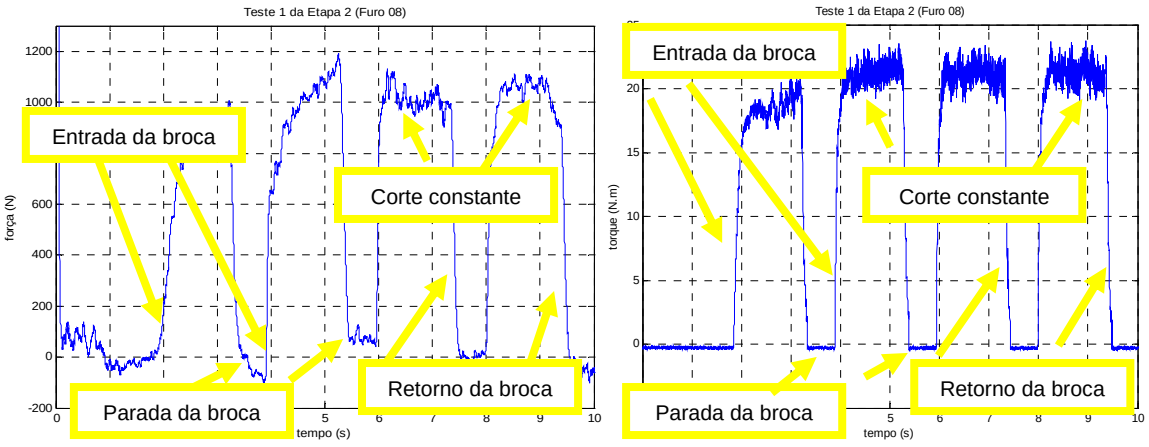


Figura 3.24 – ilustração do gráfico da força de avanço e torque em função dos pontos de aquisição para o furo 8 do teste 1 pertencente a etapa 2

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Análise Estatística dos Resultados

Neste capítulo os resultados das etapas experimentais serão apresentados e analisados na seqüência. Dentro das etapas experimentais 1 e 2 a ordem de abordagem dos resultados das variáveis de saída será a seguinte:

- Vida das ferramentas de corte;
- Qualidades dos furos usinados;
- Desgaste nas ferramentas de corte;
- Esforços de usinagem (F_z na Etapa 1 e F_z / M_z na Etapa 2);
- Cálculo do tempo de usinagem.

Para a análise estatística dos resultados, os testes experimentais das etapas 1 (Tab. 3.5) e 2 (Tab. 3.6) foram formatados em 6 e 4 matrizes de planejamentos, respectivamente. Cada matriz correspondia a um planejamento fatorial fracionário 2^{4-1}, portanto, continha 8 testes. Com o emprego desse planejamento foi possível avaliar a influência das variáveis de entrada nas respostas com a metade do número de experimentos de um planejamento completo. Porém, destaca-se que alguns confrontos diretos entre as variáveis de entrada, por exemplo, MQF x Jorro, nº de paradas (1 x 2, 1 x 3 e 2 x 3) e Recuo de “1 mm” x “total” não foram possíveis, devido à falta dos ensaios que deveriam compor essas matrizes de planejamentos e que foram descartados pelo planejamento fatorial fracionário 2^{4-1}.

As matrizes de planejamentos para as etapas 1 e 2 podem ser consultadas nas Tab. 4.1 e 4.2, respectivamente, sendo que para a 4.2, recuo total significa que a ferramenta saiu 2 mm para fora do furo.

Tabela 4.1 – Matrizes de planejamentos para a etapa 1. Recuo de 1 mm após a parada

Matriz de planejamento	Combinações	
	Nº de paradas	Sistemas lubri-refrigerantes
1	0 x 1	Seco x Jorro
2	0 x 2	Seco x Jorro
3	0 x 3	Seco x Jorro
4	0 x 1	Seco x MQF
5	0 x 2	Seco x MQF
6	0 x 3	Seco x MQF

Tabela 4.2 – Matrizes de planejamentos para a etapa 2. Número de parada fixado em 3

Matriz de planejamento	Combinações	
	Recuo	Sistemas lubri-refrigerantes
7	3 mm x total	Seco x Jorro
8	1 mm x 3 mm	Seco x Jorro
9	3 mm x total	Seco x MQF
10	1 mm x 3 mm	Seco x MQF

O planejamento fatorial fracionário 2^{4-1} empregado para avaliação da influencia das variáveis de entrada nas respostas está descrito detalhadamente no Anexo I.

4.2. Resultados da Etapa 1

Nesta etapa foram testadas quatro situações de paradas (0, 1, 2, e 3), duas velocidades de corte (45 e 65 m/min), dois avanços (0,20 e 0,30 mm/volta) e três sistemas lubri-refrigerantes (seco, jorro e MQF).

A Tab. 4.1 mostra os principais confrontos para as seis matrizes de planejamentos da etapa 1.

4.2.1. Vida das ferramentas de corte

A Tab. 4.3 exibe os resultados de vida para a primeira matriz de planejamento para os confrontos do número de paradas “0 x 1” e do sistema lubri-refrigerante “seco x jorro”.

Tabela 4.3 – Resultados de vida (média do n° de furos usinados) para as brocas

Nº	Ensaio	Nº de paradas	vc (m/min.)	f (mm/rev.)	S. lubri -refrig.	Teste	1º Replica	2º Replica	Média
1	1	0	45	0,20	S	41	29	28	33
2	9	1	45	0,20	J	349	168	279	265
3	4	0	65	0,20	J	5	5	5	5
4	8	1	65	0,20	S	6	8	18	11
5	3	0	45	0,30	J	94	291	293	226
6	7	1	45	0,30	S	49	25	22	32
7	2	0	65	0,30	S	3	3	2	3
8	10	1	65	0,30	J	30	12	11	18

Para proceder à análise estatística dos resultados foi utilizado o programa Statistica® 7.0 que gerou o quadro de ANOVA (análise de variância). A Tab. 4.4 mostra os resultados dos efeitos na vida das brocas quando o nível dos fatores (variáveis de entrada) é alterado para os ensaios da primeira matriz de planejamento.

Tabela 4.4 – Principais efeitos na vida das brocas para primeira matriz

Fator	Efeitos	p
Nº de paradas: 0 $\rightarrow$ 1	14,83	0,82
Veloc. de corte: 45 $\rightarrow$ 65	-129,98	0,12
Avanço: 0,20 $\rightarrow$ 0,30	-8,88	0,89
Sist. lubri-refrig.: S $\rightarrow$ J	108,98	0,17

Pelo nível de probabilidade “p” é possível verificar quais são os fatores (variáveis de entrada) significativos na determinação da vida das brocas (número de furos usinados). Um fator é considerado significativo se a probabilidade “p” for menor ou igual ao nível de significância (neste caso considerado de 0,05).

A Tab. 4.4 indica que nenhuma variável foi significativa para uma confiabilidade de 95% devido à flutuação dos resultados entre testes e réplicas, possivelmente decorrentes de fatores que entre outros podem ter como origem, a microestrutura do material que não chega a ser completamente homogenia devido às inclusões de carbonetos e possível ocorrência de vazios advindos do processo de fundição (Fig. 3.7) e a expulsão dos cavacos descontínuos de dentro dos furos. Entretanto, algumas considerações podem ser feitas para essas variáveis. Por exemplo, quando se passa da furação com o número de parada “0” (furação direta) para furação com número de parada 1 (Tab. 4.4 e Fig. 4.1a), o número de furos em média tende de modo discreto a aumentar (aumento aproximado de 15 furos). Este comportamento parece ser o mais comum para essa situação, pois como previsto, a parada tem como função a quebra do cavaco, que no caso de ferro fundido cinzento não tem efeito, mas ocorre um tempo maior para a ação do jorro, resfriamento da ferramenta e saída do cavaco, melhorando as condições de usinagem. Entretanto, observa-se que o valor

relativamente alto de “p” (0,82) indica que a variável “Nº de paradas” é uma das que tem menos influência na vida das brocas. Quando a velocidade de corte passa de 45 m/min para 65 m/min em média o número de furos tende a diminuir (aproximadamente 130 furos, Tab. 4.4 e Fig. 4.1b). A explicação é a maior geração de calor em velocidades de corte maiores, acelerando o desgaste da ferramenta, concordando com o comportamento da equação de Taylor (MACHADO et al., 2009). O aumento do avanço de 0,20 mm/rev para 0,30 mm/rev tende discretamente a diminuir em média o número de furos (redução aproximada de 9 furos) por aumentar a área de contato cavaco-ferramenta e, conseqüentemente, as forças de usinagem e a geração de calor e o desgaste da ferramenta, entretanto, também nesta condição o valor de “p” (0,89) é bastante elevado (Tab. 4.4 e Fig. 4.1c). Com o uso de jorro, ao invés do corte a seco, a vida das brocas em média tende a aumentar cerca de 109 furos (Tab. 4.4 e Fig. 4.1d). Este fato pode ser atribuído à diminuição da temperatura e à remoção dos cavacos das imediações da zona de corte que esta condição promove.

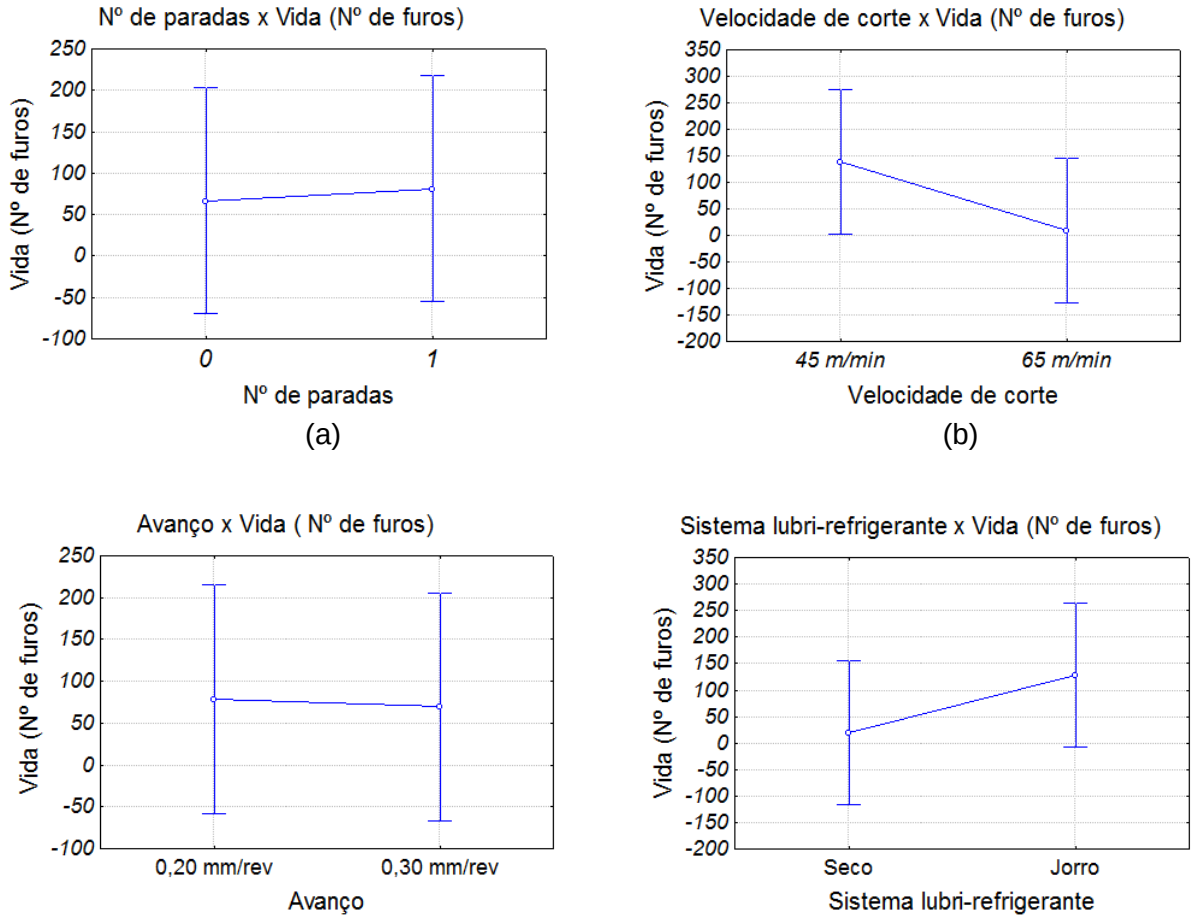


Figura 4.1 – Gráficos relacionando a vida das brocas com as variáveis de entrada: (a) Nº de paradas; (b) Velocidade de corte; (c) Avanço; (d) Sistema lubri-refrigerante

A Tab. 4.5 ilustra os resultados de vida para a segunda matriz de planejamento para os confrontos do número de paradas “0 x 1” e do sistema lubri-refrigerante “seco x MQF”.

Tabela 4.5 – Resultados de vida (média do n° de furos usinados) para as brocas

Nº	Ensaio	Nº de paradas	vc (m/min.)	f (mm/rev.)	S. lubri -refrig.	Teste	1º Réplica	2º Réplica	Média
1	1	0	45	0,20	S	41	29	28	33
2	11	1	45	0,20	MQF	389	117	134	213
3	6	0	65	0,20	MQF	6	3	04	4
4	8	1	65	0,20	S	6	8	18	11
5	5	0	45	0,30	MQF	32	27	45	35
6	7	1	45	0,30	S	49	25	22	32
7	2	0	65	0,30	S	3	3	2	3
8	12	1	65	0,30	MQF	3	3	4	3

A Tab. 4.6 mostra os resultados dos efeitos na vida das brocas para os ensaios da segunda matriz de planejamento.

Tabela 4.6 – Principais efeitos na vida das brocas para a segunda matriz

Fator	Efeitos	p
Nº de paradas: 0 $\rightarrow$ 1	46,23	0,37
Veloc. de corte: 45 $\rightarrow$ 65	-72,91	0,20
Avanço: 0,20 $\rightarrow$ 0,30	-47,09	0,37
Sist. lubri-refrig.: S $\rightarrow$ MQF	44,38	0,39

Da mesma forma que na Tab. 4.4, os resultados da Tab. 4.6 indicam que nenhuma variável foi significativa para uma confiabilidade de 95% devido aos mesmos motivos já esclarecidos anteriormente. Observando os efeitos que revelam tendências para essas variáveis, quando se passa da furação com o número de parada 0 (direta) para furação com número de parada 1 (Tab. 4.6 e Fig. 4.2a), o número de furos em média tende a aumentar justificando o comentário feito para a parada, em ocasião da análise para a Tab. 4.4 e gráfico da Fig. 4.1a. Quando a velocidade de corte passa de 45 m/min para 65 m/min o número de furos em média tende a diminuir (Tab. 4.6 e Fig.4.2b) e novamente a explicação é o fato de que com o aumento da velocidade, ocorre maior geração de calor e conseqüentemente, o desgaste da ferramenta é maior. O aumento do avanço de 0,20 mm/rev para 0,30 mm/rev também tende a diminuir em média o número de furos (Fig. 4.2c). O comentário se repete de forma semelhante àquele emitido para a Fig. 4.1c. Com o uso de MQF, ao invés do corte a seco, ocorre tendência do aumento em média do número de furos usinados (Fig. 4.2d). Este fato pode ser atribuído à função lubrificante da MQF e ainda, à remoção dos cavacos das imediações da zona de corte devido ao fluxo de ar quando o óleo

esta sendo pulverizado nessa região. Uma comparação dos resultados apresentados nas tabelas 4.4 e 4.6 permite inferir que a situação da furação com jorro é mais adequada que com MQF, que é mais adequada que a condição a seco, pois quando se passou de condição seco para jorro o aumento na vida foi de 109 furos em média Tab. 4.4, contra um aumento de apenas 44 furos em média quando se passou da condição seco para MQF Tab. 4.6.

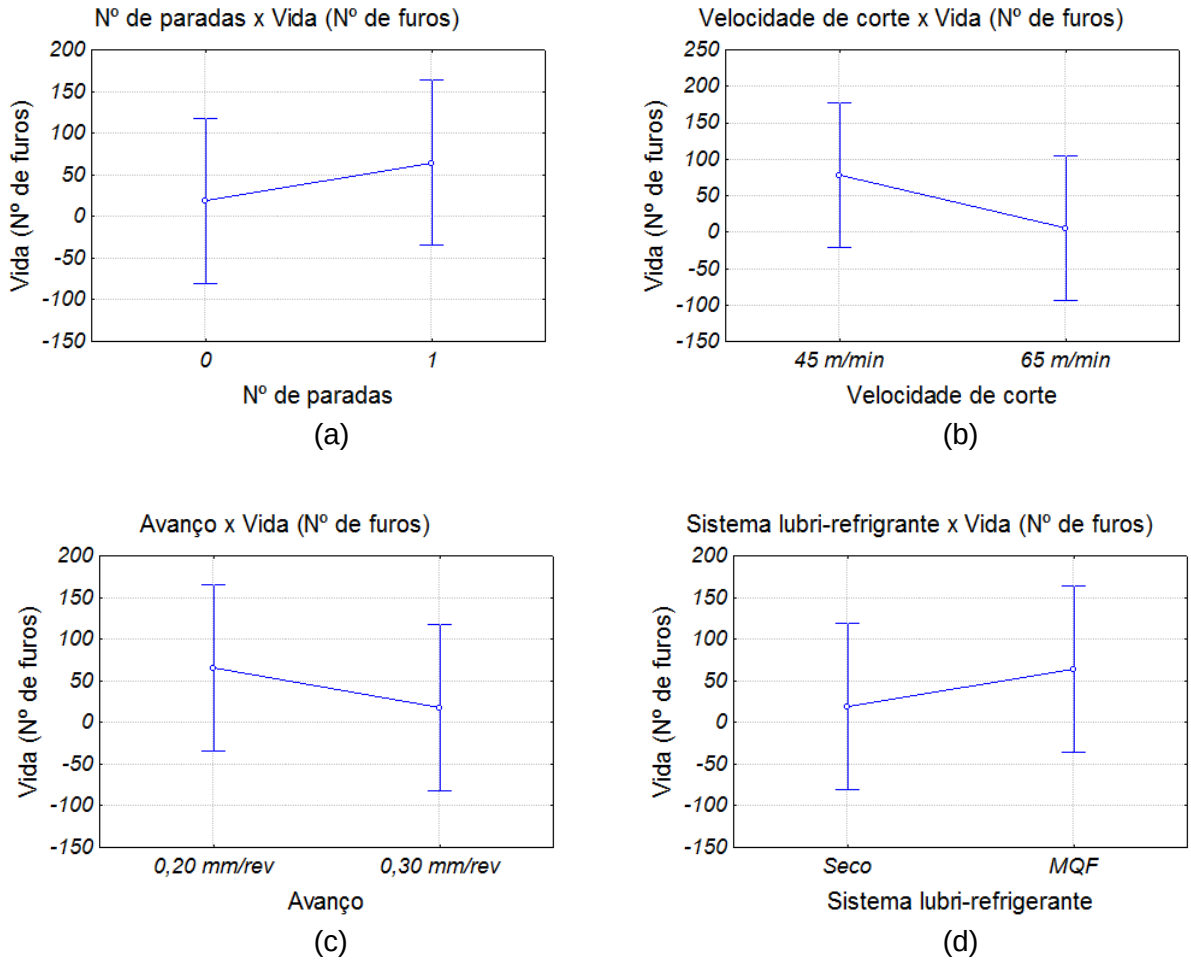


Figura 4.2 – Gráficos relacionando a vida das brocas com as variáveis de entrada: (a) Nº de paradas; (b) Velocidade de corte; (c) Avanço; (d) Sistema lubri-refrigerante

A Tab. 4.7 exibe os resultados de vida para a terceira matriz de planejamento para os confrontos do número de paradas “0 x 2” e do sistema lubri-refrigerante “seco x jorro”.

Tabela 4.7 – Resultados de vida (média do n° de furos usinados) para as brocas

Nº	Ensaio	Nº de paradas	vc (m/min.)	f (mm/rev.)	S. lubri -refrig.	Teste	1º Replica	2º Replica	Média
1	1	0	45	0,20	S	41	29	28	33
2	15	2	45	0,20	J	91	139	293	174
3	4	0	65	0,20	J	5	5	5	5
4	14	2	65	0,20	S	4	4	3	4
5	3	0	45	0,30	J	94	291	293	226
6	13	2	45	0,30	S	27	27	28	27
7	2	0	65	0,30	S	3	3	2	3
8	16	2	65	0,30	J	4	5	4	4

A Tab. 4.8 mostra os resultados dos efeitos na vida das brocas para os ensaios da terceira matriz de planejamento.

Tabela 4.8 - Principais efeitos na vida das brocas para a terceira matriz

Fator	Efeitos	p
Nº de paradas: 0 $\rightarrow$ 2	-14,20	0,80
Veloc. de corte: 45 $\rightarrow$ 65	-111,15	0,11
Avanço: 0,20 $\rightarrow$ 0,30	11,15	0,84
Sist. lubri-refrig.: S $\rightarrow$ jorro	85,80	0,18

De maneira semelhante às tabelas anteriores, os resultados da Tab. 4.8 também indicam que nenhuma variável foi significativa para uma confiabilidade de 95% devido aos mesmos motivos já esclarecidos. Pode ser observado nesta tabela que quando se passa da furação com o número de parada 0 (direta) para furação com duas paradas, em média a vida da ferramenta tende a diminuir discretamente (aproximadamente 14 furos). Este comportamento não parece ser o mais comum para essa situação, pois como comentado anteriormente, a parada tem como função a quebra do cavaco, embora para o ferro fundido isso não tenha efeito, mas ocorre um tempo maior para a ação do jorro, resfriamento da ferramenta e saída do cavaco, melhorando as condições de usinagem. Quando a velocidade de corte passa de 45 m/min para 65 m/min o número de furos em média tende a diminuir (cerca de 111 furos, Tab. 4.8) e a explicação esta ligada à maior geração de calor, acelerando o desgaste da ferramenta. O aumento do avanço de 0,20 mm/rev para 0,30 mm/rev tende de forma discreta a aumentar em média o número de furos (Tab. 4.8 e Fig. 4.3c). Pelo que já foi comentado, o aumento do avanço implica no aumento da área de contato cavaco ferramenta e, conseqüentemente, na elevação das forças de usinagem, da geração de calor e do desgaste da ferramenta. Para esta situação prevaleceu a ação do calor que amoleceu o material diminuindo a sua resistência e, com isso favoreceu o corte. Além disso, o maior avanço implica em maior velocidade de avanço e menor tempo de

furação, o que pode ajudar na usinagem de um maior número de furos. Para as variáveis “Nº de paradas” e “Avanço” observam-se os maiores valores de “p” (0,80 e 0,84, respectivamente, Tab. 4.8). Isso pode ser traduzido como variáveis de baixa influência na vida das brocas. As Fig. 4.3a e 4.3c confirmam esta afirmação por mostrarem retas com inclinações bem discretas. O mais baixo valor de “p” entre as variáveis (0,11) faz do parâmetro “Velocidade de corte” o mais influente na vida das brocas.

Com o uso do jorro, em invés do corte a seco, também houve a tendência do aumento em média do número de furos usinados (Tab. 4.8 e Fig. 4.3d). Como da vez anterior, este fato pode ser atribuído à função refrigerante do jorro e ainda, à remoção dos cavacos das imediações da zona de corte.

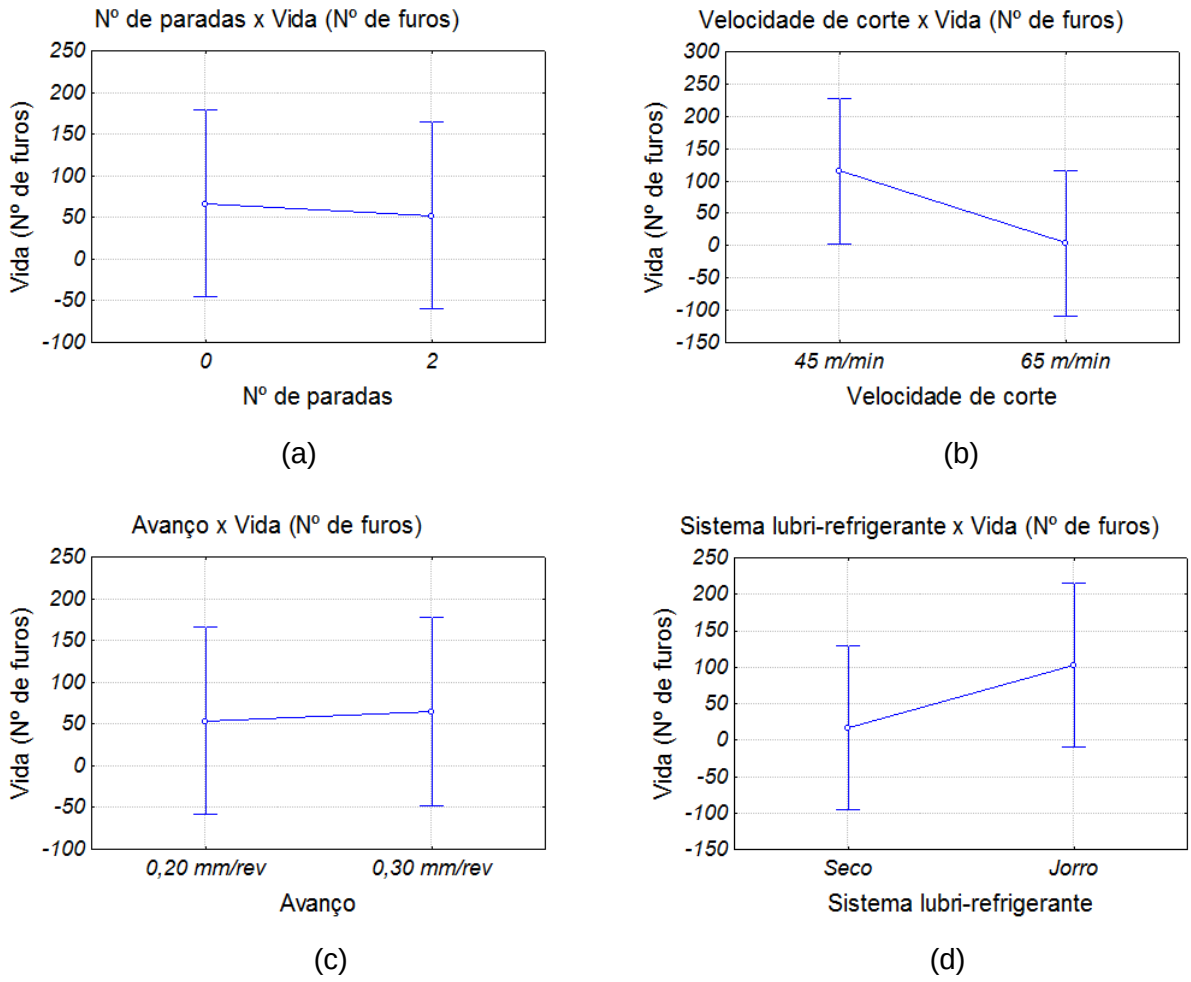


Figura 4.3 – Gráficos relacionando a vida das brocas com as variáveis de entrada: (a) Nº de paradas; (b) Velocidade de corte; (c) Avanço; (d) Sistema lubri-refrigerante

A Tab. 4.9 exibe os resultados de vida para a quarta matriz de planejamento para os confrontos do número de paradas “0 x 2” e do sistema lubri-refrigerante “seco x MQF”

Tabela 4.9 – Resultados de vida (média do n° de furos usinados) para as brocas

Nº	Ensaio	Nº de paradas	vc (m/min.)	f (mm/rev.)	S. lubri -refrig.	Teste	1º Replica	2º Replica	Média
1	1	0	45	0,20	S	41	29	28	33
2	17	2	45	0,20	MQF	37	51	36	41
3	6	0	65	0,20	MQF	06	03	04	4
4	14	2	65	0,20	S	4	4	3	4
5	5	0	45	0,30	MQF	32	27	45	35
6	13	2	45	0,30	S	27	27	28	27
7	2	0	65	0,30	S	3	3	2	3
8	18	2	65	0,30	MQF	2	3	2	2

A Tab. 4.10 mostra os resultados dos efeitos na vida das brocas para os ensaios da quarta matriz de planejamento.

Tabela 4.10 – Principais efeitos na vida das brocas para a quarta matriz

Fator	Efeitos	p
Nº de paradas: 0 $\rightarrow$ 2	0,05	0,98
Veloc. de corte: 45 $\rightarrow$ 65	-30,74	0,00
Avanço: 0,20 $\rightarrow$ 0,30	-3,77	0,25
Sist. lubri-refrig.: S $\rightarrow$ MQF	4,05	0,22

Os resultados da Tab. 4.10 indicam que somente a variável velocidade de corte foi significativa para uma confiabilidade de 95%. Nenhuma tendência de efeito do Nº de paradas sobre a média do número de furos foi observada (Fig.4.4a), o que ocasionou um valor muito elevado de “p” (0,98). Quando a velocidade de corte passa de 45 m/min para 65 m/min o número de furos em média tende a diminuir (Tab. 4.10 e Fig.4.4b) e o comentário também se repete como o emitido para a situação semelhante vista anteriormente. O aumento do avanço de 0,20 mm/rev para 0,30 mm/rev tende discretamente a diminuir em média o número de furos (Fig. 4.4c) e o comentário também se repete como o emitido para as situações análogas já vistas. Com o uso do MQF, em invés do corte a seco, também houve uma tendência do aumento em média do número de furos (Fig. 4.4d). O comentário para esse fato também é semelhante ao que se fez em oportunidades anteriores.

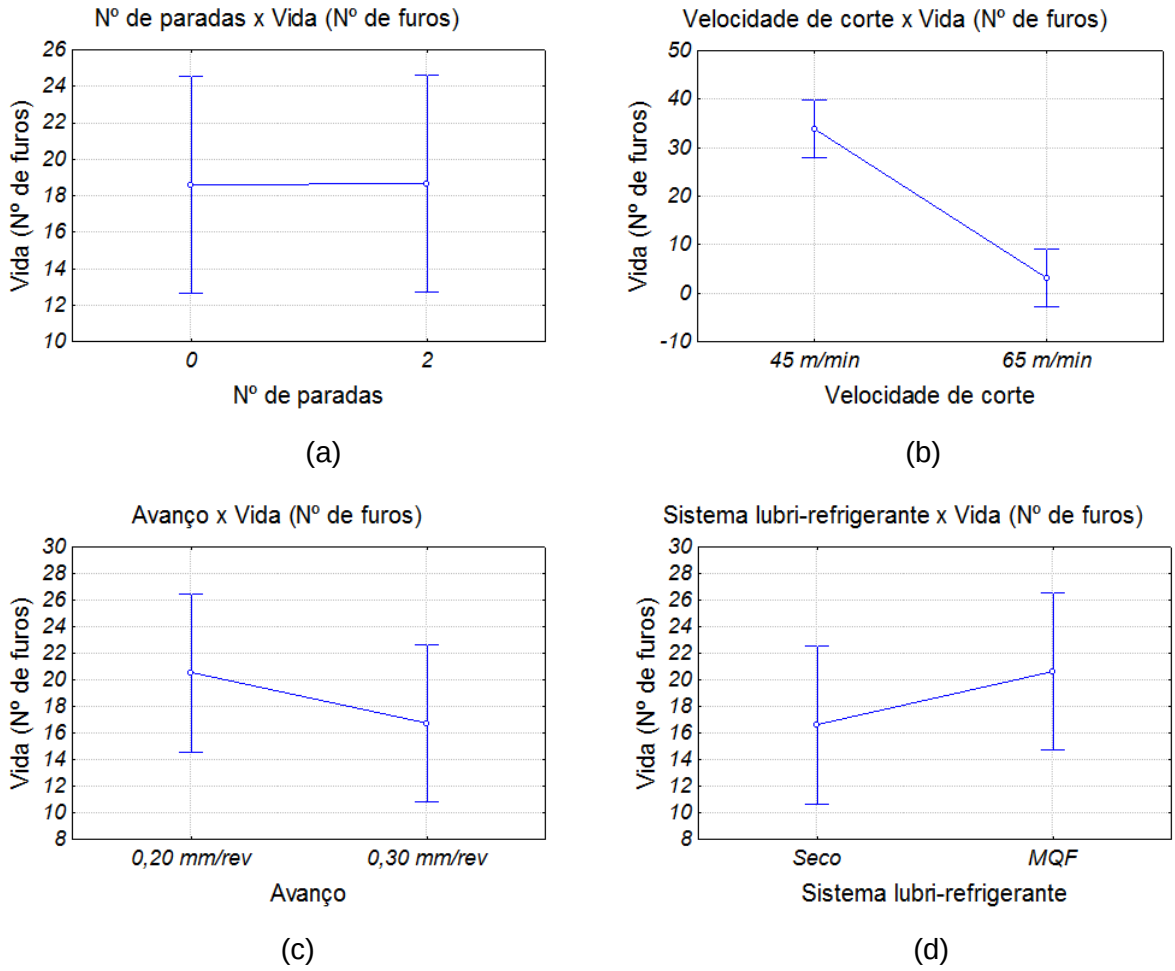


Figura 4.4 – Gráficos relacionando a vida das brocas com as variáveis de entrada: (a) Nº de paradas; (b) Velocidade de corte; (c) Avanço; (d) Sistema lubri-refrigerante

A Tab. 4.11 exibe os resultados de vida para a quinta matriz de planejamento para os confrontos do número de paradas “0 x 3” e do sistema lubri-refrigerante “seco x jorro”.

Tabela 4.11 – Resultados de vida (média do n° de furos usinados) para as brocas

Nº	Ensaio	Nº de paradas	vc (m/min.)	f (mm/rev.)	S. lubri -refrig.	Teste	1º Replica	2º Replica	Média
1	1	0	45	0,20	S	41	29	28	33
2	21	3	45	0,20	J	62	110	305	159
3	4	0	65	0,20	J	5	5	5	5
4	20	3	65	0,20	S	3	3	3	3
5	3	0	45	0,30	J	94	291	293	226
6	19	3	45	0,30	S	45	34	34	38
7	2	0	65	0,30	S	3	3	2	3
8	22	3	65	0,30	J	4	6	6	5

A Tab. 4.12 mostra os resultados dos efeitos na vida das brocas para os ensaios da quinta matriz de planejamento.

Tabela 4.12 – Principais efeitos na vida das brocas para quinta matriz

	Efeitos	p
Nº de parada: 0 → 3	-15,36	0,76
Veloc. Corte: 45 → 65	-109,84	0,10
Avanço: 0,2 → 0,3	17,99	0,73
Sist. lubri-refrig.: Seco→Jorro	79,81	0,19

A Tab. 4.12 mostra os principais efeitos na vida das brocas onde se destaca o peso da velocidade de corte na vida das ferramentas como ficou comprovado, porém, pelo o índice “p”, nenhuma variável foi significativa para uma confiabilidade de 95% devido à ocorrência de maior flutuação dos resultados entre testes e réplicas. Entretanto, algumas análises podem ser feitas para essas variáveis. Quando se passa da furação com o número de parada 0 para furação com número de paradas 3 (Fig. 4.5a), o número de furos em média tende de modo discreto a diminuir. Este comportamento já foi comentado em situações semelhantes. É anômalo e se deve a fatores diversos que necessitam de comparações como o problema com o material de peça, efeito de acúmulo de cavaco no fundo do furo, prejudicando a retomada do corte após as paradas, etc. Quando a velocidade de corte passa de 45 m/min para 65 m/min em média o número de furos tende a diminuir de forma mais acentuada. Com o aumento da velocidade de corte, ocorre também o aumento da temperatura gerando maior calor, implicando em maior desgaste da ferramenta, piorando as condições de usinagem (Fig.4.5b). Para a velocidade de corte é observado o menor valor de “p” (0,10) entre as variáveis, Tab. 4.12, o que faz desse parâmetro, nesta análise, o mais influente na vida das brocas. O aumento do avanço de 0,20 mm/rev para 0,30 mm/rev tende a aumentar em média o número de furos (Fig. 4.5c). Esta é uma situação semelhante a que ocorreu anteriormente para os confrontos (0 x 2) e (seco x jorro) no gráfico da Fig. 4.3c. Assim, o comentário para aquela situação, prevalece para a atual. Com o uso de jorro, ao invés do corte a seco, em média o número de furos tende a aumentar (Fig. 4.5d). Este fato também comentado em vez anterior pode ser atribuído à diminuição da temperatura e à remoção dos cavacos das imediações da zona de corte que esta condição promove.

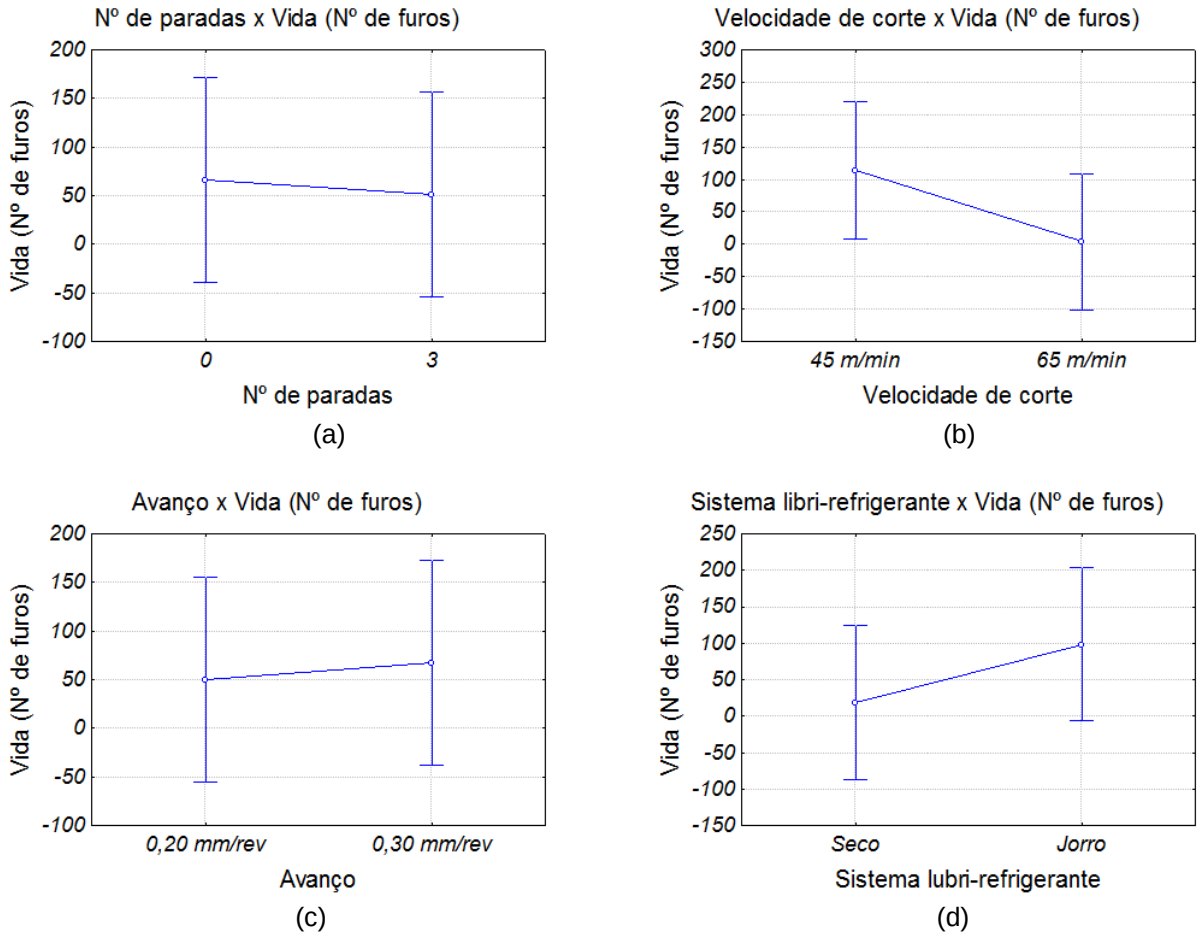


Figura 4.5 – Gráficos relacionando a vida das brocas com as variáveis de entrada: (a) Nº de paradas; (b) Velocidade de corte; (c) Avanço; (d) Sistema lubri-refrigerante

A Tab. 4.13 exibe os resultados de vida para a sexta matriz de planejamento para os confrontos do número de paradas “0 x 3” e do sistema lubri-refrigerante “seco x MQF”.

Tabela 4.13 – Resultados de vida (média do n° de furos usinados) para as brocas

Nº	Ensaio	Nº de paradas	vc (m/min.)	f (mm/rev.)	S. lubri -refrig.	Teste	1º Replica	2º Replica	Média
1	1	0	45	0,20	S	41	29	28	33
2	23	3	45	0,20	MQF	108	255	139	167
3	6	0	65	0,20	MQF	06	03	04	4
4	20	3	65	0,20	S	3	3	3	3
5	5	0	45	0,30	MQF	32	27	45	35
6	19	3	45	0,30	S	45	34	34	38
7	2	0	65	0,30	S	3	3	2	3
8	24	3	65	0,30	MQF	3	3	2	3

A Tab. 4.14 mostra os resultados dos efeitos na vida das brocas para os ensaios da sexta matriz de planejamento.

Tabela 4.14 – Principais efeitos na vida das brocas para a sexta matriz

Fator	Efeitos	p
Nº de paradas: 0 → 3	34,07	0,37
Veloc. de corte: 45 → 65	-64,90	0,14
Avanço: 0,20 → 0,30	-32,40	0,40
Sist. lubri-refrig.: S → MQF	33,23	0,39

De forma semelhante à maioria das tabelas anteriores para análise de variância, os resultados da Tab. 4.14 indicam que nenhuma variável foi significativa para uma confiabilidade de 95% devido aos mesmos motivos já esclarecidos. Observando os efeitos, tendências para essas variáveis podem ser descritas. Quando se passa da furação com o número de parada 0 para furação com três paradas (Fig. 4.6a), em média o número de furos tende a aumentar (aproximadamente 34 furos, Tab. 4.14) justificando o comentário como o emitido para situações anteriores semelhantes a essa. Nesse caso a maior refrigeração da ferramenta permitida pelas paradas favorece o processo. Quando a velocidade de corte passa de 45 m/min para 65 m/min o número de furos em média tende a diminuir (Fig.4.6b) e o comentário se identifica com aquele emitido para a Fig.4.1b. O aumento do avanço de 0,20 mm/rev para 0,30 mm/rev também tende a diminuir em média o número de furos (Fig. 4.6c) e o comentário também se repete como foi feito em oportunidades onde a situação era semelhante à atual. Com o uso do MQF, ao invés do corte a seco, também houve o aumento em média do número de furos (Fig. 4.6d). Como das vezes anteriores, este fato pode ser atribuído à função lubrificante do MQF e ainda, à remoção dos cavacos das imediações da zona de corte.

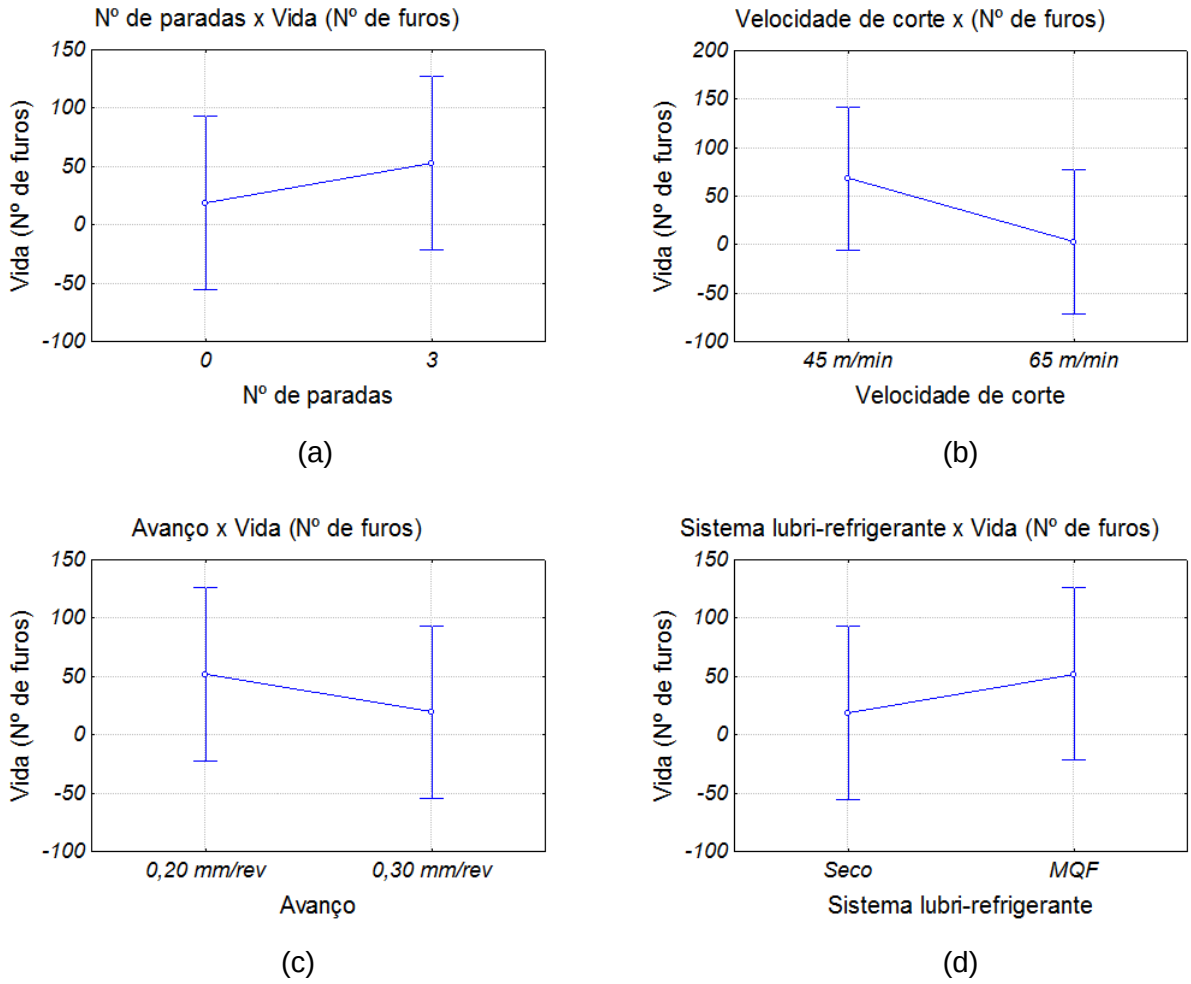


Figura 4.6 – Gráficos relacionando a vida das brocas com as variáveis de entrada: (a) Nº de paradas; (b) Velocidade de corte; (c) Avanço; (d) Sistema lubri-refrigerante

A combinação de variáveis que resultou ser mais favorável entre as demais condições de corte e que levaram as brocas às maiores vidas médias registradas na Etapa 1 se encontram ilustradas na Tab. 4.15. Conforme essa tabela, o ciclo de furação com 1 (uma) parada foi o que registrou a maior vida média para a broca nesta etapa (ensaio 9).

Tab. 4.15 - Maiores vidas médias para as brocas na Etapa 1

Ensaio	Nº de paradas	vc (m/min)	f (mm/rev)	Sistema lubri-refrig.	Média
3	0	45	0,30	J	226
9	1	45	0,20	J	265
11	1	45	0,20	MQF	213
15	2	45	0,20	J	174
21	3	45	0,20	J	159
23	3	45	0,20	MQF	167

4.2.2. Qualidades dos furos usinados

A Tab. 4.16 ilustra os resultados das médias de R_a, R_z, erro de circularidade e erro de cilindricidade para o primeiro furo e os furos que representam 25%, 50%, 75% e 90% do desgaste da broca, calculadas para cada teste e réplicas, para cada um dos ensaios da primeira matriz planejamento e cujos resultados detalhados destas medições estão mostrados nas Tab. 7.3 a 7.18 do Anexo II (em CD).

Tabela 4.16 – Resultados: médias dos parâmetros de qualidade (Nº de paradas 0 x 1) e (seco x jorro)

Nº	Ensaio	Nº de paradas	vc (m/min)	f (mm/rev)	Sist. lubri-refrig.	R_a (µm) (média)	R_z (µm) (média)	Circul. (µm) (média)	Cilind. (µm) (média)
1	1	0	45	0,20	S	5,19	33,16	47,98	60,58
2	9	1	45	0,20	J	4,74	30,64	39,68	50,58
3	4	0	65	0,20	J	2,69	20,73	45,81	59,74
4	8	1	65	0,20	S	3,25	24,22	49,34	62,60
5	3	0	45	0,30	J	4,53	30,20	88,38	75,92
6	7	1	45	0,30	S	3,30	23,78	50,09	63,36
7	2	0	65	0,30	S	2,80	21,31	66,69	92,88
8	10	1	65	0,30	J	2,77	21,27	31,83	37,44

A Tab. 4.17 mostra o resultado da análise de variância da primeira matriz de planejamento (paradas 0 x 1) e (seco x jorro), para os parâmetros R_a, R_z, erros de circularidade e cilindricidade.

Tabela 4.17 - Principais efeitos: R_a, R_z, desvios geométricos (paradas 0 x 1) e (seco x jorro)

	R_a		R_z		Circularidade		Cilindricidade	
Fator	Efeito	p	Efeito	p	Efeito	p	Efeito	p
Nº de paradas: 0 → 1	-0,29	0,57	-1,37	0,60	-19,48	0,21	-18,79	0,16
Veloc. de corte: 45 → 65	-1,56	0,04	-7,56	0,05	-8,16	0,55	0,56	0,96
Avanço: 0,20 → 0,30	-0,62	0,26	-3,05	0,28	13,55	0,35	9,03	0,44
Sist. lubri-refrig.: S → J	0,05	0,92	0,09	0,97	-2,10	0,87	-13,94	0,27

De acordo com os dados apresentados na Tab. 4.17 que caracteriza o sistema lubri-refrigerante seco *versus* jorro, somente a velocidade de corte se mostrou estatisticamente influente para a rugosidade, dentro de uma confiabilidade de 95% e observando os efeitos que revelam tendências para essas variáveis quando se utiliza uma parada ao invés do corte direto, todos os parâmetros de qualidade avaliados tendem a diminuir. O aumento da velocidade de corte tende a melhorar a qualidade dos furos quando se tratam dos parâmetros R_a, R_z e circularidade. O avanço de 0,30 mm/rev também melhora a qualidade

dos furos para os parâmetros R_a, R_z. O que não era esperado, uma vez que estes parâmetros são proporcionais ao quadrado do avanço também para a furação (MACHADO et al., 2009). Talvez nesses testes os cavacos descontínuos do ferro fundido cinzento estão interferindo no acabamento dos furos. Além disto, como os valores dos parâmetros de qualidade são médias obtidas ao longo da vida das brocas (nos percentuais 0%, 25%, 50%, 75% e 90%), os desgastes das mesmas estão interferindo nos resultados, o que prejudica a análise de comportamento das variáveis. A aplicação do fluido na forma de jorro parece oferecer poder lubrificante e conseqüentemente, melhora a circularidade e cilindricidade dos furos, praticamente sem afetar a rugosidade embora também pode se observar valores elevados de "p" para alguns desses parâmetros.

A Tab. 4.18 ilustra os resultados das médias de R_a, R_z, circularidade e cilindricidade para o primeiro furo e os furos que representam os percentuais citados do desgaste da broca calculadas para cada teste e réplicas, para cada um dos ensaios da segunda matriz planejamento e cujos resultados detalhados destas medições estão mostrados nas Tab. 7.27 a 7.42 do Anexo II (em CD).

Tabela 4.18 – Resultados: médias dos parâmetros de qualidade (Nº de paradas 0 x 1) e (seco x MQF)

Nº	Ensaio	Nº de paradas	vc (m/min)	f (mm/rev)	Sist. lubri-refrig.	R_a (µm) (média)	R_z (µm) (média)	Circul. (µm) (média)	Cilindr. (µm) (média)
1	1	0	45	0,20	S	5,19	33,16	47,98	60,58
2	11	1	45	0,20	MQF	4,60	30,27	39,05	46,15
3	6	0	65	0,20	MQF	4,07	28,24	55,136	148,58
4	8	1	65	0,20	S	3,25	24,22	49,34	62,60
5	5	0	45	0,30	MQF	4,14	26,20	59,70	85,40
6	7	1	45	0,30	S	3,30	23,78	50,09	63,36
7	2	0	65	0,30	S	2,80	21,31	66,69	92,88
8	12	1	65	0,30	MQF	4,06	26,90	67,76	93,24

A Tab. 4.19 mostra o resultado da análise de variância para da segunda matriz de planejamento (seco x MQF), para os parâmetros R_a, R_z, circularidade e cilindricidade.

Tabela 4.19 – Principais efeitos: R_a, R_z, desvios geométricos (paradas 0 x 1) e (seco x MQF)

	R_a		R_z		Circularidade		Cilindricidade	
Fator	Efeito	p	Efeito	p	Efeito	P	Efeito	p
Nº de paradas: 0 → 1	-0,25	0,63	-0,94	0,70	-5,82	0,09	-30,52	0,16
Veloc. de corte: 45 → 65	-0,76	0,20	-3,19	0,25	10,53	0,02	35,45	0,12
Avanço: 0,20 → 0,30	-0,70	0,23	-4,43	0,14	13,18	0,01	4,24	0,81
Sist. lubri-refrig.: S → MQF	0,58	0,30	2,29	0,38	1,89	0,49	23,49	0,25

De acordo com os dados apresentados na Tab. 4.19, que caracterizam o sistema lubri-refrigerante seco *versos* MQF, a velocidade de corte e o avanço se mostraram estatisticamente influente para o desvio de circularidade, o que não ocorreu para o desvio de cilindricidade e rugosidades, dentro de uma confiabilidade de 95%. Mas observando os efeitos que revelam tendências para essas variáveis, quando se utiliza uma parada ao invés de corte direto, todas elas tendem a diminuir. Por outro lado, ao usar o sistema MQF ao invés do corte a seco todos os parâmetros de qualidade tendem a piorar. Alguns valores elevados de "p" são também observados para a tabela em questão.

A Tab. 4.20 ilustra os resultados das médias de R_a, R_z, circularidade e cilindricidade para o primeiro furo e os furos que representam os percentuais mencionados do desgaste da broca calculados para cada teste e réplicas, em conformidade com a terceira matriz de planejamento cujos resultados detalhados destas medições estão mostrados nas Tab. 7.51 a 7.66 do Anexo II (em CD).

Tabela 4.20 – Resultados: médias dos parâmetros de qualidade (Nº de paradas 0 x 2) e (seco x jorro)

Nº	Ensaio	Nº de paradas	vc (m/min.)	f (mm/rev.)	Sist. lubri-refrig	R_a (µm) (média)	R_z (µm) (média)	Circul. (µm) (média)	Cilindr. (µm) (média)
1	1	0	45	0,20	S	5,19	33,16	47,98	60,58
2	15	2	45	0,20	J	4,30	28,30	34,63	40,58
3	4	0	65	0,20	J	2,69	20,73	45,81	59,74
4	14	2	65	0,20	S	3,40	22,90	57,36	69,08
5	3	0	45	0,30	J	4,53	30,20	88,38	75,92
6	13	2	45	0,30	S	4,40	28,27	44,09	55,21
7	2	0	65	0,30	S	2,80	21,31	66,69	92,88
8	16	2	65	0,30	J	3,60	30,83	35,93	44,52

A Tab. 4.21 mostra o resultado da análise de variância para da terceira matriz de planejamento (paradas 0 x 2) e (seco x jorro), para os parâmetros R_a, R_z, circularidade e cilindricidade.

Tabela 4.21 - Principais efeitos: R_a, R_z, desvios geométricos (paradas 0 x 2) e (seco x jorro)

	R_a		R_z		Circularidade		Cilindricidade	
Fator	Efeito	p	Efeito	p	Efeito	P	Efeito	p
Nº de paradas: 0 → 2	0,12	0,78	1,23	0,75	-19,21	0,26	-19,93	0,11
Veloc. de corte: 45 → 65	-1,48	0,04	-6,04	0,18	-2,32	0,88	8,48	0,41
Avanço: 0,20 → 0,30	-0,06	0,89	1,38	0,72	12,33	0,44	9,64	0,36
Sist. lubri-refrig.: S→Jorro	-0,17	0,71	1,11	0,77	-2,84	0,85	-14,25	0,21

Conforme os dados apresentados na Tab. 4.21, entre as variáveis de entrada, a velocidade de corte foi a que se mostrou estatisticamente influente para a rugosidade R_a. Quando esta passa da velocidade de corte de 45 para 65 m/min, R_a tende a diminuir em média de 1,48 µm. Nenhuma das variáveis se mostrou influente em relação à R_z, circularidade e cilindricidade para uma confiabilidade de 95% devido à mesma circunstância que levou à flutuação dos resultados entre os testes e réplicas, mas os erros de circularidade e cilindricidade tendem a diminuir quando ocorre mudança de nível para o número de paradas e para o sistema lubri-refrigerante. Na referida tabela também se observa alguns valores elevados de “p”.

A Tab. 4.22 ilustra os resultados da média para números de furos e resultados das médias de R_a, R_z, circularidade e cilindricidade para o primeiro furo e os furos que representam os percentuais citados do desgaste da broca calculados para cada teste e réplicas, de acordo com a quarta matriz de planejamento cujos resultados detalhados destas medições estão mostrados nas Tab. 7.77 a 7.92 do Anexo II (em CD).

Tabela 4.22 – Resultados: médias dos parâmetros de qualidade (Nº de paradas 0 x 2) e (seco x MQF)

Nº	Ensaio	Nº de paradas	vc (m/min.)	f (mm/rev.)	Sist. lubri-refrig	R_a (µm) (média)	R_z (µm) (média)	Circul. (µm) (média)	Cilindr. (µm) (média)
1	1	0	45	0,20	S	5,19	33,16	47,98	60,58
2	17	2	45	0,20	MQF	4,60	30,27	48,85	67,92
3	6	0	65	0,20	MQF	4,07	28,24	55,136	148,58
4	14	2	65	0,20	S	3,70	3,40	57,36	69,08
5	5	0	45	0,30	MQF	4,14	26,20	59,70	85,40
6	13	2	45	0,30	S	4,40	28,27	44,09	55,21
7	2	0	65	0,30	S	2,80	21,31	66,69	92,88
8	18	2	65	0,30	MQF	4,19	38,92	67,76	93,24

A Tab. 4.23 mostra o resultado da análise de variância para da quarta matriz de planejamento (parada 0 x 2) e (seco x MQF), para os parâmetros R_a, R_z, circularidade e cilindricidade.

Tabela 4.23 – Principais efeitos: R_a, R_z, desvios geométricos (paradas 0 x 2) e (seco x MQF)

	R_a		R_z		Circularidade		Cilindricidade	
Fator	Efeito	p	Efeito	p	Efeito	p	Efeito	p
Nº de paradas: 0 → 2	0,17	0,72	-2,01	0,83	-2,86	0,55	-25,50	0,12
Veloc. de corte: 45 → 65	-0,89	0,13	-6,51	0,51	11,58	0,07	33,67	0,07
Avanço: 0,20 → 0,30	-0,51	0,32	4,91	0,62	7,23	0,17	-4,86	0,71
Sist. lubri-refrig.: S→MQF	0,23	0,63	9,37	0,36	3,83	0,43	29,35	0,09

Pelos dados apresentados na Tab. 4.23, nenhuma das variáveis de entrada se mostrou estatisticamente influente nos parâmetros de qualidade dos furos abordados para uma confiabilidade de 95%. Quando se passa da velocidade de corte de 45 para 65 m/min, R_a e R_z tendem a diminuir. Ao passar do avanço de 0,20 mm/rev para 0,30 mm/rev, R_a e a cilindricidade tendem a diminuir. Quando o número de paradas passa de zero para dois, a rugosidade R_z, a circularidade e a cilindricidade tendem a diminuir. Os valores elevados de "p" continuam a aparecer como se pode observar.

A Tab. 4.24 ilustra os resultados da média de R_a, R_z, circularidade e cilindricidade para o primeiro furo e os furos que representam os referidos percentuais do desgaste da broca calculados para cada teste e réplicas, conforme a quinta matriz de planejamento cujos resultados detalhados destas medições estão mostrados nas Tab. 7.101 a 7.116 do Anexo II (em CD).

Tabela 4.24 – Resultados: médias dos parâmetros de qualidade (Nº de paradas 0 x 3) e (seco x jorro)

Nº	Ensaio	Nº de paradas	vc (m/min.)	f (mm/rev.)	Sist. lubri-refrig	R_a (µm) (média)	R_z (µm) (média)	Circul. (µm) (média)	Cilindr. (µm) (média)
1	1	0	45	0,20	S	5,19	33,16	47,98	60,58
2	21	3	45	0,20	J	4,77	30,27	50,97	63,17
3	4	0	65	0,20	J	2,69	20,73	45,81	59,74
4	20	3	65	0,20	S	3,5	23,98	68,32	79,76
5	3	0	45	0,30	J	5,53	30,2	88,38	75,92
6	19	3	45	0,30	S	4,82	32,05	47,73	56,62
7	2	0	65	0,30	S	2,8	21,31	66,69	92,88
8	22	3	65	0,30	J	3,22	23,11	45,43	60,23

A Tab. 4.25 mostra o resultado da análise de variância para da quinta matriz de planejamento (paradas 0 x 3) e (seco x jorro), para os parâmetros R_a, R_z, circularidade e cilindricidade.

Tabela 4.25 - Principais efeitos: R_a, R_z, desvios geométricos (paradas 0 x 3) e (seco x jorro)

	R_a		R_z		Circularidade		Cilindricidade	
Fator	Efeito	p	Efeito	p	Efeito	p	Efeito	p
Nº de paradas: 0 → 3	0,03	0,95	1,00	0,39	-9,10	0,59	-7,34	0,55
Veloc. de corte: 45 → 65	-2,03	0,01	-9,14	0,00	-2,20	0,89	9,08	0,46
Avanço: 0,20 → 0,30	0,06	0,90	-0,37	0,74	8,79	0,60	5,60	0,64
Sist. lubri-refrig.: S → J	-0,03	0,95	-1,55	0,22	-0,03	0,99	-7,70	0,53

Em conformidade com os dados apresentados na Tab. 4.25, entre as variáveis de entrada, a velocidade de corte foi a que se mostrou estatisticamente influente para a rugosidade. Quando esta de 45 para 65 m/min, R_a, R_z e a circularidade tendem a diminuir. Nenhuma das variáveis se mostrou influente em relação aos erros de circularidade e cilindricidade para uma confiabilidade de 95% devido à flutuação dos resultados encontrados, mas a circularidade tende a diminuir quando ocorre a mudança de nível da maioria dessas variáveis. A cilindricidade tende a diminuir quando ocorre mudança de nível para o número de paradas e para o sistema lubri-refrigerante. A ocorrência de alguns valores elevados de “p”, indicando baixa influência das variáveis, continua aparecendo como ocorreu em tabelas anteriores.

A Tab. 4.26 ilustra os resultados das médias de R_a, R_z e erros de circularidade e cilindricidade para o primeiro furo e os furos que representam os percentuais mencionados do desgaste da broca calculados para cada teste e réplicas, de acordo com a sexta matriz de planejamento cujos resultados detalhados destas medições estão mostrados nas Tab. 7.124 a 7.139 do Anexo II (em CD).

Tabela 4.26 – Resultados: médias dos parâmetros de qualidade (Nº de paradas 0 x 3) e (seco x MQF)

Nº	Ensaio	Nº de paradas	vc (m/min.)	f (mm/rev.)	Sist. lubri-refrig	R_a (µm) (média)	R_z (µm) (média)	Circul. (µm) (média)	Cilindr. (µm) (média)
1	1	0	45	0,20	S	5,19	33,16	47,98	60,58
2	23	3	45	0,20	MQF	4,39	30,78	49,70	59,74
3	6	0	65	0,20	MQF	4,07	28,24	55,14	148,58
4	20	3	65	0,20	S	3,50	23,98	76,08	661,37
5	5	0	45	0,30	MQF	4,14	26,20	59,70	85,40
6	19	3	45	0,30	S	4,82	32,05	47,73	56,62
7	2	0	65	0,30	S	2,80	21,31	66,69	92,88
8	24	3	65	0,30	MQF	3,9	28,89	54,92	73,42

A Tab. 4.27 mostra o resultado da análise de variância para da sexta matriz de planejamento (paradas 0 x 3) e (seco x MQF), para os parâmetros R_a, R_z, circularidade e cilindricidade.

Tabela 4.27 - Principais efeitos: R_a, R_z, desvios geométricos (paradas 0 x 3) e (seco x MQF)

	R_a		R_z		Circularidade		Cilindricidade	
Fator	Efeito	p	Efeito	p	Efeito	p	Efeito	p
Nº de paradas: 0 → 3	0,10	0,84	1,70	0,61	-0,27	0,97	115,93	0,49
Veloc. de corte: 45 → 65	-1,07	0,11	-4,94	0,19	11,93	0,22	178,49	0,31
Avanço: 0,20 → 0,30	-0,37	0,48	-1,9	0,56	0,04	0,99	-155,49	0,37
Sist. lubri-refrig.: S→MQF	0,05	0,93	0,9	0,78	-4,76	0,58	-126,07	0,45

De acordo com os dados apresentados na Tab. 4.27 nenhumas das variáveis se mostraram influente para uma confiabilidade de 95%. Quando a velocidade de corte passa de 45 para 65 m/min, R_a e R_z tendem a diminuir. A circularidade tende a diminuir quando ocorre a mudança de nível do número de paradas e sistema lubri-refrigerante. A cilindricidade tende a diminuir quando ocorre mudança de nível para o avanço e para o sistema lubri-refrigerante. Os valores de "p" observados continuam elevados para alguns parâmetros.

4.2.3. Desgaste nas ferramentas de corte

Os desgastes, registrados por meio de fotos digitais, nas ferramentas de corte da etapa 1 serão mostrados e analisados a seguir. As principais formas de desgastes que foram observadas nas brocas, e que determinaram seus colapsos, foram o desgaste da ponta de corte combinado com o desgaste de flanco e da guia. A Fig. 4.7 apresenta um desenho esquemático destes desgastes.

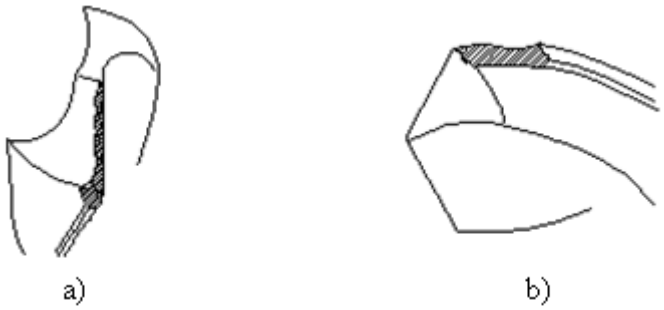


Figura 4.7 – Principais formas de desgaste que atuaram nas brocas. a) Desgaste da ponta de corte e flanco; b) Desgaste da ponta de corte e guia

Os desenvolvimentos dos desgastes nas regiões cortantes das brocas levaram as ferramentas a terem basicamente um tipo de colapso, que é referente à destruição da região da ponta de corte (quina). Nesta área podemos englobar parte da guia e parte do flanco da

ferramenta. É na região da ponta de corte que estão as maiores velocidades e conseqüentemente as mais altas temperaturas na zona cortante. (DINIZ et al., 1999).

O detalhe “A” da Fig. 4.8 ilustra o nível de desgaste na região da ponta de corte quando esta acabara de usinar o furo nº 136 do teste que pertence ao ensaio de número 3, segunda réplica, da etapa 1 (vc = 45m/min, f = 0,30 mm/min, jorro) onde a broca usinou 293 furos, portanto, correspondendo aproximadamente a 46% de desgaste. O detalhe “B” da Fig. 4.8 ilustra o nível de desgaste na guia da broca quando esta terminou de usinar o furo nº 04 da segunda réplica do ensaio de número seis da etapa 1 (vc = 65m/min, f = 0,20 mm/min, MQF). Nesta corrida foram usinados quatro furos correspondendo, portanto, a 100% de desgaste.

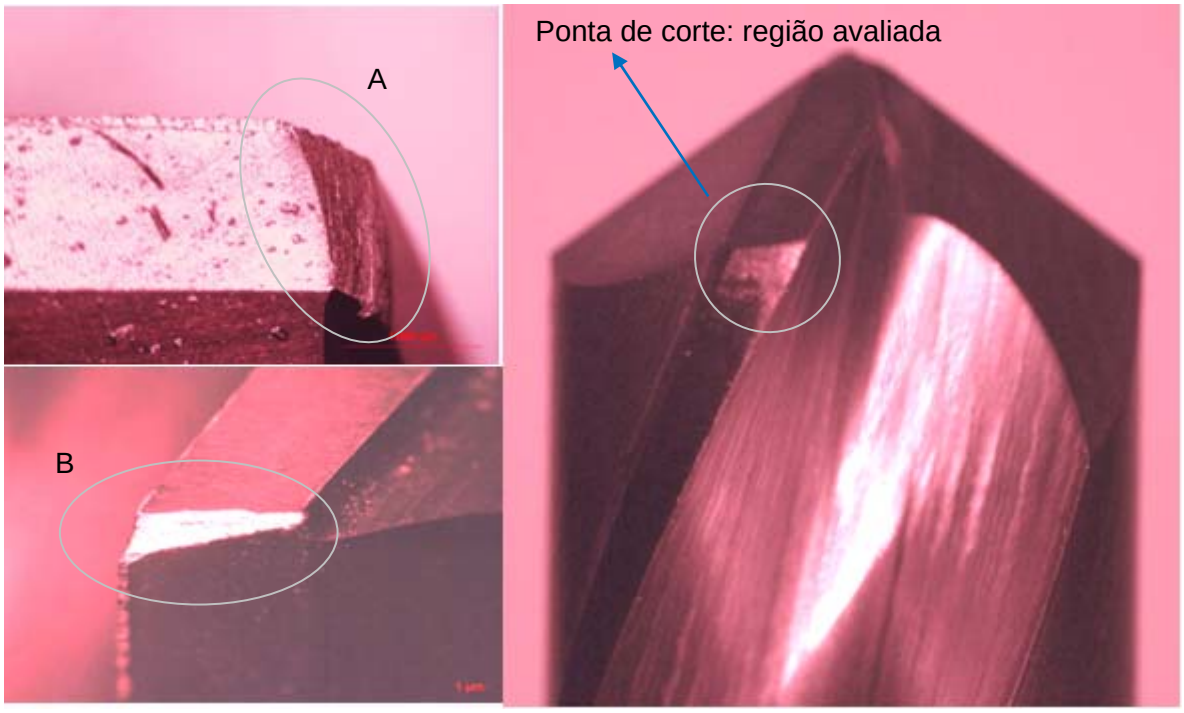


Figura 4.8 - Detalhes do nível de desgastes nas pontas das brocas. Detalhe “A”: broca utilizada no ensaio 3 com aproximadamente 46% de desgaste; Detalhe “B”: broca utilizada no ensaio 6 com 100% de desgaste

Para demonstrar a forma da evolução do desgaste, será analisada a Fig. 4.9, representativa do desenvolvimento do mesmo e que se refere ao ensaio de número 11 da etapa 1, cuja broca do referido teste chegou a usinar 389 furos. As figuras indicativas desse desenvolvimento mostram as superfícies de folga da broca. Estas superfícies foram exibidas em ordem crescente do nível de desgaste na região da ponta de corte e na guia das brocas.

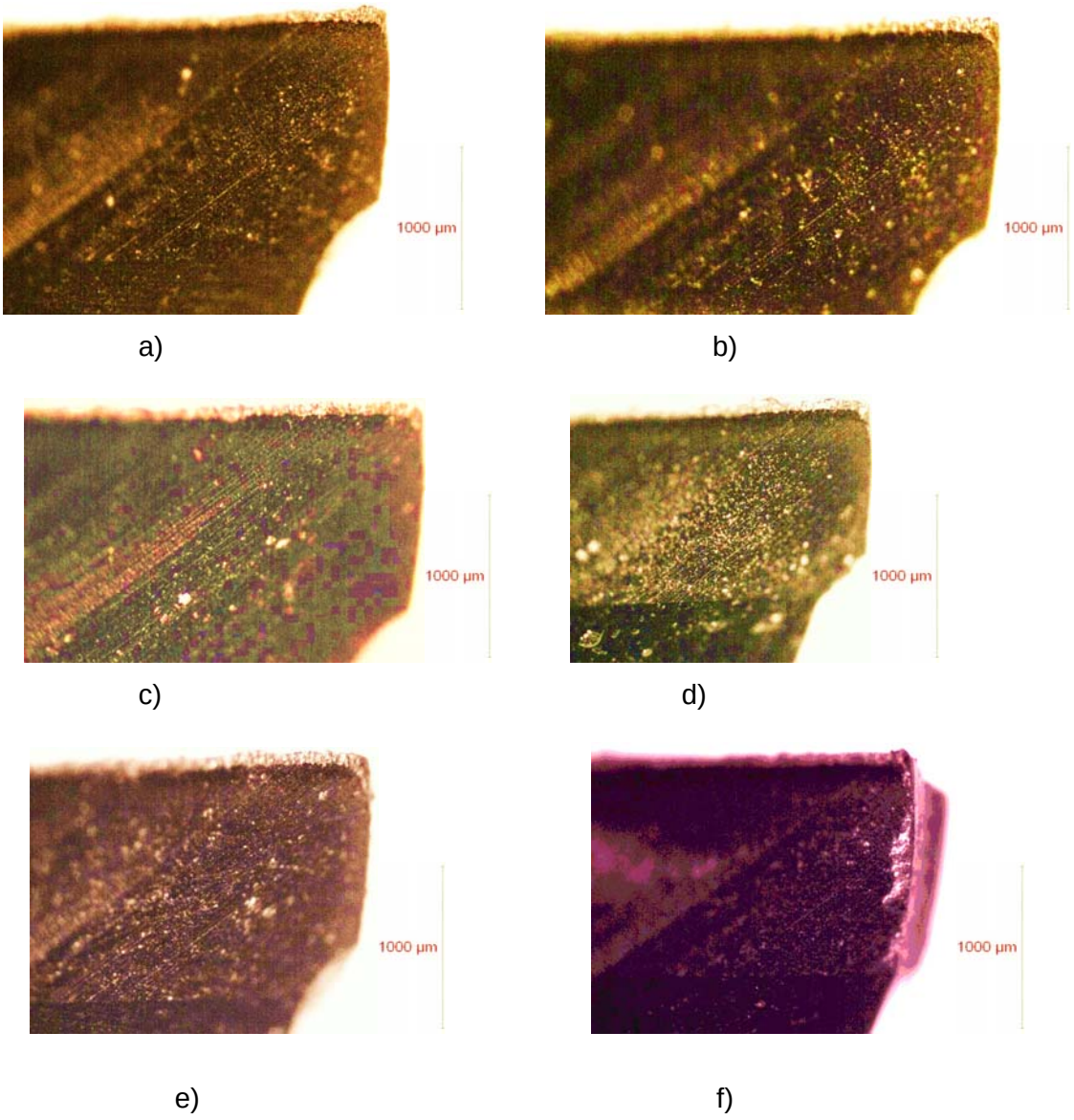


Figura 4.9 – Desenvolvimento do desgaste para o teste do ensaio 11: a) 75 furos, b) 135 furos, c)160 furos, d)190 furos e) 230 furos, f) 300 furos (condições: 1 parada; vc = 45 m/min; f = 0,20 mm/rev e MQF)

Observa-se a evolução gradual dos níveis de desgaste na região da ponta de corte e guia da broca para esses parâmetros. Pode-se perceber na Fig. 4.9a, que até 75 furos usinados, o desgaste é mínimo e permanece praticamente no mesmo nível para a usinagem dos furos 135, 160, 190 e 230 (Fig. 4.9b, 4.9c, 4.9d e 4.9e, respectivamente) quando então, começa a aumentar, atingindo uma condição drástica após a usinagem do furo 300 (Fig. 4.9f). Essa é a forma de desgaste que continuou a aumentar gradualmente até que ocorresse a falha abrupta da ferramenta durante a usinagem do furo 390.

Os mecanismos de desgastes associados à fadiga térmica e mecânica no processo de furação decorrem dos choques mecânicos, aquecimento e resfriamento na região de corte, que podem levar à formação de fissuras, micro-lascamento, deformação plástica e à ruptura da ferramenta de corte (ZEILMMAN, 2003).

No presente trabalho parece que o colapso das ferramentas foi por deformação sob tensão de compressão (Fig. 2.34-2). Parece que nesse caso, a broca atinge o regime de desgaste III da Fig. 4.10, que representa o comportamento clássico de desgastes em ferramentas de corte.

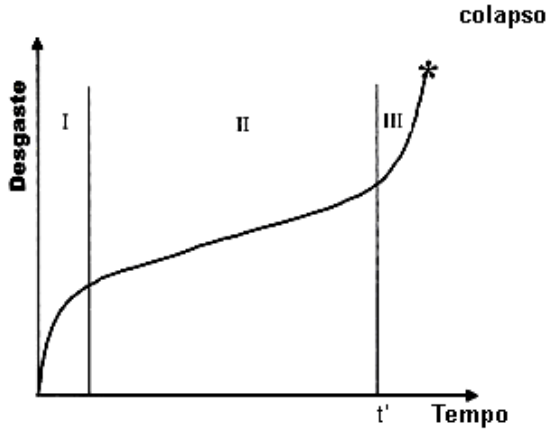


Figura 4.10 – comportamento do desgaste de uma ferramenta de corte com o tempo de corte (MACHADO et al., 2009)

A interpretação da Fig. 4.10 pode ser feita da seguinte forma: O desgaste vai aumentando gradativamente. No presente caso, parece que o regime II ocorre com um desgaste muito baixo. Com o passar do tempo, em t', há uma aceleração forte no desenvolvimento do desgaste que leva a ferramenta ao colapso, a partir deste ponto, rapidamente.

Na região da ponta de corte das brocas encontram-se as maiores velocidades de corte, implicando em maiores temperaturas. Isto reduzirá a resistência ao escoamento do material da ferramenta nesta região. Como conseqüência, as tensões compressivas ali atuantes irão deformar material da superfície da ferramenta, ocasionando assim a falha.

Observa-se que este processo terminal ocorre após o desgaste da ponta de corte atingir níveis elevados, desenvolvidos por outros mecanismos sendo o principal, o desgaste abrasivo, como sugere o aspecto do desgaste na região da ponta de corte (Fig. 4.9f). Segundo König (1990), o desgaste abrasivo é um mecanismo que sempre estará agindo nos processos de usinagem, independente da velocidade de corte. O atrito das guias com a parede do furo, do cavaco com a superfície de saída da ferramenta e da superfície de folga

com o fundo do furo na furação pode promover perda de material por microsulcamento, microcorte ou microlascamento, causados por partículas de elevada dureza. Estas partículas podem estar contidas no material da peça (carbonetos, carbonitretos, etc.) ou podem ser partículas da própria ferramenta. Este mecanismo de desgaste é muito importante na usinagem com ferramentas de aço rápido e ferramentas revestidas. A aparência dos desgastes nas guias das brocas sugere a presença deste mecanismo. Os desgastes iniciais em grandes proporções aumentam a temperatura e reduzem a resistência da ferramenta de corte, a ponto de outro mecanismo classificado por Trent (1984) por “Deformação Plástica sob Tensão de Compressão”, promover o colapso da broca na forma da falha. Este processo se inicia na parte de maior tensão de compressão que atua na superfície de saída da ferramenta, isto é, na aresta de corte. Esta tensão de compressão na superfície de saída tem, na realidade, uma ação cisalhante na superfície de folga, resultando na destruição completa da ferramenta, semelhante ao apresentado na Fig. 4.11 que ilustra a imagem de uma das brocas utilizadas nos pré-testes após o colapso ocorrido no sexto furo, quando se empregou os seguintes parâmetros de corte: vc = 65 m/min, f = 0,30 mim/min, e usinagem a seco.

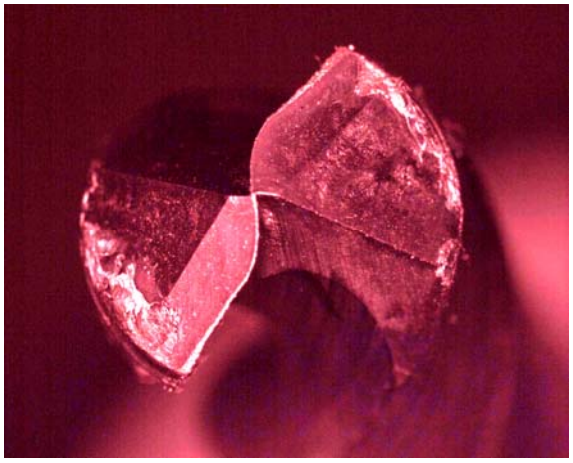


Figura 4.11 – Aparência da superfície de corte de uma broca após colapso

4.2.4. Esforço de usinagem F_z

A Tab. 4.28 ilustra os resultados da força de avanço (F_z) média monitorada no primeiro furo e nos furos que representam 25%, 50%, 75% e 90% do desgaste da broca calculadas para cada teste e réplicas, para cada um dos ensaios da primeira matriz planejamento e cujos resultados detalhados destas medições estão mostrados nas Tab. 7.19 a 7.26 do Anexo II (em CD).

Tabela 4.28 – Resultados: médias de F_z (paradas 0 x 1) e (seco x jorro)

Nº	Ensaio	Nº de paradas	vc (m/min)	f (mm/rev)	Sistema lubri-refrig.	F_z (N) (média)
1	1	0	45	0,20	S	1797,31
2	9	1	45	0,20	J	1459,21
3	4	0	65	0,20	J	1806,79
4	8	1	65	0,20	S	1946,91
5	3	0	45	0,30	J	2148,48
6	7	1	45	0,30	S	2816,01
7	2	0	65	0,30	S	1944,59
8	10	1	65	0,30	J	1646,75

A Tab. 4.29 ilustra o quadro de ANOVA para os resultados das médias da força de avanço (F_z) pertencente à primeira matriz de planejamento: “0 x 1” e “seco x jorro”.

Tabela 4.29 – ANOVA para F_z para a primeira matriz de planejamento

	F_z (N)	
Fator	Efeito	p
Nº de paradas: 0 $\rightarrow$ 1	42,93	0,89
Veloc. de corte: 45 $\rightarrow$ 65	-218,99	0,51
Avanço: 0,20 $\rightarrow$ 0,30	386,40	0,28
Sist. lubri-refrig.: S $\rightarrow$ J	-360,90	0,30

A Fig. 4.12 ilustra a medição da força de avanço, F_z, para a furação direta e com uma parada. Conforme os resultados apresentados na Tab. 4.29, nenhuma variável se mostrou estatisticamente influente para a força de avanço, dentro de uma confiabilidade de 95%, mas os efeitos revelam tendências para essas variáveis. Quando se utiliza uma parada ao invés do corte direto, em média F_z tende a aumentar de aproximadamente 43 N, o que de certa forma é surpreendente, pois como comentado, a parada com recuo tem como objetivos a eliminação do cavaco e melhorar a penetração do jorro, que lubrificando induz à diminuição do esforço de usinagem. A interrupção do corte cessa a geração de calor e reduz a temperatura da peça, que promove o aumento da força, ao reiniciar o corte (Fig. 4.12b). Entretanto, para essa situação o alto valor de “p” (0,89) é observado. O aumento da velocidade de corte tende em geral a diminuir F_z. Com o aumento da velocidade de corte, ocorre também o aumento da temperatura, prevalecendo provavelmente para essa situação, o amolecimento do material que assim teve sua resistência diminuída melhorando as condições de corte. O aumento do avanço de 0,20 mm/rev para 0,30 mm/rev tende a aumentar em média F_z. Com a aplicação do fluido em forma de jorro, F_z tende em média a diminuir.

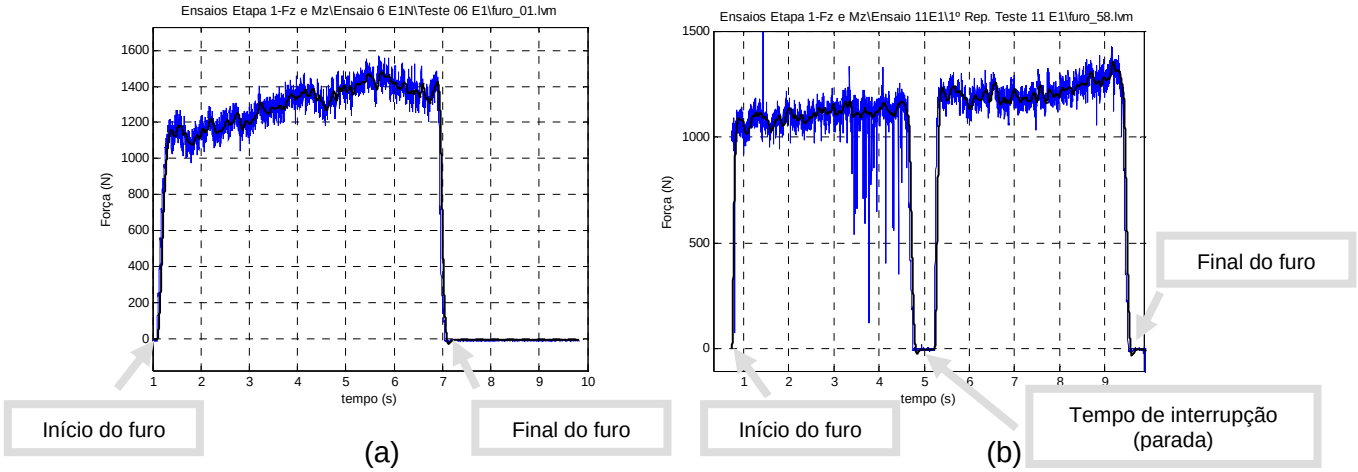


Figura 4.12 - Gráficos de força de avanço: a) furação direta; b) furação com uma parada

Da mesma forma, a Tab. 4.30 mostra os resultados das médias para a força de avanço (F_z) no primeiro furo e os furos que representam os percentuais citados do desgaste da broca calculadas para cada teste e réplicas, para cada um dos ensaios da segunda matriz planejamento e cujos resultados detalhados destas medições estão mostrados nas Tab. 7.43 a 7.50 do Anexo II (em CD).

Tabela 4.30 – Resultados: médias de F_z (paradas 0 x 1) e (seco x MQF)

Nº	Ensaio	Nº de paradas	vc (m/min)	f (mm/rev)	Sistema lubri-refrig.	F_z (N) (média)
1	1	0	45	0,20	S	1797,31
2	11	1	45	0,20	MQF	1486,59
3	6	0	65	0,20	MQF	1368,21
4	8	1	65	0,20	S	1946,91
5	5	0	45	0,30	MQF	1373,26
6	7	1	45	0,30	S	2816,01
7	2	0	65	0,30	S	1944,59
8	12	1	65	0,30	MQF	2018,99

A Tab. 4.31 ilustra o quadro de ANOVA para os resultados das médias da força de avanço (F_z) pertencente à segunda matriz de planejamento: (0 x 1) e (seco x MQF).

Tabela 4.31– ANOVA para F_z para a segunda matriz de planejamento

	$F_{z\,(N)}$	
Fator	Efeito	p
Nº de paradas: 0 → 1	446,28	0,11
Veloc. de corte: 45 → 65	-48,68	0,82
Avanço: 0,20 → 0,30	388,46	0,14
Sist.ubri-refrig.: S → MQF	-564,44	0,06

Pelos os resultados apresentados na Tab. 4.31, nenhuma variável se mostrou estatisticamente influente para a força de avanço, dentro de uma confiabilidade de 95%, mas com a aplicação de MQF essa possibilidade chegou muito próxima de ser atingida (p=0,06). A diminuição da força de avanço para essa condição, provavelmente é devido à ação lubrificante que essa condição produz. Os demais efeitos mostram que quando se utiliza uma parada ao invés do corte direto, F_z tende em média a aumentar. O aumento da velocidade de corte também tende em média a diminuir F_z apesar de um alto valor de "p" (0,82) ser observado. O avanço de 0,30 mm/rev tende em média a aumentar F_z, quando comparado ao avanço de 0,20 mm/rev.

A Tab. 4.32 ilustra os resultados das médias para a força de avanço (F_z) no primeiro furo e nos furos que representam os percentuais mencionados do desgaste da broca calculadas para cada teste e réplicas, conforme a terceira matriz de planejamento cujos resultados detalhados destas medições estão mostrados nas Tab. 7.67 a 7.76 do Anexo II (em CD).

Tabela 4.32 – Resultados: médias de F_z (paradas 0 x 2) e (seco x jorro)

Nº	Ensaio	Nº de paradas	vc (m/min)	f (mm/rev)	Sistema lubri-refrig.	F_z (N) (média)
1	1	0	45	0,20	S	1797,31
2	15	2	45	0,20	J	1027,58
3	4	0	65	0,20	J	1806,79
4	14	2	65	0,20	S	1393,26
5	3	0	45	0,30	J	2148,48
6	13	2	45	0,30	S	1904,06
7	2	0	65	0,30	S	1944,59
8	16	2	65	0,30	J	1661,21

A Tab. 4.33 ilustra o quadro de ANOVA para os resultados das médias da força de avanço (F_z) pertencente à terceira matriz de planejamento: (0 x 2) e (seco x jorro).

Tabela 4.33 – ANOVA para F_z para a terceira matriz de planejamento

	F_z	
Fator	Efeito	p
Nº de paradas: 0 $\rightarrow$ 2	-427,77	0,07
Veloc. de corte: 45 $\rightarrow$ 65	-17,90	0,92
Avanço: 0,20 $\rightarrow$ 0,30	408,35	0,08
Sist. lubri-refrig.: S $\rightarrow$ J	-98,79	0,58

Conforme os resultados apresentados na Tab. 4.33, nenhuma variável se mostrou estatisticamente influente para a força de avanço, dentro de uma confiabilidade de 95%, mas os efeitos revelam tendências para essas variáveis. Quando se utiliza duas paradas ao invés do corte direto, em média F_z tende a diminuir. Como comentado em outras oportunidades, este comportamento é o esperado para esta situação. O aumento da velocidade de corte tende em média a diminuir F_z discretamente, e o valor elevado de "p" (0,92) se faz notar. O avanço de 0,30 mm/rev tende a aumentar em média F_z devido ao aumento da área de contato cavaco-ferramenta. Devido ao menor valor de "p" (0,08) entre as variáveis, o avanço é a variável mais influente em F_z para os testes da terceira matriz de planejamento. A aplicação do fluido na forma de jorro tende em média a diminuir F_z.

De forma semelhante, a Tab. 4.34 mostra os resultados das médias para a força de avanço (F_z) no primeiro furo e os furos que representam os percentuais citados do desgaste da broca calculadas para cada teste e réplicas, de acordo com a quarta matriz de planejamento cujos resultados detalhados destas medições estão mostrados nas Tab. 7.93 a 7.100 do Anexo II (em CD).

Tabela 4.34 – Resultados: médias de F_z (paradas 0 x 2) e (seco x MQF)

Nº	Ensaio	Nº de paradas	vc (m/min)	f (mm/rev)	Sistema lubri-refrig.	F_z (N) (média)
1	1	0	45	0,20	S	1797,31
2	17	2	45	0,20	MQF	1526,63
3	6	0	65	0,20	MQF	1368,21
4	14	2	65	0,20	S	1393,26
5	5	0	45	0,30	MQF	1373,26
6	13	2	45	0,30	S	1904,06
7	2	0	65	0,30	S	1944,59
8	18	2	65	0,30	MQF	1983,89

A Tab. 4.35 ilustra o quadro de ANOVA para os resultados das médias da força de avanço (F_z) pertencente a quarta matriz de planejamento: (0 x 2) e (seco x MQF).

Tabela 4.35 – ANOVA para F_z para a quarta matriz de planejamento

	F_z	
Fator	Efeito	p
Nº de paradas: 0 → 2	81,12	0,73
Veloc. de corte: 45 → 65	22,17	0,92
Avanço: 0,20 → 0,30	280,10	0,28
Sist. lubri-refrig.: S → MQF	-196,81	0,42

De acordo com os resultados apresentados na Tab. 4.35, nenhuma variável se mostrou estatisticamente significativa na força de avanço, dentro de uma confiabilidade de 95%, mas observando os efeitos que revelam tendências, a aplicação de MQF tende a diminuir em média F_z de forma mais efetiva que as variáveis "Nº de paradas" e "velocidade de corte". Como comentado em ocasiões anteriores, essa situação deve ter como causa, a ação lubrificante que essa condição produz. Quando se utiliza duas paradas ao invés do corte direto, F_z tende em média a aumentar de forma discreta. O aumento da velocidade de corte também tende em média a aumentar F_z, discretamente, embora o alto valor de "p" esteja presente. O avanço de 0,30 mm/rev tende em média a aumentar de maneira acentuada F_z, quando comparado ao avanço de 0,20 mm/rev.

A Tab. 4.36 ilustra os resultados das médias para a força de avanço (F_z) no primeiro furo e os furos que representam os percentuais mencionados do desgaste da broca calculadas para cada teste e réplicas, em conformidade com a quinta matriz de planejamento cujos resultados detalhados destas medições estão mostrados nas Tab. 7.117 a 7.123 do Anexo II (em CD).

Tabela 4.36 – Resultados: médias de F_z (paradas 0 x 3) e (seco x jorro)

Nº	Ensaio	Nº de paradas	vc (m/min)	f (mm/rev)	Sistema lubri-refrig.	F_z (N) (média)
1	1	0	45	0,20	S	1797,31
2	21	3	45	0,20	J	977,51
3	4	0	65	0,20	J	1806,79
4	20	3	65	0,20	S	1361,62
5	3	0	45	0,30	J	2148,48
6	19	3	45	0,30	S	1483,86
7	2	0	65	0,30	S	1944,59
8	22	3	65	0,30	J	1462,65

A Tab. 4.37 ilustra o quadro de ANOVA para os resultados das médias da força de avanço (F_z) pertencente a quinta matriz de planejamento: (0 x 3) e (seco x jorro).

Tabela 4.37– ANOVA para F_z para a quinta matriz de planejamento

	F_z	
Fator	Efeito	p
Nº de paradas: 0 → 3	-602,89	0,02
Veloc. de corte: 45 → 65	42,12	0,75
Avanço: 0,20 → 0,30	274,09	0,11
Sist. lubri-refrig.: S → J	-47,99	0,72

Conforme os resultados apresentados na Tab. 4.37, somente a variável número de paradas se mostrou estatisticamente significativa para a força de avanço, dentro de uma confiabilidade de 95%, mas os efeitos revelam tendências para essas variáveis. O aumento da velocidade de corte tende em média a aumentar F_z discretamente, o valor relativamente elevado de "p" (0,75) confirma esta observação. O avanço de 0,30 mm/rev, mais uma vez, tende a aumentar em média F_z fortemente. A aplicação do fluido na forma de jorro tende em média a diminuir F_z de forma branda, também o valor relativamente alto de "p' (0,72) é notado. Quando se utiliza 3 paradas ao invés do corte direto, em média F_z tende a diminuir como esperado, pois como comentado, a parada com recuo tem o objetivo quebra do cavaco e melhorar penetração do jorro que, lubrificando induz à diminuição do esforço de usinagem.

A Tab. 4.38 mostra os resultados das médias para a força de avanço (F_z) no primeiro furo e os furos que representam os percentuais citados do desgaste da broca calculadas para cada teste e réplicas, de acordo com a sexta matriz de planejamento cujos resultados detalhados destas medições estão mostrados nas Tab. 7.140 a 7.147 do Anexo II (em CD).

Tabela 4.38 – Resultados: médias de F_z (paradas 0 x 3) e (seco x MQF)

Nº	Ensaio	Nº de paradas	vc (m/min)	f (mm/rev)	Sistema Lubri-refrig.	F_z (N) (média)
1	1	0	45	0,20	S	1797,31
2	23	3	45	0,20	MQF	1053,39
3	6	0	65	0,20	MQF	1368,21
4	20	3	65	0,20	S	1361,62
5	5	0	45	0,30	MQF	1373,26
6	19	3	45	0,30	S	1483,86
7	2	0	65	0,30	S	1944,59
8	24	3	65	0,30	MQF	1145,58

A Tab. 4.39 ilustra o quadro de ANOVA para os resultados das médias da força de avanço (F_z) pertencente a sexta matriz de planejamento: (0 x 3) e (seco x MQF).

Tabela 4.39 – ANOVA para F_z para a sexta matriz de planejamento

	F_z	
Fator	Efeito	p
Nº de paradas: 0 → 3	-359,73	0,01
Veloc. de corte: 45 → 65	28,05	0,66
Avanço: 0,20 → 0,30	91,69	0,21
Sist. lubri-refrig.: S → MQF	-411,74	0,01

Conforme os resultados apresentados na Tab. 4.39, as variáveis que se mostraram estatisticamente significativas na força de avanço, dentro de uma confiabilidade de 95% foram o número de paradas e o sistema lubri-refrigerante. Quando se utiliza 3 paradas ao invés do corte direto, F_z tende em média a diminuir em aproximadamente 360 N, como pode ser esperado para tal situação. O aumento da velocidade de corte tende em média a aumentar F_z. Possivelmente nestes ensaios a maior velocidade de avanço, promovida pelo aumento de rotação aumenta o esforço de penetração mais significativamente que o efeito benéfico da geração de calor pelo aumento da velocidade de corte. O avanço de 0,30 mm/rev tende em média a aumentar F_z, quando comparado ao avanço de 0,20 mm/rev. A aplicação do fluido na forma de jorro tende em média a diminuir F_z aproximadamente em 412 N.

A Tab. 4.40 mostra os valores das respostas vida (nº médio de furos usinados), qualidade (R_a, R_z, erro de cilindricidade e circularidade) e força F_z *versos* número de paradas da ferramenta, a Fig. 4.13 ilustra graficamente a Tab. 4.40. Para construção do gráfico desta figura com número de parada zero (0), foi necessário refazer o ensaio de número seis com avanço 0,30 mm/rev. Os dados de medições do referido ensaio se encontram nas Tab. 7.244 a 7.246 do Anexo II (em CD).

Tabela 4.40 – Valores de referência para os gráficos da Fig. 4.13

Furação	Contínua	Intermitente		
Parâmetros	65m/min - 0,30 mm/rev - MQF			
Ensaio nº	6	12	18	24
Número de paradas	0	1	2	3
Vida (média de nº furos)	2,70	3,3	2,30	2,70
Ra (µm)	4,43	4,06	4,19	3,90
Rz (µm)	32,65	26,90	38,92	28,89
Circularidade (µm)	48,89	67,76	67,76	54,92
Cilindricidade (µm)	70,61	93,24	93,24	73,42
Força de avanço (x 10^{-2} N)	1503,45	2018,99	1983,89	1145,58

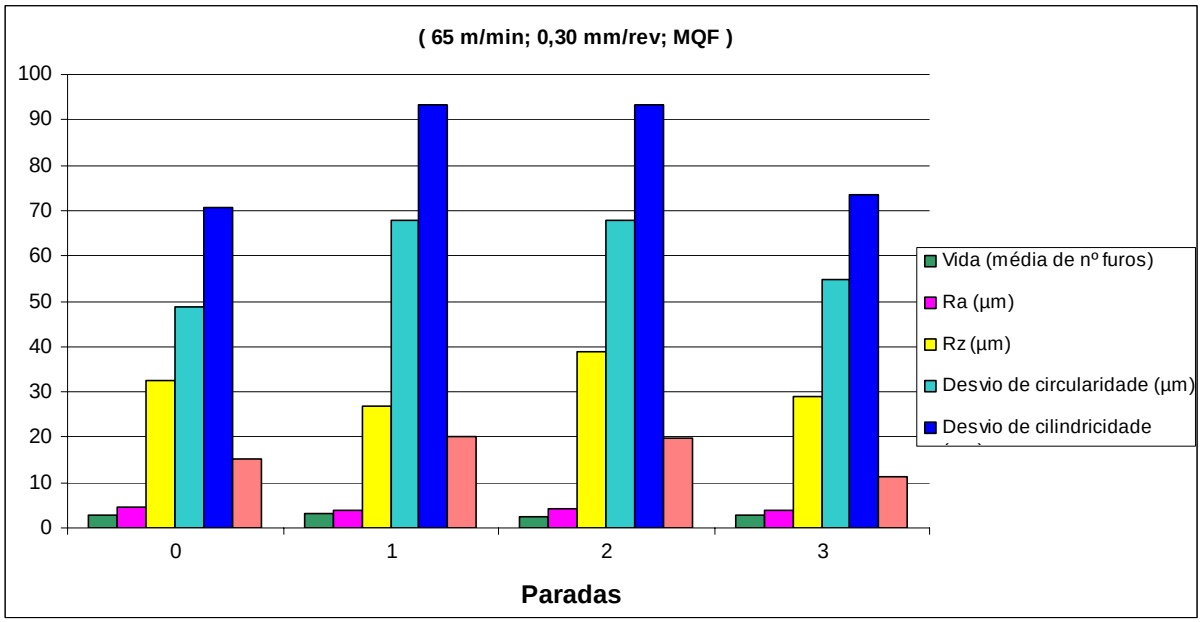


Figura 4.13 – Gráfico comparativo do número de paradas *versos* variáveis de saída

Pode-se observar pelo gráfico da Fig. 4.13 que a vida da ferramenta (regiões esverdeadas) tem um comportamento semelhante para a furação direta (0) e furação com 3 paradas, sendo que o pior resultado acontece para a furação com 2 paradas e o melhor para a furação com 1 parada da ferramenta. O número de paradas praticamente não afeta a rugosidade R_a (regiões em cores lilás) quando se utiliza os parâmetros de corte inscritos no gráfico, já para a rugosidade R_z (regiões em cores amarelas), a furação com 2 paradas é o pior resultado (maior valor) e com 1 parada a melhor (menor valor) para essa condição de corte. O melhor resultado (menor valor) para a circularidade (regiões em cores azuis claras) é a furação direta (0), e os piores (maiores valores) são para 1 e 2 paradas. De modo semelhante, a cilindricidade (regiões em cores azuis escuras) tem um resultado melhor (menor valor) quando se utiliza a furação direta (0), e pior (maior valor) quando se utiliza 1 e 2 paradas. Os resultados para a força de avanço (regiões em cores rosa escuras) acontecem nas mesmas situações que os das rugosidades e dos erros de forma.

4.2.5. Cálculo do tempo de usinagem

A seguir será apresentado o cálculo do aumento no tempo de usinagem quando se usa o número de paradas 1, 2 e 3, em comparação com o corte direto para um furo e simulação do aumento do tempo para 2000 furos. A Tab. 4.41 mostra os ensaios escolhidos e suas respectivas condições de corte nesta etapa para os cálculos do tempo de usinagem que foram realizados.

Tabela 4.41 – Ensaios selecionados: cálculo do tempo de usinagem na etapa 1: Recuo = 1 mm

Ensaios	Nº de paradas	vc (m/min)	f (mm/rev)	Sistema lubri-refrigerante
2	0	65	0,30	Seco
10	1	65	0,30	Jorro
16	2	65	0,30	Jorro
22	3	65	0,30	Jorro

a) Ciclo sem interrupções no meio de um furo (furação direta)

Nesta furação a ferramenta furou com velocidade de avanço programada até a profundidade final de furação introduzida (40 mm), Fig. 4.14. O ciclo gera a seguinte seqüência de movimentos:

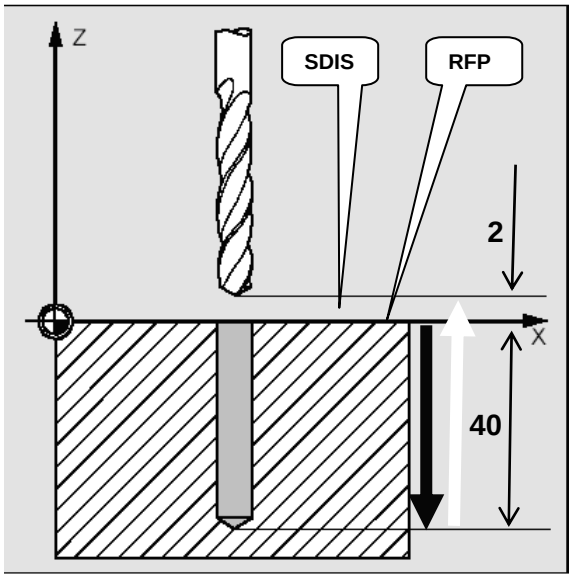


Figura 4.14 – Exemplo de um ciclo de furação direta

- A ferramenta aproxima até o plano de referência (RFP) descontado da distância segura (2 mm) com Va_{G0};
- Vai para a profundidade final de furação (Z -40) com a função G1 e o avanço programado (0,30 mm/rev) numa linha anterior;
- Retorna até ao plano de referência descontado da distância segura (SDIS: 2 mm) com o avanço rápido (Va_{G0});
- Avança para o próximo furo com o avanço rápido (Va_{G0}), e em seguida repete o ciclo.

Velocidade de avanço rápido (Va_{G0}) = 20 m/min; Curso do cabeçote (eixo Z) = 508 mm

Tempo de aproximação e afastamento (t_a) = $\frac{Deslocamento}{Va_{G0}} = \frac{508}{20000}$ = 0,0254 min

Tempo de corte (tc) = $\frac{RFP + SDIS}{Va_{G1}}$, Avanço (Va) = n.f; Rotação $(n) = \frac{vc.1000}{\pi.d}$

Sendo: Profundidade total de corte (RFP + SDIS) = 42 mm; Diâmetro da broca (∅): 10 mm;

Velocidade de corte: (vc): 65 m/min;

Assim: $Rotação\,(n) = \frac{65.1000}{\pi.10}$ = 2069 RPM;

Avanço = 2069 x 0,30 = 620,7 mm/min;

Tempo de corte (t_c) = $\frac{42}{620,7}$ = 0,0677 min;

Tempo de retorno da ferramenta (t_{rf}) = $\frac{42}{20000}$ = 2,1 x 10^{-3}

Tempo total de usinagem de um furo (t_{tfuro}) = $t_a + t_c + t_{rf}$ = 0,025 + 0,068 + 2,1 x 10^{-3} ⇒

⇒ t_{tfuro} = 0,0948 min = 5,688 seg

b) Ciclo com interrupções no meio de um furo

Nesta furação a ferramenta furou com a rotação e avanço dos eixos até a profundidade programada, de forma que a profundidade final foi atingida com sucessivas penetrações, sendo que a ferramenta recuava um milímetro para quebrar o cavaco.

- Cálculo do tempo de corte de um furo para uma parada Fig. 4.15 (ciclo intermitente)

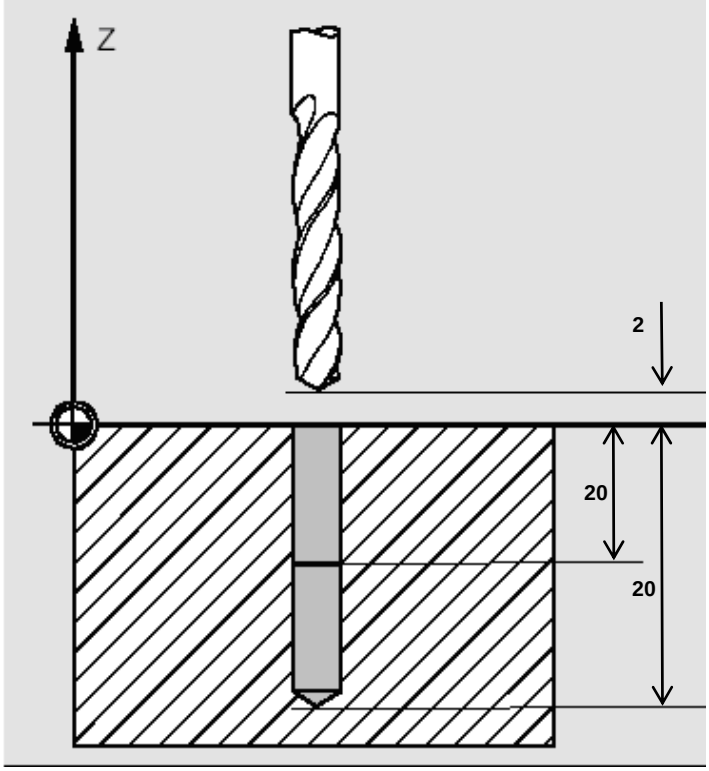


Figura 4.15 – Exemplo de um ciclo de furação com uma parada

O ciclo (quebra de cavacos ou pica-pau) com uma parada gera o seguinte movimento:

- A ferramenta aproxima até o plano de referência (RFP) descontado da distância segura (2 mm) com Va_{G0};
- Vai para a primeira profundidade de furação (Z -20) com avanço de corte (G1) programado quando da chamada de ciclo;
- Recua 1 mm com Va_{G0} (decremento);
- Avança 0,4 mm com Va_{G0} (incremento);
- Vai para a profundidade final de furação (Z -40) com a função G1 e o avanço programado (0,30 mm/rev) numa linha anterior;
- Retorna até ao plano de referência descontado da distância segura (SDIS: 2 mm) com Va_{G0};
- Avança para o próximo furo, e em seguida repete o ciclo.

Tempo de corte para primeira profundidade (t_{c1}) = $\frac{22}{620,7}$ = 0,0354 min.

Tempo de corte para segunda profundidade (t_{c2}) = $\frac{20,6}{620,7}$ = 0,0332 min

T. de increm. (t_{r1}) = $\frac{1}{20000}$ = 5,0 x 10^{-5} min; T. de decremento (t_{r2}) = $\frac{0,4}{20000}$ = 2,0 x 10^{-5} min

Tempo de retorno da ferramenta (t_{rf}) = $\frac{42}{20000}$ = 2,1 x 10^{-3} min

Tempo total de usinagem de um furo (t_{tfuro}) = $t_a + t_{c1} + t_{c2} + t_{r1} + t_{r2} + t_{rf}$

t_{tfuro} = 0,025 + 0,0354 + 0,0332 + 5,0 x 10^{-5} + 2,0 x 10^{-5} + 2,1 x 10^{-3} = 0,0957 min = 5,742 seg

- Cálculo do tempo de corte de um furo para duas paradas Fig. 4.16 (ciclo intermitente)

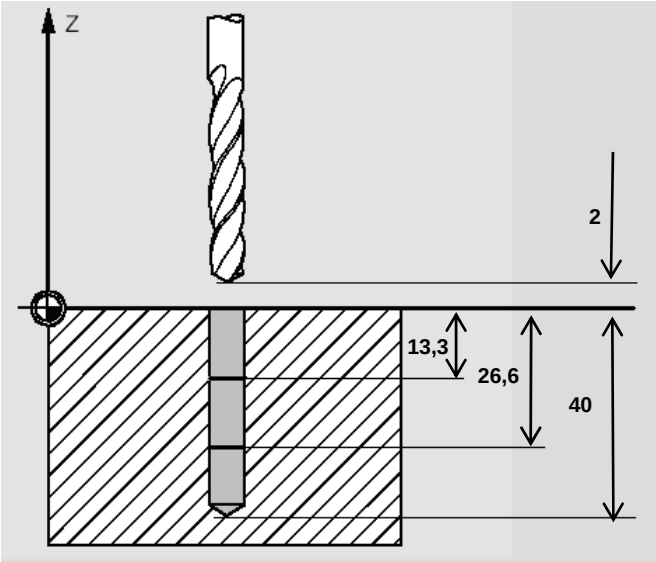


Figura 4.16 – Exemplo de um ciclo de furação com duas paradas

O ciclo (quebra de cavacos ou pica-pau) com duas paradas gera o seguinte movimento:

- A broca aproxima até o plano de referência com Va_{G0}, descontando uma distância segura para evitar choques;
- Vai para a primeira profundidade de furação (Z -13,33) com avanço de corte (G1) programado quando da chamada de ciclo;
- Recua 1 mm com Va_{G0}. (incremento);
- Avança 0,4 mm com Va_{G0}. (decremento);
- Vai para a segunda profundidade de furação (Z -26,66) com a função G1 e o avanço programado (0,30 mm/rev) numa linha anterior;

- Recua 1 mm com Va_{G0}. (incremento);
- Avança 0,4 mm com Va_{G0}. (decremento);
- Vai para a profundidade final de furação (Z -40) com a função G1 e o avanço programado (0,30 mm/rev) numa linha anterior;
- Retorna até ao plano de referência descontado da distância segura (SDIS: 2 mm) com Va_{G0};
- Avança para o próximo furo, e em seguida repete o ciclo.

Tempo de corte para primeira profundidade (t_{c1}) = $\frac{15,33}{620,7}$ = 0,0247 min

Tempo de corte para segunda (t_{c2}) e terceira profundidade (t_{c3}) = $\frac{13,93}{620,7}$ = 0,0224 min

Tempo total de usinagem de um furo (t_{tfuro}) = $t_a + t_{c1} + t_{c2} + t_{c3} + 2t_{r1} + 2t_{r2} + t_{rf}$

t_{tfuro} = 0,025 + 0,0247 + 0,0224 + 0,022 + 2(5,0 x 10^{-5}) + 2(2,0 x 10^{-5}) + 2,1 x 10^{-3}

$\Rightarrow$ t_{tfuro} = 0,0967 min = 5,804 seg

- Cálculo do tempo de corte de um furo para três paradas Fig. 4.17 (ciclo intermitente)

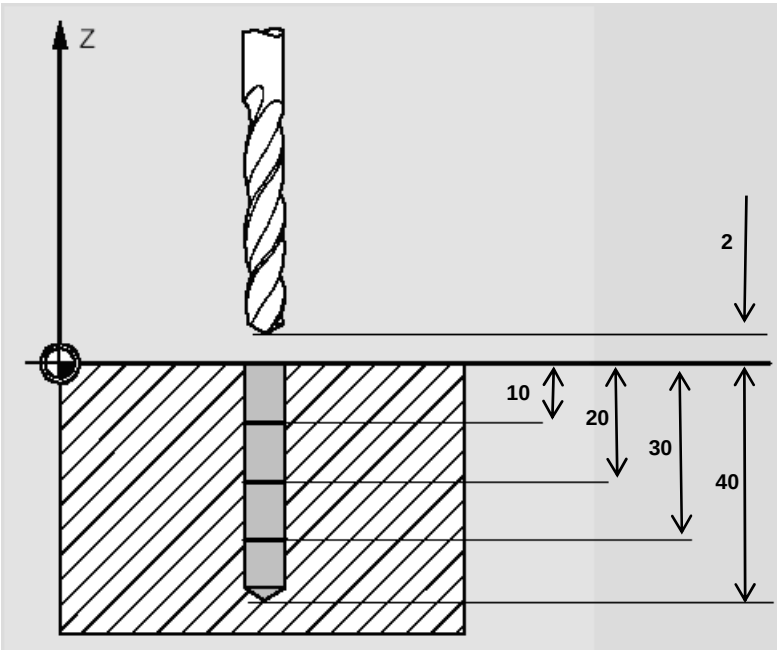


Figura 4.17 – Exemplo de um ciclo de furação com três paradas

O ciclo (quebra de cavacos ou pica-pau) com três paradas gera o seguinte movimento:

- A broca aproxima até o plano de referência com Va_{G0}, descontando uma distância segura para evitar choques;
- Vai para a primeira profundidade de furação (Z -10) com avanço de corte (G1) programado quando da chamada de ciclo;
- Recua 1 mm com Va_{G0} (incremento);
- Avança 0,4 mm com Va_{G0} (decremento);
- Vai para a segunda profundidade de furação (Z -20) com a função G1 e o avanço programado (0,30 mm/rev) numa linha anterior;
- Recua 1 mm com Va_{G0} (incremento);
- Avança 0,4 mm com Va_{G0} (decremento);
- Vai para a terceira profundidade de furação (Z -30);
- Recua 1 mm com Va_{G0} (incremento);
- Avança 0,4 mm com Va_{G0} (decremento);
- Vai para a profundidade final de furação (Z -40) com a função G1 e o avanço programado (0,30 mm/rev) numa linha anterior;
- Retorna até ao plano de referência descontado da distância segura (SDIS: 2 mm) com Va_{G0};
- Avança para o próximo furo, e em seguida repete o ciclo.

Tempo de corte para primeira profundidade (t_{c1}) = $\frac{12}{620,7}$ = 0,0193 min.

Tempo de corte para [segunda profundidade (t_{c2}), terceira profundidade (t_{c3}) e quarta profundidade (t_{c4})] = $\frac{10,6}{620,7}$ = 0,0171 min.

Tempo total de usinagem de um furo (t_{tfuro}) = $t_a + t_{c1} + t_{c2} + t_{c3} + t_{c4} + 3t_{r1} + 3t_{r2} + t_{rf}$

$t_{tfuro} = 0,025 + 0,0193 + 0,0171 + 0,0171 + 0,0171 + 3(5,0 \times 10^{-5}) + 3(2,0 \times 10^{-5}) + 2,1 \times 10^{-3}$

$\Rightarrow t_{tfuro} = 0,0979 =$ 5,875 seg

Portanto: - tempo para furação:

- direta: 5,688 seg
- com uma parada: 5,742 seg
- com duas paradas: 5,804 seg
- com três paradas: 5,875 seg

O tempo total perdido na aplicação da estratégia pica-pau na usinagem de um furo (t_{ec}):

Tempo total perdido na furação:

- com 1 parada: 5,742 – 5,688 = 0,054 seg
- com 2 paradas: 5,804 – 5,688 = 0,016 seg
- com 3 paradas: 5,875 – 5,688 = 0,187 seg

Em uma situação onde a exigência de produção é a furação de um lote de 2000 peças com características semelhantes às anteriormente citadas. O tempo total perdido em relação à furação direta quando se programa o ciclo para:

- 1 parada é de 0,054 x 2000 = 108 seg;
- 2 paradas é de 0,116 x 2000 = 232 seg;
- 3 paradas, é de 0,187 x 2000 = 374 seg.

4.3. Resultados da Etapa 2

Nesta etapa foram testadas duas situações de confronto entre os recuos da broca (3mm x total e 1 mm x 3 mm), duas velocidades de corte (45 e 65 m/min), dois avanços (0,20 e 0,30 mm/volta) e três sistemas lubri-refrigerantes (seco, jorro e MQF). As matrizes de planejamento para a etapa 2 (matrizes 7 a 10) foram mostradas na Tab. 4.2.

4.3.1. Vida das ferramentas de corte

A Tab. 4.42 exibe a sétima matriz de planejamento com os resultados dos ensaios para os confrontos do recuo (3 mm x Total) e do sistema lubri-refrigerante (seco x jorro).

Tabela 4.42 – Resultados de vida (média do n° de furos usinados) para as brocas

Nº	Ensaio	Recuo (mm)	vc (m/min.)	f (mm/rev.)	S. lubri -refrig.	Teste	1º Rep.	2º Rep.	Média
1	1	3	45	0,20	S	27	15	09	17
2	9	total	45	0,20	J	180	193	180	184
3	4	3	65	0,20	J	5	8	8	7
4	8	total	65	0,20	S	3	4	15	7
5	3	3	45	0,30	J	55	60	68	61
6	7	total	45	0,30	S	22	21	54	32
7	2	3	65	0,30	S	1	2	4	2
8	10	total	65	0,30	J	20	26	21	22

Para proceder à análise estatística dos dados, nesta etapa também foi utilizado o programa Statistica® 7.0 que gerou o quadro de ANOVA (análise de variância).

A Tab. 4.43 exibe o resultado da análise de variância dos dados na sétima matriz de planejamento, para as seguintes variáveis de entrada: recuo (3 mm x total), velocidade de corte (45 m/min x 65 m/min), avanço (0,20 mm/rev x 0,30 mm/rev) e sistema lubri-refrigerante (seco x jorro).

Tabela 4.43 - Principais efeitos na vida das brocas para a sétima matriz

Fator	Efeitos	p
Recuo: 3 mm $\rightarrow$ Total	39,75	0,34
Veloc. de corte: 45 $\rightarrow$ 65	-63,92	0,17
Avanço: 0,20 $\rightarrow$ 0,30	-24,42	0,54
Sist. lubri-refrig.: S $\rightarrow$ J	53,92	0,22

A Tab. 4.43 indica que nenhuma variável foi significativa para uma confiabilidade de 95% devido aos mesmos motivos já comentados para a Etapa 1. Mas, observando os efeitos podem-se destacar tendências para essas variáveis. Quando se passa da furação com percurso de recuo de 3 mm para furação com recuo total (Fig. 4.18a), o número de furos em média tende a aumentar (40 furos) como esperado, pois o recuo total permite uma maior penetração do jorro e maior facilidade para a evacuação dos cavacos. Quando a velocidade de corte passa de 45 m/min para 65 m/min o número de furos em média tende a diminuir (64 furos) e o comentário pertinente já foi caracterizado quando se deparou com situação semelhante na Etapa 1 (Fig.4.18b). O aumento do avanço de 0,20 mm/rev para 0,30 mm/rev tende a diminuir a vida das brocas, redução de aproximadamente 24 furos (Tab. 4.43 e Fig. 4.18c). Esse fato relembra as implicações decorrentes do aumento da área de contato ferramenta-peça. Com o uso de jorro, ao invés do corte a seco, houve tendência de aumento em média do número de furos usinados (54 furos) (Fig. 4.18d). O comentário é o mesmo de quando se tratou de situações semelhantes na etapa1.

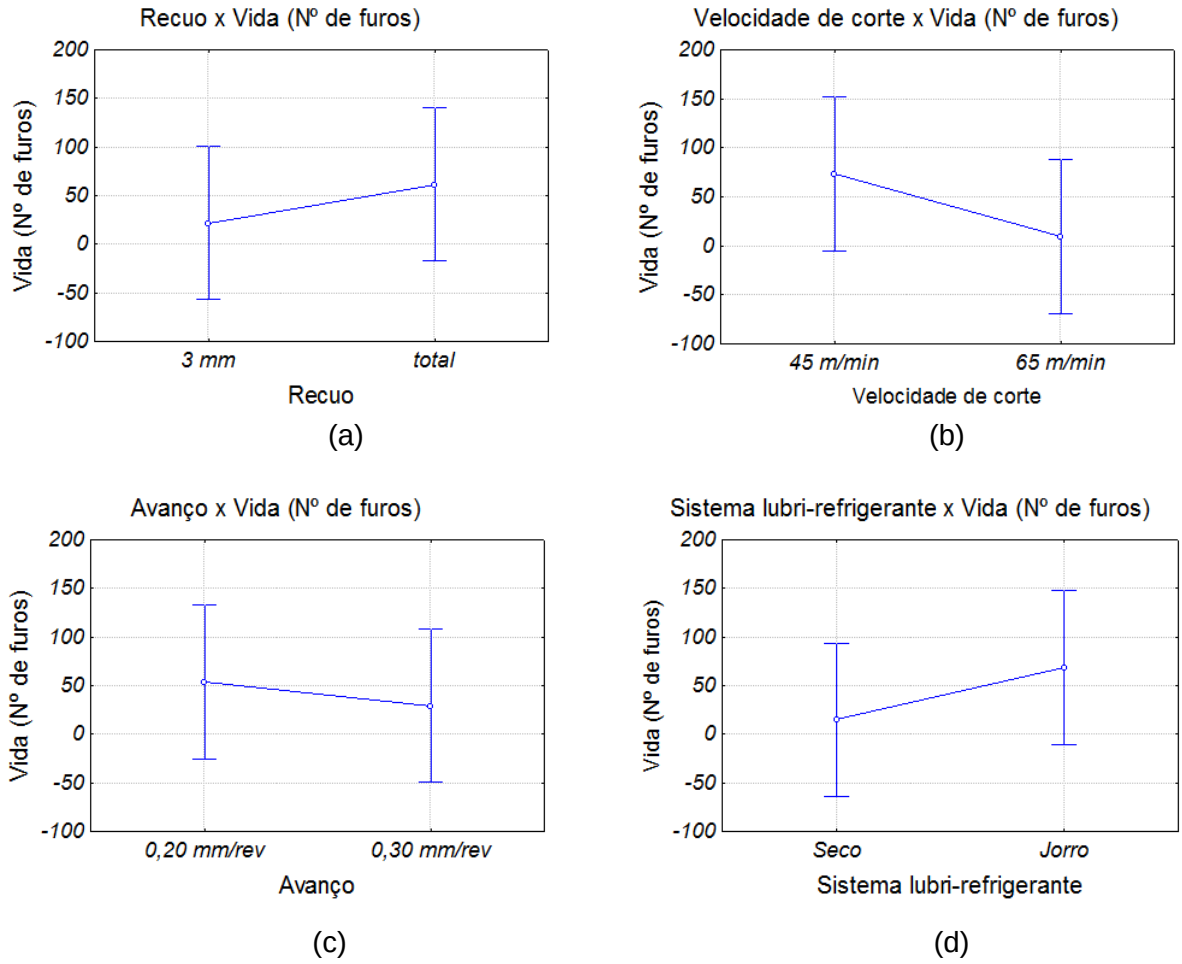


Figura 4.18 – Gráficos relacionando a vida das brocas com as variáveis de entrada: (a) Recuo; (b) Velocidade de corte; (c) Avanço; (d) Sistema lubri-refrigerante

A Tab. 4.44 exibe a oitava matriz de planejamento com os resultados dos ensaios para os confrontos do recuo (3 mm x Total) e do sistema lubri-refrigerante (seco x MQF).

Tabela 4.44 – Resultados de vida (média do n° de furos usinados) para as brocas

Nº	Ensaio	Recuo (mm)	vc (m/min.)	f (mm/rev.)	S. lubri -refrig.	Teste	1º Rep.	2º Rep.	Média
1	1	3	45	0,20	S	27	15	09	17
2	11	total	45	0,20	MQF	300	39	101	147
3	6	3	65	0,20	MQF	4	4	4	4
4	8	total	65	0,20	S	3	4	15	7
5	5	3	45	0,30	MQF	22	35	21	26
6	7	total	45	0,30	S	22	21	54	32
7	2	3	65	0,30	S	1	2	4	2
8	12	total	65	0,30	MQF	3	4	3	3

A Tab. 4.45 mostra os resultados dos principais efeitos obtidos para os dados da oitava matriz de planejamento para o confronto seco *versos* MQF.

Tabela 4.45 - Principais efeitos na vida das brocas para a oitava matriz

Fator	Efeitos	p
Recuo: 3 mm $\rightarrow$ total	35,09	0,33
Veloc. de corte: 45 $\rightarrow$ 65	-51,26	0,19
Avanço: 0,20 $\rightarrow$ 0,30	-27,76	0,42
Sist. lubri-refrig.: S $\rightarrow$ MQF	30,26	0,39

De forma semelhante à Tab. 4.45, os resultados da Tab. 4.46 indicam também que nenhuma variável foi significativa para uma confiabilidade de 95% devido aos mesmos motivos já esclarecidos. Quando se passa da furação com percurso de recuo de 3 mm para furação com recuo total (Fig. 4.19a), o número de furos tende em média a aumentar (35 furos) como se esperava devido à maior facilidade de penetração do óleo e evacuação dos cavacos. Quando a velocidade de corte passa de 45 m/min para 65 m/min o número de furos (51 furos) em média tende a diminuir (Fig.4.19b) e a possível explicação já foi comentada quando se tratou de situações semelhante para a etapa 1. O aumento do avanço de 0,20 mm/rev para 0,30 mm/rev também diminuiu o número de furos (28 furos) em média (Fig. 4.19c). O comentário se repete de forma semelhante àquele que emitido em outra oportunidade. Com o uso de MQF, ao invés do corte a seco, também houve o aumento do número de furos (30 furos) em média (Fig. 4.19d). Como comentado anteriormente, esse fato pode ser atribuído à diminuição da temperatura, a maior lubrificação e a remoção dos cavacos das imediações do furo que esta outra condição de corte promove.

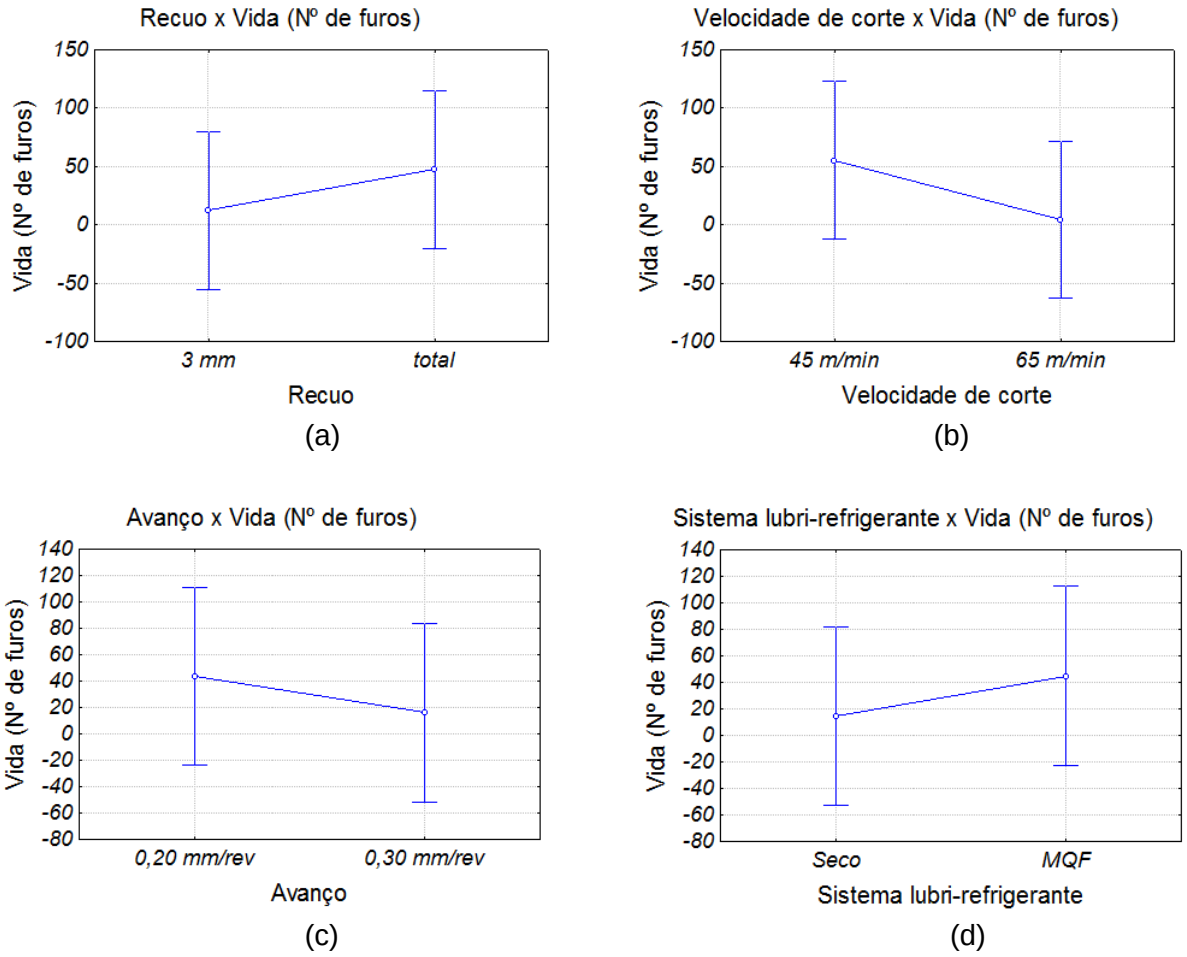


Figura 4.19 – Gráficos relacionando a vida das brocas com as variáveis de entrada: (a) Recuo; (b) Velocidade de corte; (c) Avanço; (d) Sistema lubri-refrigerante

A Tab. 4.46 exibe a nona matriz de planejamento com os resultados dos ensaios para os confrontos do recuo (1 mm x 3 mm) e do sistema lubri-refrigerante (seco x jorro).

Tabela 4.46 – Resultados de vida (média do n° de furos usinados) para as brocas

Nº	Ensaio	Recuo (mm)	vc (m/min.)	f (mm/rev.)	S. lubri -refrig.	Teste	1º Rep.	2º Rep.	Média
1	1	3	45	0,20	S	27	15	9	17
2	21	1	45	0,20	J	62	110	305	159
3	4	3	65	0,20	J	5	8	8	7
4	20	1	65	0,20	S	3	3	3	3
5	3	3	45	0,30	J	55	60	68	61
6	19	1	45	0,30	S	45	34	42	40
7	2	3	65	0,30	S	1	2	4	2
8	22	1	65	0,30	J	4	6	6	5

A Tab. 4.47 exibe o resultado da análise de variância dos dados na nona matriz de planejamento, para as seguintes variáveis de entrada: recuo (1 mm x 3 mm), velocidade de corte (45 m/min x 65 m/min), avanço (0,20 mm/rev x 0,30 mm/ver) e sistema lubri-refrigerante (seco x jorro).

Tabela 4.47 - Principais efeitos na vida das brocas para a nona matriz

Fator	Efeitos	p
Recuo: 1 mm $\rightarrow$ 3 mm	-30,07	0,40
Veloc. de corte: 45 $\rightarrow$ 65	-64,92	0,12
Avanço: 0,20 $\rightarrow$ 0,30	-19,27	0,58
Sist. lubri-refrig.: S $\rightarrow$ J	42,42	0,26

A Tabela 4.47 indica que nenhuma variável foi significativa para uma confiabilidade de 95% devido aos mesmos motivos já comentados para a Etapa 1, mas observando os efeitos para essas variáveis podem-se destacar tendências. Quando se passa da furação com percurso de recuo de 1 mm para furação com percurso de recuo de 3 mm (Fig. 4.20a), o número de furos em média tende a diminuir (30 furos). Com o percurso de recuo aumentado em dois milímetros, a possibilidade de penetração do jorro e saída dos cavacos deveria ser ainda maior, melhorando ainda mais as condições de corte, mas esse fato não ocorreu. Quando a velocidade de corte passa de 45 m/min para 65 m/min o número de furos em média tende a diminuir (65 furos) e o comentário ainda é o mesmo que se viu em situação semelhante à da sétima matriz de planejamento (Fig.4.20b). O aumento do avanço de 0,20 mm/rev para 0,30 mm/rev tende a diminuir (19 furos) em média o número de furos (Fig. 4.20c). Esse fato relembra as implicações decorrentes do aumento da área de contato ferramenta-peça. Com o uso de jorro, ao invés do corte a seco, houve também uma tendência de aumento em média do número de furos usinados (42 furos) (Fig. 4.20d). As explicações dadas anteriormente para situações semelhantes prevalecem também para a situação atual.

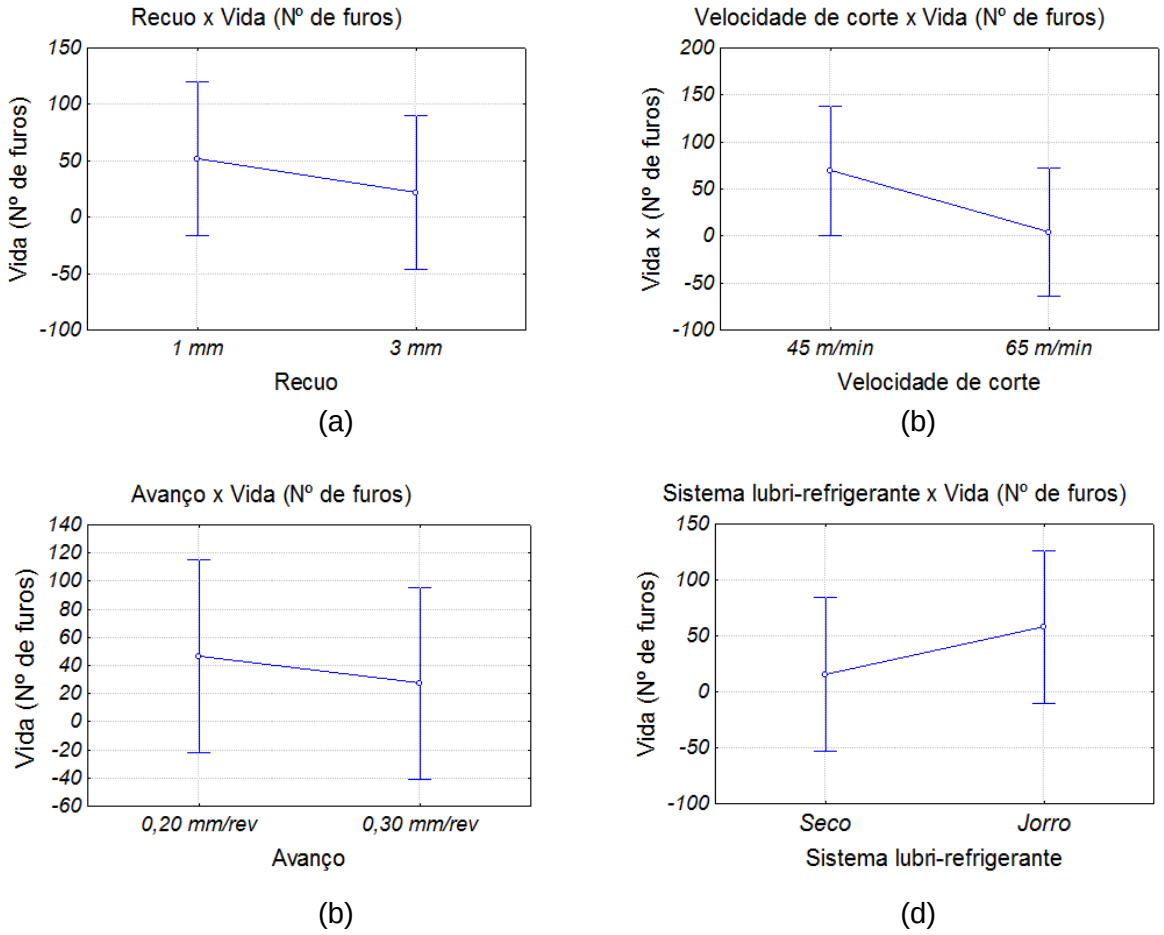


Figura 4.20 – Gráficos relacionando a vida das brocas com as variáveis de entrada: (a) Recuo; (b) Velocidade de corte; (c) Avanço; (d) Sistema lubri-refrigerante

A Tab. 4.48 exibe a décima matriz de planejamento com os resultados dos ensaios para os confrontos do recuo (1 mm x 3 mm) e do sistema lubri-refrigerante (seco x MQF).

Tabela 4.48 – Resultados de vida (média do n° de furos usinados) para as brocas

Nº	Ensaio	Recuo (mm)	vc (m/min.)	f (mm/rev.)	S. lubri -refrig.	Teste	1º Rep.	2º Rep.	Média
1	1	3	45	0,20	S	27	15	9	17
2	23	1	45	0,20	MQF	108	255	139	167
3	6	3	65	0,20	MQF	4	4	4	4
4	20	1	65	0,20	S	3	3	3	3
5	5	3	45	0,30	MQF	22	35	21	26
6	19	1	45	0,30	S	45	34	42	40
7	2	3	65	0,30	S	1	2	4	2
8	24	1	65	0,30	MQF	3	3	2	3

A Tab. 4.49 exibe o resultado da análise de variância dos dados na décima matriz de planejamento, para as seguintes variáveis de entrada: recuo (1 mm x 3 mm), velocidade de corte (45 m/min x 65 m/min), avanço (0,20 mm/rev x 0,30 mm/rev e sistema lubri-refrigerante (seco x MQF).

Tabela 4.49 – Principais efeitos na vida das brocas para a décima matriz

Fator	Efeitos	p
Recuo: 1 mm $\rightarrow$ 3 mm	-41,00	0,33
Veloc. de corte: 45 $\rightarrow$ 65	-59,64	0,19
Avanço: 0,20 $\rightarrow$ 0,30	-30,00	0,46
Sist. lubri-refrig.: S $\rightarrow$ MQF	34,34	0,40

A Tab. 4.49 indica que nenhuma variável foi significativa para uma confiabilidade de 95% devido aos mesmos motivos já comentados para a etapa 1, mas observando os efeitos, tendências para essas variáveis podem ser reveladas. Quando se passa da furação com o percurso de recuo de 1 mm para furação com percurso de recuo de 3 mm (Fig. 4.21a), o número de furos usinados em média tende a diminuir (41 furos). O comentário é o mesmo que se fez para a nona matriz de planejamento. Quando a velocidade de corte foi passa de 45 m/min para 65 m/min o número de furos usinados em média tende a diminuir de 60 furos. A situação é a mesma que se deu para a matriz anterior. Portanto o comentário também é o mesmo (Fig.4.21b). O aumento do avanço de 0,20 mm/rev para 0,30 mm/rev tende a diminuir a vida das brocas em média de 30 furos (Fig. 4.21c). Em todas as situações semelhantes ocorreu o mesmo fato. Portanto, o comentário continua o mesmo. Com o uso da MQF, ao invés do corte a seco, houve também uma tendência de aumento do número de furos em média (Figura 4.21d). O comentário para esta situação prevalece o mesmo como se viu em situações semelhantes.

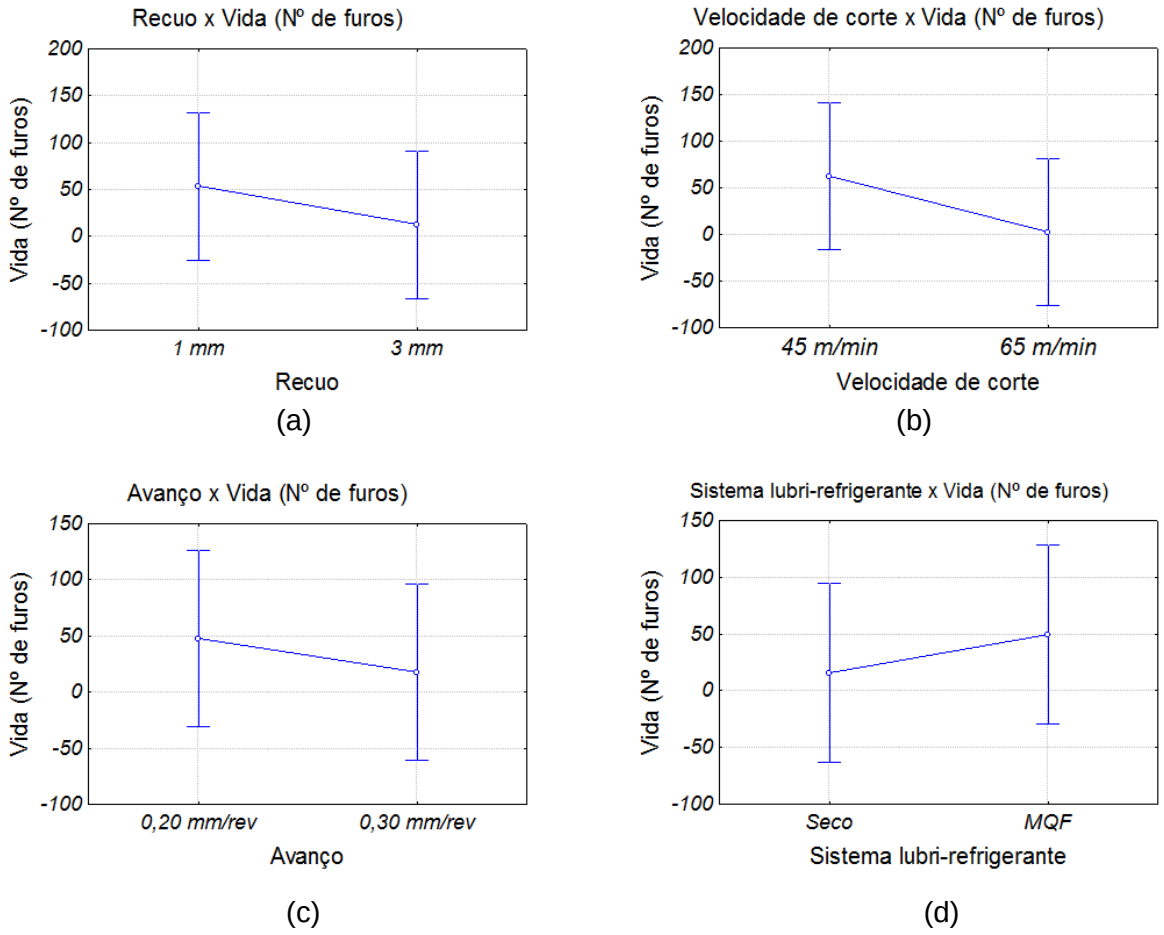


Figura 4.21 – Gráficos relacionando a vida das brocas com as variáveis de entrada: (a) Recuo; (b) Velocidade de corte; (c) Avanço; (d) Sistema lubri-refrigerante

Os resultados da vida das brocas na etapa 2 também permitem inferir que o corte com fluido aplicado na forma de jorro é superior que o sistema MQF, que por sua vez é melhor que o corte a seco. Esta dedução é possível pelo fato do aumento do número de furos quando se passa da usinagem a seco para jorro ser maior que quando se passa da usinagem a seco para MQF. Isto significa que a condição jorro é mais eficiente que a MQF para exercer suas principais funções de refrigeração e lubrificação.

Os ensaios cuja combinação de variáveis de entrada levou as brocas às maiores vidas médias registradas na etapa 2 são mostrados na Tab. 4.50. Como se encontra registrado na referida tabela, o ciclo de furação com recuo total foi o que registrou a maior vida média para a broca nesta etapa.

Tab. 4.50 – Maiores vidas médias para as brocas na Etapa 2

Ensaio	Recuo (mm)	vc (m/min)	f (mm/rev)	S. lubri -refrig.	Média
3	3	45	0,30	J	61
5	3	45	0,30	MQF	26
7	total	45	0,30	S	32
9	total	45	0,20	J	184
10	total	65	0,30	J	22
11	total	45	0,20	MQF	147

4.3.2. Qualidades dos furos usinados

A Tab. 4.51 ilustra os resultados das médias de R_a, R_z, erro de circularidade e erro de cilindricidade para o primeiro furo e os furos que representam 25%, 50%, 75% e 90% do desgaste da broca, calculadas para cada teste e réplicas dos ensaios da sétima matriz de planejamento da Etapa 2. Os dados detalhados destas medições estão mostrados nas Tab. 7.148 a 7.163 do Anexo II (em CD).

Tabela 4.51 – Médias dos parâmetros de qualidade (recuo 3 mm x total) e (seco x jorro)

Nº	Ensaio	Recuo (mm)	vc (m/min)	f (mm/rev)	S. lubri -refrig.	R_a (µm) (média)	R_z (µm) (média)	Circul. (µm) (média)	Cilindr. (µm) (média)
1	1	3	45	0,20	S	5,75	27,30	52,13	64,43
2	9	total	45	0,20	J	3,16	25,02	45,45	59,42
3	4	3	65	0,20	J	3,23	23,60	36,49	44,38
4	8	total	65	0,20	S	2,90	22,29	52,15	67,61
5	3	3	45	0,30	J	2,56	27,33	39,71	59,64
6	7	total	45	0,30	S	7,95	27,2	42,32	51,13
7	2	3	65	0,30	S	3,07	22,04	70,67	88,07
8	10	total	65	0,30	J	3,22	3,22	39,86	50,44

A Tab. 4.52 mostra o resultado da análise de variância da sétima matriz de planejamento para os parâmetros R_a, R_z, erro de circularidade e erro de cilindricidade.

Tabela 4.52 – Principais efeitos: R_a, R_z, erro de circularidade e erro cilindricidade

	R_a		R_z		Circularidade		Cilindricidade	
Fator	Efeito	p	Efeito	p	Efeito	p	Efeito	p
Recuo: 3 mm → total	0,66	0,65	-5,64	0,32	-4,81	0,58	-6,98	0,57
Veloc. de corte: 45 → 65	-1,75	0,27	-8,93	0,16	4,89	0,57	3,97	0,74
Avanço: 0,20 → 0,30	0,44	0,76	-4,61	0,40	1,59	0,85	3,36	0,78
Sist. lubri-refrig.: S → J	-1,88	0,25	-4,92	0,38	-13,94	0,17	-14,34	0,28

De acordo com os dados apresentados na Tab. 4.52 que caracteriza o sistema lubri-refrigerante seco *versus* jorro, nenhuma variável se mostrou estatisticamente influente para a rugosidade e para os erros de formas, dentro de uma confiabilidade de 95%. Mas observando os efeitos que revelam tendências, quando se utiliza o recuo total da ferramenta, a maioria dos parâmetros de qualidade avaliados tende em média a diminuir, confirmando o fato de melhor possibilidade de eliminação do cavaco e melhor penetração do fluido refrigerante. Quando se utiliza o jorro, a tabela indica a melhora da qualidade dos furos para todos os parâmetros. O aumento da velocidade de corte parece melhorar a qualidade dos furos quando se trata da rugosidade.

A Tab. 4.53 ilustra os resultados das médias de R_a, R_z, erro de circularidade e erro de cilindricidade para o primeiro furo e os furos que representam os percentuais já citados do desgaste da broca calculadas para cada teste e réplicas, conforme a oitava matriz de planejamento cujos resultados detalhados destas medições estão mostrados nas Tab. 7.172 a 7.187 do Anexo II (em CD).

Tabela 4.53 – Médias dos parâmetros de qualidade (recuo 3 mm x total) e (seco x MQF)

Nº	Ensaio	Recuo (mm)	vc (m/min)	f (mm/rev)	S. lubri -refrig.	R_a (µm) (média)	R_z (µm) (média)	Circul. (µm) (média)	Cilindr. (µm) (média)
1	1	3	45	0,20	S	5,75	27,30	52,13	64,43
2	11	total	45	0,20	MQF	4,34	27,67	66,38	94,42
3	6	3	65	0,20	MQF	1,40	24,65	57,77	81,90
4	8	total	65	0,20	S	2,90	22,29	52,15	67,61
5	5	3	45	0,30	MQF	1,89	28,84	55,02	74,07
6	7	total	45	0,30	S	4,56	29,42	42,32	51,13
7	2	3	65	0,30	S	3,07	22,04	70,67	88,07
8	12	total	65	0,30	MQF	3,41	24,44	45,25	62,42

A Tab. 4.54 mostra o resultado da análise de variância da oitava matriz de planejamento para os parâmetros R_a, R_z, erro de circularidade e erro de cilindricidade.

Tabela 4.54 - Principais efeitos: R_a, R_z, erro de circularidade e erro cilindricidade

	R_a		R_z		Circularidade		Cilindricidade	
Fator	Efeito	p	Efeito	p	Efeito	p	Efeito	p
Recuo: 3 mm → total	0,78	0,47	0,25	0,80	-7,37	0,48	-8,22	0,56
Veloc. de corte: 45 → 65	-1,44	0,22	-4,95	0,01	2,50	0,81	3,99	0,77
Avanço: 0,20 → 0,30	-0,37	0,72	0,71	0,49	-3,79	0,71	-8,17	0,56
Sist. lubri-refrig.: S → MQF	-1,31	0,26	1,14	0,30	1,79	0,86	10,39	0,47

A Tab. 4.54, que caracteriza o sistema lubri-refrigerante seco *versos* MQF, mostra que somente a variável velocidade de corte se mostrou estatisticamente influente para R_z, dentro de uma confiabilidade de 95%. Mas observando as tendências para os efeitos, das variáveis de entrada, utilizando o recuo total ocorre a melhoria da circularidade e cilindricidade. Quando se utiliza o MQF, somente R_a tende a diminuir. Com o aumento do avanço, os parâmetros R_a, erro de cilindricidade e erro de circularidade tendem a melhorar. Estes resultados são conseqüências de alguns fatores, tais como o tempo de furação, ação lubrificante do fluido, a geração de calor e os esforços envolvidos.

A Tab. 4.55 ilustra os resultados das médias de R_a, R_z, circularidade e cilindricidade para o primeiro furo e os furos que representam os percentuais já citados do desgaste da broca calculadas para cada teste e réplicas, conforme a nona matriz de planejamento cujos resultados detalhados destas medições estão mostrados nas Tab. 7.196 a 7.211 do Anexo II (em CD).

Tabela 4.55 – Médias dos parâmetros de qualidade (recuo 3 mm x 1 mm) e (seco x jorro)

Nº	Ensaio	Recuo (mm)	vc (m/min)	f (mm/rev)	S. lubri -refrig.	R_a (µm) (média)	R_z (µm) (média)	Circul. (µm) (média)	Cilindr. (µm) (média)
1	1	3	45	0,20	S	5,75	27,30	52,13	64,43
2	21	1	45	0,20	J	4,77	30,27	50,97	63,17
3	4	3	65	0,20	J	3,23	23,60	36,49	44,38
4	20	1	65	0,20	S	3,50	23,98	76,08	661,37
5	3	3	45	0,30	J	2,56	27,33	39,71	59,64
6	19	1	45	0,30	S	4,82	32,05	47,73	56,62
7	2	3	65	0,30	S	3,07	22,04	70,67	88,07
8	22	1	65	0,30	J	3,22	23,11	45,43	60,23

A Tab. 4.56 mostra o resultado da análise de variância da nona matriz de planejamento para os parâmetros R_a, R_z, erro de circularidade e erro de cilindricidade.

Tabela 4.56 – Principais efeitos: R_a, R_z, erro de circularidade e erro cilindricidade

	R_a		R_z		Circularidade		Cilindricidade	
Fator	Efeito	p	Efeito	p	Efeito	p	Efeito	p
Recuo: 1 mm → 3 mm	-0,43	0,54	-2,29	0,14	-5,30	0,58	-146,22	0,40
Veloc. de corte: 45 → 65	-1,22	0,14	-6,06	0,01	9,53	0,35	152,55	0,38
Avanço: 0,20 → 0,30	-0,90	0,24	-0,16	0,90	-3,03	0,76	-142,20	0,41
Sist. lubri-refrig.: S → J	-0,84	0,26	-0,27	0,83	-18,50	0,12	-160,76	0,36

De acordo com os dados apresentados na Tab. 4.56 que caracteriza o sistema lubri-refrigerante seco *versus* jorro, somente a variável velocidade de corte se mostrou estatisticamente influente para a rugosidade R_z, dentro de uma confiabilidade de 95%. Mas observando os efeitos que revelam tendências, quando se utiliza o recuo de 3 mm da

ferramenta ao invés de 1 mm, todos os parâmetros de qualidade avaliados tendem a diminuir, melhorando assim, a qualidade dos furos. Quando se utiliza o jorro, a tabela indica também, a melhora da qualidade dos furos para todos os parâmetros. O aumento da velocidade de corte parece melhorar a qualidade dos furos quando se trata da rugosidade.

A Tab. 4.57 ilustra os resultados das médias de R_a, R_z, erro de circularidade e cilindricidade para o primeiro furo e os furos que representam os percentuais já citados do desgaste da broca calculadas para cada teste e réplicas, conforme a décima matriz de planejamento cujos resultados detalhados destas medições estão mostrados nas Tab. 7.220 a 7.235 do Anexo II (em CD).

Tabela 4.57 – Médias dos parâmetros de qualidade (recuo 3 mm x 1 mm) e (seco x MQF)

Nº	Ensaio	Recuo (mm)	vc (m/min)	f (mm/rev)	S. lubri -refrig.	R_a (média)	$R_{z(DIN)}$ (média)	Circul. (média)	Cilindr. (média)
1	1	3	45	0,20	S	5,75	27,30	52,13	64,43
2	23	1	45	0,20	MQF	4,39	30,78	49,70	59,74
3	6	3	65	0,20	MQF	1,40	24,65	47,66	59,93
4	20	1	65	0,20	S	3,5	23,98	76,08	661,37
5	5	3	45	0,30	MQF	1,89	28,84	55,02	74,07
6	19	1	45	0,30	S	4,82	32,05	47,73	56,62
7	2	3	65	0,30	S	3,07	22,04	70,67	88,07
8	24	1	65	0,30	MQF	3,9	28,89	54,92	73,42

A Tab. 4.58 mostra o resultado da análise de variância da décima matriz de planejamento para os parâmetros R_a, R_z, erro de circularidade e erro de cilindricidade para as condições seco *versus* MQF.

Tabela 4.58 - Principais efeitos: R_a, R_z, erro de circularidade e erro cilindricidade

	R_a		R_z		Circularidade		Cilindricidade	
Fator	Efeito	p	Efeito	p	Efeito	p	Efeito	p
Recuo: 1 mm → 3 mm	-1,13	0,31	-3,22	0,06	-0,74	0,93	-141,16	0,42
Veloc. de corte: 45 → 65	-1,25	0,27	-4,85	0,02	11,19	0,25	156,98	0,37
Avanço: 0,20 → 0,30	-0,34	0,74	1,28	0,31	0,69	0,93	-138,32	0,43
Sist. lubri-refrig.: S → MQF	-1,39	0,23	1,95	0,16	-9,8	0,30	-150,83	0,39

A Tab. 4.58, que caracteriza o sistema lubri-refrigerante seco *versos* MQF, mostra que, somente a variável velocidade de corte se mostrou estatisticamente influente para R_z, dentro de uma confiabilidade de 95%. Mas observando as tendências para os efeitos, das variáveis de entrada, utilizando o recuo de 3 mm ao invés de 1 mm, ocorre a melhoria de todos os parâmetros de qualidade avaliados. Quando se utiliza o MQF, R_a, e os erros de cilindricidade e circularidade tendem a diminuir. Com o aumento do avanço, os parâmetros R_a e erro de cilindricidade tendem a melhorar. Estes resultados apresentam semelhança

muito próxima aos resultados da matriz anterior quando naquela oportunidade, o confronto envolveu o sistema lubri-refrigerante (seco x jorro).

4.3.3. Desgaste nas ferramentas de corte

Nessa etapa também foi observada a forma da evolução do desgaste, que foi analisada através da Fig. 4.22 representativa do desenvolvimento do mesmo, e que se refere à segunda réplica do ensaio de número oito que chegou a usinar 15 furos. As figuras indicativas desse desenvolvimento mostram as superfícies de folga da broca. Estas superfícies foram exibidas em ordem crescente do nível de desgaste na região próxima das pontas de corte.

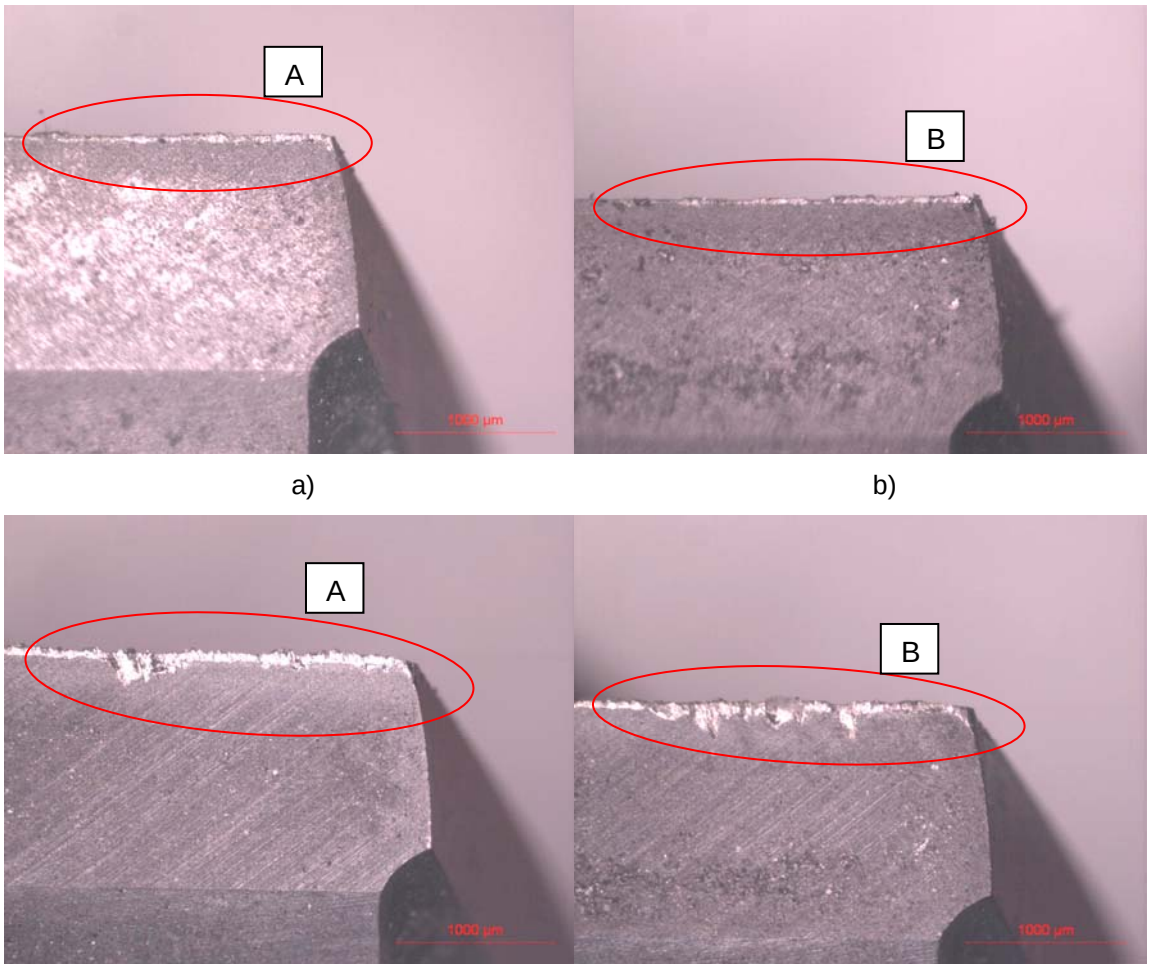


Figura 4.22 – Superfícies de folga da broca, próximas a região das pontas de corte: a) ponta (A) após usinar o segundo furo; b) ponta (B) após usinar o segundo furo; c) ponta (A) após usinar o oitavo furo; d) ponta (B) após usinar o oitavo furo. Condições de corte: vc = 65 m/min; f = 0,20 mm/rev; recuo total; e paradas

A análise dos detalhes na figura ilustra a evolução gradual dos níveis de desgaste na região próxima a ponta de corte e guia da broca para esses parâmetros. Pode-se perceber que até dois furos usinados, o desgaste é mínimo embora na ponta onde se encontre o detalhe “A” Fig. 4.18a, já se pode observar o início de desgaste de flanco. Após o oitavo furo essa forma de desgaste continuou a aumentar gradualmente, como pode ser observado nos detalhes “A” Fig. 4.18c, e “B” Fig. 4.18d, até que ocorresse a falha abrupta da ferramenta durante a usinagem do furo de número 16. Comparando esse desgaste com a curva de comportamento do desgaste da Fig. 4.6, parece que o regime II ocorre com um desgaste muito baixo. De repente em t’ há uma aceleração forte no desenvolvimento de VB_{Bmax} que leva à broca ao colapso, a partir deste ponto, rapidamente (Fig. 4.23).

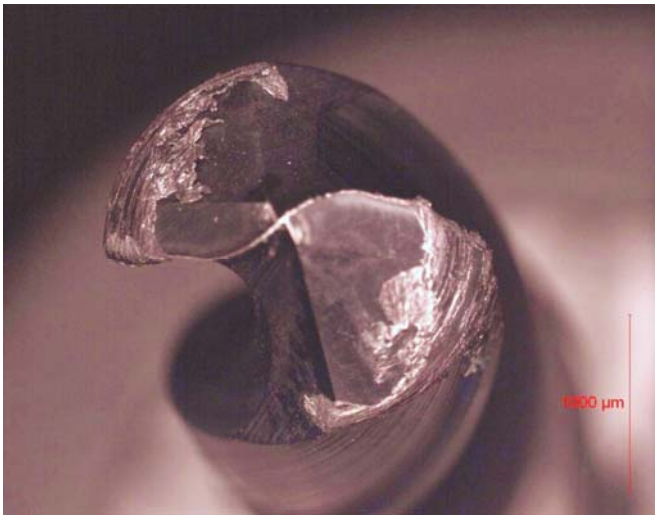


Figura 4.23 – Aparência da superfície de corte de uma broca após colapso

4.3.4. Esforços de usinagem F_z e M_z

A Tab. 4.59 ilustra os resultados das médias para a força de avanço (F_z) e torque (M_z) no primeiro furo e os furos que representam 25%, 50%, 75% e 90% do desgaste da broca calculadas para cada teste e réplicas para a sétima matriz de planejamento, os resultados detalhados destas medições são mostrados nas Tab. 7.164 a 7.171 do Anexo II (em CD).

Tabela 4.59 – Resultados das médias de F_z e M_z para a sétima matriz de planejamento

Nº	Ensaio	Recuo (mm)	vc (m/min)	f (mm/rev)	Sistema lubri-refrig.	F_z (N) (média)	M_z (Nm) (média)
1	1	3	45	0,20	S	607,46	15,37
2	9	total	45	0,20	J	726,78	13,02
3	4	3	65	0,20	J	1193,26	17,29
4	8	total	65	0,20	S	981,43	18,12
5	3	3	45	0,30	J	677,83	14,62
6	7	total	45	0,30	S	1123,76	21,01
7	2	3	65	0,30	S	896,62	19,28
8	10	total	65	0,30	J	825,21	15,07

A Tab. 4.60 ilustra o quadro de ANOVA para os resultados das médias da força de avanço (F_z) e momento torçor (M_z), pertencentes a sétima matriz de planejamento: (3 mm x total) e (seco x jorro)

Tabela 4.60 – ANOVA para F_z e M_z para a sétima matriz de planejamento

	F_z (N)		M_z (Nm)	
Fator	Efeito	p	Efeito	p
Recuo: 3 mm $\rightarrow$ total	70,50	0,74	0,17	0,93
Veloc. de corte: 45 $\rightarrow$ 65	190,17	0,40	1,44	0,46
Avanço: 0,20 $\rightarrow$ 0,30	3,62	0,99	1,55	0,43
Sist. lubri-refrig.: S $\rightarrow$ J	-46,55	0,82	-3,45	0,14

Conforme os resultados apresentados na Tab. 4.60, nenhuma variável se mostrou estatisticamente influente para a força de avanço e torque, dentro de uma confiabilidade de 95%, mas os efeitos revelam algumas tendências para essas variáveis. Quando se utiliza o recuo total, F_z e M_z tendem em média a aumentar, entretanto o elevado valor de “p” (0,93) é observado para o torque. O aumento da velocidade de corte tende em média a aumentar M_z e F_z de forma mais acentuada. O avanço de 0,30 mm/rev tende, em média, a aumentar F_z e M_z, mas o elevado valor de “p” (0,99) é observado para o parâmetro F_z. A aplicação do fluido na forma de jorro tende em média a diminuir F_z e M_z. Algumas dessas tendências são coerentes, mas outras não, uma vez que:

a) Com o recuo total há a maior possibilidade de se retirar os cavacos da região de corte e de lubrificação das regiões de contato, fatos estes que podem reduzir os esforços de usinagem, mas nesse caso isto não aconteceu. O efeito refrigerante maior pode estar sendo responsável por um aumento na resistência ao cisalhamento do material.

b) A maior velocidade de 65 m/min deve gerar mais calor que a de 45 m/min, amolecendo o material, o que tenderia a reduzir os esforços de corte. Porém, isto não ocorreu. Pode ser que quanto maior a velocidade de corte, maior é a dificuldade de

penetração do fluido na região de corte, e o efeito menor lubrificação contribuiu para estes resultados.

c) O aumento do avanço, além de aumentar a velocidade de penetração da broca, promove o aumento das dimensões dos cavacos e das áreas dos planos de cisalhamento primário e secundário. Tudo isto contribui para aumentar os esforços de corte F_z e M_z, essa situação se mostrou coerente;

d) Finalmente, a aplicação de um fluido de corte na forma de jorro irá promover uma ação lubrificante e expulsar os cavacos da região de corte mais eficientemente que a condição a seco o que favoreceu a redução dos esforços de corte, ocorrendo simultaneamente à ação refrigerante.

A Tab. 4.61 ilustra os resultados das médias para a força de avanço (F_z) e torque (M_z) no primeiro furo e os furos que representam os percentuais citados do desgaste da broca calculadas para cada teste e réplicas, para a oitava matriz de planejamento, os resultados detalhados destas medições são mostrados nas Tab. 7.188 a 7.195 do Anexo II (em CD).

Tabela 4.61 – Resultados das médias de F_z e M_z para a oitava matriz de planejamento

Nº	Ensaio	Recuo (mm)	vc (m/min)	f (mm/rev)	Sistema lubri-refrig.	F_z (N) (média)	M_z (Nm) (média)
1	1	3	45	0,20	S	607,46	15,37
2	11	total	45	0,20	MQF	874,56	11,02
3	6	3	65	0,20	MQF	773,95	16,31
4	8	total	65	0,20	S	981,43	18,12
5	5	3	45	0,30	MQF	1030,23	19,01
6	7	total	45	0,30	S	1123,76	21,01
7	2	3	65	0,30	S	896,62	19,28
8	12	total	65	0,30	MQF	1146,9	27,45

A Tab. 4.62 ilustra o quadro de ANOVA para os resultados das médias da força de avanço (F_z) e torque (M_z) pertencente a oitava matriz de planejamento: (0 x 1) e (seco x MQF).

Tabela 4.62 – ANOVA para F_z e M_z para a oitava matriz de planejamento

	F_z (N)		M_z (Nm)	
Fator	Efeito	p	Efeito	p
Recuo: 3 mm → total	204,60	0,04	1,91	0,51
Veloc. de corte: 45 → 65	40,72	0,55	3,69	0,25
Avanço: 0,20 → 0,30	240,03	0,03	6,48	0,09
Sist. lubri-refrig.: S → MQF	54,09	0,44	0,00	0,99

De acordo com os resultados apresentados na Tab. 4.62, o recuo e o avanço se mostram estatisticamente influentes dentro de uma confiabilidade de 95% para F_z. Os efeitos que revelam tendências para as demais variáveis indicam que quando se utiliza o recuo total, a força de avanço tende a aumentar em média. O aumento da velocidade de corte tende, também, a aumentar em média F_z e M_z. O avanço de 0,30 mm/rev ao invés de 0,20 mm/rev tende em média a aumentar F_z e M_z, enquanto a aplicação do fluido MQF aumenta a força de penetração, para o momento torçor esse não tem efeito.

Da mesma maneira que ocorreu quando se aplicou o fluido na forma de jorro, o efeito do recuo total não implicou em redução de F_z.

A Tab. 4.63 ilustra os resultados das médias para a força de avanço (F_z) e torque (M_z) no primeiro furo e nos furos com os percentuais já mencionados para o desgaste da broca, calculados para cada teste e réplicas, para a nona matriz de planejamento, os resultados detalhados destas medições são mostrados nas Tab. 7.212 a 7.219 do Anexo II (em CD).

Tabela 4.63 – Resultados das médias de F_z e M_z para a nona matriz de planejamento

Nº	Ensaio	Recuo (mm)	Vc (m/min)	f (mm/rev)	Sistema lubri-refrig.	F_z (N) (média)	M_z (Nm) (média)
1	1	3	45	0,20	S	607,46	15,37
2	21	1	45	0,20	J	977,51	9,063
3	4	3	65	0,20	J	1193,26	17,29
4	20	1	65	0,20	S	1446,15	23,56
5	3	3	45	0,30	J	677,83	14,62
6	19	1	45	0,30	S	1519,76	14,29
7	2	3	65	0,30	S	896,62	19,28
8	22	1	65	0,30	J	1298,62	20,79

A Tab. 4.64 ilustra o quadro de ANOVA para os resultados das médias da força de avanço (F_z) e momento torçor (M_z), pertencentes a nona matriz de planejamento: (1 mm x 3 mm) e (seco x jorro).

Tabela 4.64 – ANOVA para F_z e M_z para a nona matriz de planejamento

	F_z		M_z	
Fator	Efeito	p	Efeito	p
Recuo: 1 mm $\rightarrow$ 3 mm	-466,72	0,10	-0,29	0,91
Veloc. de corte: 45 $\rightarrow$ 65	263,02	0,27	6,89	0,05
Avanço: 0,20 $\rightarrow$ 0,30	42,11	0,84	0,92	0,74
Sist. lubri-refrig.: S $\rightarrow$ J	-80,69	0,71	-2,68	0,31

Em conformidade com os resultados apresentados na Tab. 4.64, somente a variável velocidade de corte se mostrou estatisticamente influente para torque, dentro de uma confiabilidade de 95%. Os efeitos que revelam tendências para essas variáveis indicam que, quando se utiliza o recuo de 3 mm ao invés de 1 mm, F_z e M_z tendem em média a diminuir. O aumento da velocidade de corte tende em média a aumentar F_z e M_z. O avanço de 0,30 mm/rev ao invés de 0,20 mm/rev tende, em média, a aumentar F_z e M_z. A aplicação do fluido na forma de jorro tende em média a diminuir tanto F_z como M_z. Observa-se o valor elevado de "p" para o parâmetro recuo quando se trata do torque.

A Tab. 4.65 ilustra os resultados das médias para o número de furos, força de avanço (F_z) e torque (M_z) no primeiro furo e os furos que representam os referidos percentuais de desgaste da broca calculadas para cada teste e réplicas, para a décima matriz de planejamento, os resultados detalhados destas medições são mostrados nas Tab. 7.236 a 7.243 do Anexo II (em CD).

Tabela 4.65 – Resultados das médias de F_z e M_z para a décima matriz de planejamento

Nº	Ensaio	Recuo (mm)	vc (m/min)	f (mm/rev)	Sistema lubri-refrig.	F_z (N) (média)	M_z (Nm) (média)
1	1	3	45	0,2	S	607,46	15,37
2	23	1	45	0,2	MQF	1070,5	9,47
3	6	3	65	0,2	MQF	773,95	16,31
4	20	1	65	0,2	S	1446,15	23,56
5	5	3	45	0,3	MQF	1030,23	19,01
6	19	1	45	0,3	S	1519,762	14,291
7	2	3	65	0,3	S	896,621	19,28
8	24	1	65	0,3	MQF	1145,58	25,34

A Tabela 4.66 ilustra o quadro de ANOVA para os resultados das médias da força de avanço (F_z) pertencente a décima matriz de planejamento: (1 x 3) e (seco x MQF).

Tabela 4.66 – ANOVA para F_z e M_z para a décima matriz de planejamento

	F_z (N)		M_z (Nm)	
Fator	Efeito	p	Efeito	p
Recuo: 1 mm $\rightarrow$ 3 mm	-468,43	0,06	-0,67	0,86
Veloc. de corte: 45 $\rightarrow$ 65	8,587	0,96	6,59	0,16
Avanço: 0,20 $\rightarrow$ 0,30	173,53	0,36	3,30	0,41
Sist. lubri-refrig.: S $\rightarrow$ MQF	-112,43	0,57	-0,59	0,88

De acordo com os resultados apresentados na Tab. 4.66, nenhuma das variáveis se mostrou estatisticamente influente dentro de uma confiabilidade de 95% para a força de avanço e o momento torçor. Mas, observando os efeitos que revelam tendências para essas variáveis, quando se utiliza o recuo de 3 mm ao invés de 1 mm, em média F_z e M_z tendem a diminuir. O aumento da velocidade de corte tende, também, a aumentar em média F_z e M_z. O avanço de 0,30 mm/rev ao invés de 0,20 mm/rev tende em média a aumentar F_z e M_z, enquanto a aplicação do fluido MQF ao invés do corte a seco diminui em média F_z e M_z.

A Tab. 4.67 indica os valores de referência para o ciclo intermitente (três paradas) que compara vida (nº médio de furos usinados), qualidade (R_a, R_z, erro de cilindricidade e erro de circularidade), força F_z e M_z *versos* o recuo da ferramenta. A Fig. 4.20 ilustra graficamente a Tab. 4.68. Para construção deste gráfico, com recuo de 3 mm, foi necessário refazer o ensaio de número seis com avanço de 0,30 mm/rev para atender a matriz do planejamento fatorial 2^{4-1} devidamente. Os dados de medições do referido ensaio se encontram nas Tab. 247 a 249 do Anexo II (em CD).

Tabela 4.67 – Valores de referência para o gráfico da Fig. 4.20

Furação	3 paradas		
Parâmetros	65m/min - 0,30 mm/rev - MQF		
Ensaio nº	24	6	12
Recuo	1 mm	3 mm	total
Vida (média de nº furos)	2,70	4,0	3,33
R_a (µm)	3,90	4,43	3,41
R_z (µm)	28,89	24,65	24,44
Circularidade (µm)	54,92	66,42	45,25
Cilindricidade (µm)	73,42	82,92	62,42
Momento torçor (Nm)	10,77	15,34	19,19
Força de avanço (x 10^{-2} N)	1145,58	1630,50	1146,90

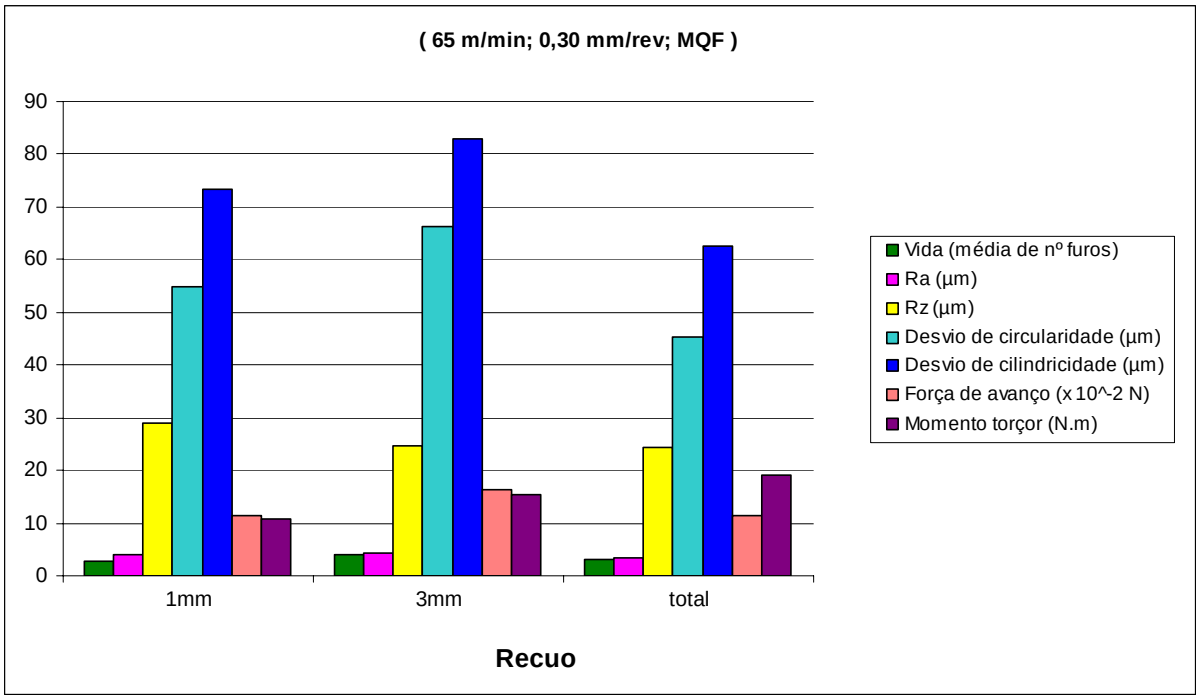


Figura 4.24 – Gráfico comparativo do recuo *versos* variáveis de saída.

No gráfico da Fig. 4.24 pode ser observado que a vida da ferramenta (regiões esverdeadas) tem um comportamento semelhante para a furação com recuo de 1 mm e furação com recuo total, sendo que o recuo de 3 mm apresenta um resultado melhor. O recuo total da ferramenta se apresenta como o melhor resultado (menor valor) para a rugosidade R_a (regiões em cores lilás) quando se utiliza os parâmetros de corte inscritos no gráfico, já para a rugosidade R_z (regiões em cores amarelas), a furação com recuo de 1 mm apresenta o pior resultado (maior valor) em relação ao recuo de 3 mm e total para essa condição de corte. O melhor resultado (menor valor) para a circularidade (regiões em cores azuis claras) é a furação com recuo total da ferramenta em relação ao recuo de 1 mm e recuo de 3 mm. De forma semelhante, a cilindricidade (regiões em cores azuis escuras) tem um resultado melhor (menor valor) quando se utiliza a furação com recuo total da ferramenta em relação aos demais. A força de avanço (regiões em cores rosa escuras) apresenta o pior resultado quando se utiliza o recuo de 3 mm em relação aos demais. O momento torçor (regiões em cores roxas) apresenta um valor menor para o recuo de 1 mm em relação aos demais.

4.3.5. Cálculo do tempo de usinagem

Neste subcapítulo será calculado o aumento no tempo de usinagem quando se usa 3 paradas e recuo do percurso da ferramenta de 1 mm, 3 mm e total, em comparação com o

corte direto para um furo e simulação do aumento do tempo para a usinagem de 2000 furos. A Tab. 4.68 mostra os ensaios e suas respectivas condições de corte escolhidos nesta etapa para os cálculos dos tempos de usinagem.

Tabela 4.68 – Ensaios selecionados para cálculo dos tempos de usinagem na etapa 2

Ensaios	Recuo (mm)	vc (m/min.)	f (mm/rev.)	Sistema lubri-refrigerante
2	3	65	0,30	Seco
10	total	65	0,30	Jorro
22	1	65	0,30	Jorro

- Cálculo do tempo de corte de um furo com recuo de 1 mm Fig. 4.25 (ciclo intermitente)

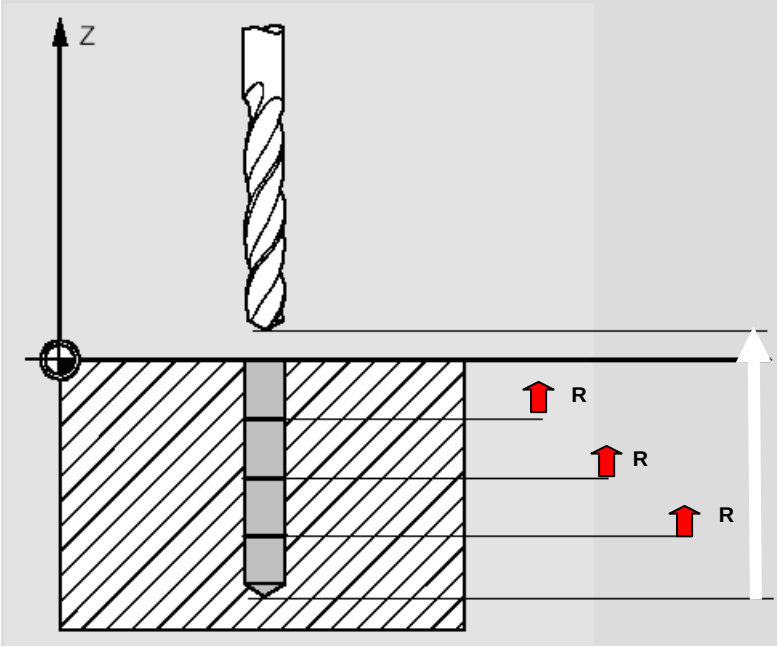


Figura 4.25 – Exemplo de um ciclo de furação com três paradas e recuo (R = 1 mm)

O ciclo (quebra de cavacos ou pica-pau) gera o seguinte movimento:

- A broca aproxima até o plano de referência com Va_{G0}, descontando uma distância segura de 2 mm para evitar choques;
- Vai para a primeira profundidade de furação (Z -10) com avanço de corte (G1) programado quando da chamada de ciclo;
- Recua 1 mm com Va_{G0} (incremento);
- Avança 0,4 mm com Va_{G0} (decremento);

- Vai para a segunda profundidade de furação (Z -20) com a função G1 e o avanço programado (0,30 mm/rev) numa linha anterior;
- Recua 1 mm com Va_{G0} (incremento);
- Avança 0,4 mm com Va_{G0} (decremento);
- Vai para a terceira profundidade de furação (Z -30) com a função G1 e o avanço programado (0,30 mm/rev) numa linha anterior;
- Recua 1 mm com Va_{G0} (incremento);
- Avança 0,4 mm com Va_{G0} (decremento);
- Vai para a profundidade final de furação (Z -40) com a função G1 e o avanço programado (0,30 mm/rev) numa linha anterior;
- Retorna até ao plano de referência descontado da distância segura (SDIS: 2 mm) com Va_{G0};
- Avança para o próximo furo, e em seguida repete o ciclo.

Tempo de corte para primeira profundidade (t_{c1}) = $\frac{12}{620,7}$ = 0,0193 min

Tempo de corte para [segunda profundidade (t_{c2}), terceira profundidade (t_{c3}) e quarta profundidade (t_{c4})] = $\frac{10,6}{620,7}$ = 0,0171 min

Tempo total de usinagem de um furo (t_{tfuro}) = $t_a + t_{c1} + t_{c2} + t_{c3} + t_{c4} + 3t_{r1} + 3t_{r2} + t_{rf}$

$t_{tfuro} = 0,025 + 0,0193 + 0,0171 + 0,0171 + 0,0171 + 3(5,0 \times 10^{-5}) + 3(2,0 \times 10^{-5}) + 2,1 \times 10^{-3}$

$\Rightarrow t_{tfuro} = 0,979\text{min} = 5,875\text{ seg}$

- Cálculo do tempo de corte de um furo com recuo de 3 mm Fig. 4.26 (ciclo intermitente)

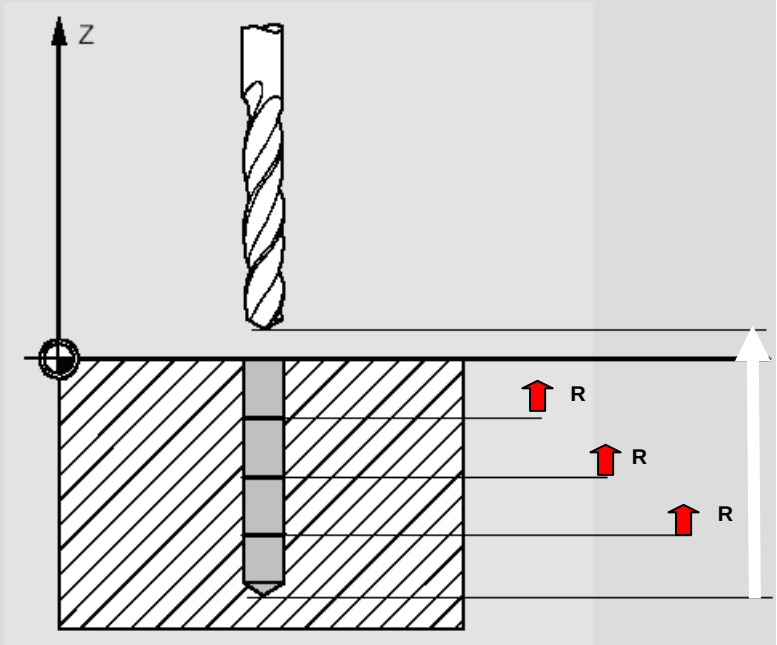


Figura 4.26 – Exemplo de um ciclo de furação com três paradas e recuo (R = 3 mm)

O ciclo (quebra de cavacos ou pica-pau) com recuo de 3 mm e 3 paradas gera o seguinte movimento:

- A broca aproxima até o plano de referência com Va_{G0}, descontando uma distância segura para evitar choques;
- Vai para a primeira profundidade de furação (Z -10) com avanço de corte (G1) programado quando da chamada de ciclo;
- Recua 3 mm com Va_{G0} (incremento);
- Avança 2,4 mm com Va_{G0} (decremento);
- Vai para a segunda profundidade de furação (Z -20) com a função G1 e o avanço programado (0,30 mm/rev) numa linha anterior;
- Recua 3 mm com Va_{G0} (incremento);
- Avança 2,4 mm com Va_{G0} (decremento);
- Vai para a terceira profundidade de furação (Z -30) com a função G1 e o avanço programado (0,30 mm/rev) numa linha anterior;
- Recua 3 mm com Va_{G0} (incremento);
- Avança 2,4 mm com Va_{G0} (decremento);
- Vai para a profundidade final de furação (Z -40) com a função G1 e o avanço programado (0,30 mm/rev) numa linha anterior;
- Retorna até ao plano de referência descontado da distância segura (SDIS: 2 mm) com Va_{G0};

- Avança para o próximo furo, e em seguida repete o ciclo;

Tempo de corte para primeira profundidade (t_{c1}) = $\frac{12}{620,7}$ = 0,0193 min

Tempo de corte para [segunda profundidade (t_{c2}), terceira profundidade (t_{c3}) e quarta profundidade (t_{c4})] = $\frac{10,6}{620,7}$ = 0,0171 min

T. de incremento (t_{r1}) = $\frac{3}{20000}$ = 1,5 x 10^{-4} min; T. de decremento (t_{r2}) = $\frac{2,4}{20000}$ = 1,2 x 10^{-4} min

Tempo total de usinagem de um furo (t_{tfuro}) = $t_a + t_{c1} + t_{c2} + t_{c3} + t_{c4} + 3t_{r1} + 3t_{r2} + t_{rf}$

t_{tfuro} = 0,025 + 0,0193 + 0,0171 + 0,0171 + 0,0171 + 3(1,5 x 10^{-4}) + 3(1,2 x 10^{-4}) + 2,1 x 10^{-3}

$\Rightarrow$ t_{tfuro} = 0,0985 min = 5,91 seg

- Cálculo do tempo de corte de um furo com recuo total da ferramenta Fig. 4.27 (ciclo intermitente)

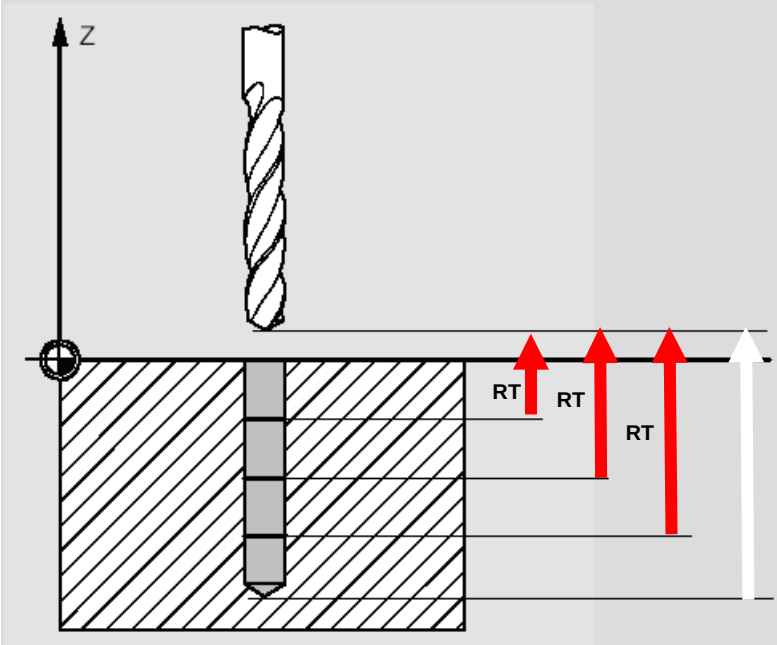


Figura 4.27 – Exemplo de um ciclo de furação com três paradas e recuo total (RT)

O ciclo (quebra de cavacos ou pica-pau) gera o seguinte movimento:

- A broca aproxima até o plano de referência com Va_{G0}, descontando uma distância segura para evitar choques;
- Vai para a primeira profundidade de furação (Z -10) com avanço de corte (G1) programado quando da chamada de ciclo;
- Recua total com Va_{G0} (incremento);
- Avança para Z -9,4 com Va_{G0} (decremento);
- Vai para a segunda profundidade de furação (Z -20) com a função G1 e o avanço programado (0,30 mm/rev) numa linha anterior;
- Recua total com Va_{G0} (incremento);
- Avança para Z -19,4 com Va_{G0} (decremento);
- Vai para a terceira profundidade de furação (Z -30) com a função G1 e o avanço programado (0,30 mm/rev) numa linha anterior;
- Recua total com Va_{G0} (incremento);
- Avança para Z -29,4 com Va_{G0} (decremento);
- Vai para a profundidade final de furação (Z -40) com a função G1 e o avanço programado (0,30 mm/rev) numa linha anterior;
- Retorna até ao plano de referência descontado da distância segura (SDIS: 2 mm) com Va_{G0};
- Avança para o próximo furo, e em seguida repete o ciclo.

Tempo de corte para primeira profundidade (t_{c1}) = $\frac{12}{620,7}$ = 0,0193 min

Tempo de corte para [segunda profundidade (t_{c2}), terceira profundidade (t_{c3}) e quarta profundidade (t_{c4})] = $\frac{10,6}{620,7}$ = 0,0171 min;

T. incremento (t_{in1}) = $\frac{12}{20000}$ = 6,0 x 10^{-4} min; T. decremento (t_{dec1}) = $\frac{11,4}{20000}$ = 5,7 x 10^{-4} min

T. incremento (t_{in2}) = $\frac{22}{20000}$ = 1,1 x 10^{-3} min; T. decremento (t_{dec2}) = $\frac{21,4}{20000}$ = 1,07 x 10^{-3} min

T. incremento (t_{in3}) = $\frac{32}{20000}$ = 1,6 x 10^{-3} min; T. decremento (t_{dec3}) = $\frac{31,4}{20000}$ = 1,57 x 10^{-3} min

Tempo total de usinagem de um furo (t_{tfuro}) = $t_a + t_{c1} + t_{c2} + t_{c3} + t_{c4} + t_{in1} + t_{in2} + t_{in3} + t_{dec1} + t_{dec2} + t_{dec3} + t_{rf}$

t_{tfuro} = 0,025 + 0,0193 + 0,0171 + 0,0171 + 0,0171 + 6,0 x 10^{-4} + 1,1 x 10^{-3} + 1,6 x 10^{-3} + 5,7 x 10^{-4} + 1,07 x 10^{-3} + 1,57 x 10^{-3} + 2,1 x 10^{-3} $\Rightarrow$ t_{tfuro} 0,1048 min = 6,251 seg

Portanto: - Tempo para furação direta: 5,688 seg

Tempo para 3 paradas e recuo:

- de 1 mm: 5,875 seg
- de 3 mm: 5,910 seg
- total: 6,251 seg

O tempo total perdido na aplicação da estratégia elimina-cavaco/pica-pau na usinagem de um furo (t_{ec}):

Tempo total perdido na furação:

- com recuo de 1 mm: 5,875 – 5,688 = 0,187 seg
- com recuo de 3 mm: 5,910 – 5,688 = 0,222 seg
- com recuo total: 6,251 – 5,688 = 0,563 seg

Exemplificando para a mesma situação colocada na etapa 1, onde a exigência de produção era a usinagem de 2000 furos, quando se programa o ciclo para recuo de:

1 mm $\rightarrow$ 0,187 x 2000 = 374 seg;

recuo de 3 mm $\rightarrow$ 0,222 x 2000 = 444 seg;

recuo total $\rightarrow$ 0,563 x 2000 = 1126 seg.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O elevado número de experimentos realizados neste trabalho produziu uma grande quantidade de resultados. Este capítulo sintetiza as principais conclusões obtidas para cada etapa como se verá a seguir.

5.1 – Conclusões

De acordo com as análises estatísticas realizadas para cada etapa do experimento, pode se concluir que:

- Os resultados da vida da 1º etapa mostraram de forma clara e em geral que: a furação com paradas, ao invés da direta, é sempre benéfica à vida das brocas se o sistema MQF for o utilizado. Quando se utiliza o sistema jorro e mais de 1 parada (2 ou 3) a vida das brocas tende a diminuir;

- Para a furação com uma parada, ao invés de direta, a vida da broca aumenta de 467 furos para os testes com MQF (Tab. 4.6) e de apenas 15 furos para os testes com jorro (Tab. 4.4);

- Para a etapa 1 a furação com 1 parada, em geral, resultou em maiores vidas para as brocas e melhores qualidades dos furos, em relação à furação direta e à furação com 2 e 3 paradas;

- A furação com paradas, em geral, tendeu a reduzir a vida das brocas quando se utilizou o sistema jorro e a aumentar quando foi aplicado fluido de corte em MQF;

- Das variáveis de saída analisadas os esforços de usinagem (F_z e M_z) mostraram serem, em geral, as mais sensíveis (menores valores de “p”) em relação à variação do número de paradas e do valor do recuo das brocas;

- Foi confirmada a relação inversa entre a vida das brocas e o torque M_z nos testes com variação do recuo, ou seja, quando ocorre efeito de aumentar a vida percebe-se um efeito de redução no torque e vice-versa, porém, esta relação nem sempre foi observada para a força F_z;

- Percebe-se que para uma velocidade de corte maior a furação com 1 parada, em geral, resultou em menores vidas para as brocas em relação à furação direta e à furação com 2 e 3 paradas;

- O aumento da velocidade de corte na furação com 2 e 3 paradas e aplicação do jorro no geral contribui para a melhoria da qualidade dos furos quando se trata da rugosidade e circularidade, mas para a cilindricidade, esta somente acontece com 2 paradas quando se utiliza a MQF;

- O efeito do aumento da velocidade de corte, em geral não produz melhoria para a cilindricidade, mas somente o faz quando se trata da furação com 2 paradas e aplicação da MQF;

- Para aumento da velocidade de corte e furação com 1 e 2 parada verifica-se uma redução de F_z quando se utiliza o jorro. Para as demais situações F_z tende a aumentar inclusive quando se aplica a MQF. A redução de M_z ocorre somente para a furação com recuo de 3 mm e aplicação do jorro;

- Das variáveis de saída analisadas a vida (nº de furos) e rugosidade mostraram serem, em geral, as mais sensíveis (menores valores de “p”) em relação à variação do número de paradas e do valor do recuo das brocas quando se passa para o nível de velocidade de corte maior;

- O avanço no geral reduz a vida da broca, mas para a furação com 2 e 3 paradas e aplicação do jorro, verifica–se o contrário;

- O avanço contribui para a melhora da maioria dos parâmetros de rugosidade, o que não ocorre para a maioria dos parâmetros dos desvios geométricos;

- No geral o avanço contribui para o aumento das forças de usinagem, mas o torque diminui quando se trata dos recuos de 3mm e total;

- As variáveis de saída analisadas que se mostram mais sensíveis (menores valores de “p”) em relação ao avanço, foram a circularidade para a furação com 1 parada e aplicação da MQF, a força de avanço para furação com 1 parada e aplicação do jorro, e o torque para furação com recuo total e aplicação da MQF;

- O recuo total, em relação ao recuo de 3 mm, apresentou tendência de melhorar a qualidade dos furos;

- O recuo de 3 mm, em relação ao recuo de 1 mm, apresentou tendância também de melhorar a qualidade dos furos.

5.2 – Sugestões para Trabalhos Futuros

Como linha de pesquisa que pode ser complementar a este trabalho, entre outros, sugere-se os seguintes temas:

1. Estudar a influência do ciclo de furação em ensaios ininterruptos, ou seja; execução de cada teste sem paradas para medições, aquisições, monitoramentos, etc., até que ocorra o colapso da ferramenta;

2. Avaliar o comportamento da temperatura para os ciclos de furação, utilizando os vários sistemas lubri-refrigerantes e ferramentas de corte aqui utilizados ou disponíveis no mercado;

3. Estudar a influência do ciclo de furação em diferentes materiais de ferramentas de corte na furação de outros materiais, como o alumínio e aço inoxidável;

4. Investigar a influência do ciclo de furação relacionado à formação de rebarbas para furos vazados em chapas de aço inoxidáveis duplex;

5. Estudar a influência do ciclo de furação relacionado aos custos de produção para um lote de peças a ser determinado de acordo com uma necessidade de fabricação.

CAPÍTULO VI

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 6163**: Conceitos da Técnica de Usinagem: Geometria da Cunha Cortante: Terminologia. Rio de Janeiro, 1980.

ABNT. **NBR 6405**: Rugosidade das superfícies. Rio De Janeiro, 1988.

ABNT. **NBR 6409**: Tolerâncias de forma e tolerâncias de posição. Rio De Janeiro, 1976.

ABNT. **NB 204**: Movimentos e relações geométricas na usinagem dos metais. Rio De Janeiro, 1989.

AGOSTINHO, O. L.; RODRIGUES, A. C. DOS SANTOS; LIRANI, J. **Princípios de engenharia de fabricação mecânica**. 6ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1995, p.295.

ALMEIDA, D. O. **Investigação dos desvios geométricos no alargamento de ferro fundido com ferramentas revestidas**. 2008. 117 p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

ALTINTAS, Y. Manufacturing automation. Cambridge Univ. Press, 2000. p. 47-53

AMORIM, H., 2003, “Apostila de Processos de Fabricação por Usinagem – Furação – 1ª Parte”, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, 15 p.

ANDRADE, C. L. F. **Análise da furação do ferro fundido vermicular com brocas de metal-duro com canais retos revestidas com TiN e TiAlN.** 2005. 154 p. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Eng. Mecânica da UFSC, Florianópolis-SC.

AFS, **Iron castings engineering handbook**. American Foundry Society, 2003, 420p.

ASM International, **ASM Handbook-Vol.16-Machining**, 3th Ed., Metals Park, 1989, 944 p.

BALZERS. Balzers Coating Guide for cutting applications, v. 1. Disponível em: <http://www.coating-guide.balzers.com>. jul. 2005. 1 CD – ROM.

BALZERS, Catálogo de produtos G6 Generation. Jundiaí, SP, 2006.

BARBOSA, P. A. **Furação de Ferros Fundidos Austemperados e Nodular Perlítico** 2009. 147 p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia.

BEZERRA, A. A. **Estudo do Desgaste no Roscamento com Alta Velocidade em Ferro Fundido.** 2003. 209 f. Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

BOSSARDI, J. C. S. **Análise Comparativa dos Meios Lubri-Refrigerantes na Furação do Ferro Fundido Vermicular com Brocas Helicoidais de Metal Duro Revestidas com TiAlN** 2008. 118 f. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Eng. Mecânica da UFSC, Florianópolis-SC.

BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S. **Statistics for Experimenters: An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building**. U.S.A John Wiley & Sons, 1978. 653 p.

BRINSKSMEIER, E. **Prediction of Tool Fracture in Drilling**, Annals of CIRP, v. 39, 1990. pp 97-100.

BUTTON, S. T. Metodologia para Planejamento Experimental e análise de Resultados. Universidade Estadual de Campinas Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica 88 p Disponível em: <htt://www *pessoal.utfpr.edu.br/.../Planejamento%20Experimental.pdf>* Acesso em: 2 jun. 2010.

CASTILHO, W. J. G. **Furação profunda de Ferro Fundido Cinzento GG25 com Brocas de Metal-Duro com Canais Retos.** 2005. p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade de Santa Catarina, Florianópolis.

CENTRO SENAI FUNDAÇÃO ROMI FORMAÇÃO DE FORMADORES, **Apostila**. 1996.

CHILDS, T. H. C. **Rake Face Action of Cutting Lubricants: An Analysis of, and Experiments on, the Machining of Iron Lubricated by Carbon Tetrachloride**, Proc. Instn. Mech. Engrs. 1972.

COSTA, E. S. **Furação de Aços Mocroligados com Aplicação de Mínima quantidade de Fluido de Corte – (MQF)**. 2004. 311 p. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

DA SILVA, R.B., 2006, **Performance of Different Cutting Tool Materials in Finish Turning of Ti6Al4V with High Pressure Coolant Supply Technology**. Tese de Doutorado, programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, FEMEC – UFU, Uberlândia – MG, 199 pgs.

DAAR, H. A. **Uma contribuição ao conhecimento do Processo de Furação dos Aços com Brocas Helicoidais.** 1967. 233 p. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

DE BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e Otimização de Experimentos**. 2.ed. Editora da Unicamp, Campinas - SP, 1995. 229 p.

DE CASTRO, P.R.A. **Aspectos Tecnológicos da Usinagem a Seco e com Mínima Quantidade de Fluido de Corte na Furação com Broca Helicoidal**. 2001. 178 p. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Eng. Mecânica da UFSC, Florianópolis-SC.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. **DIN 6580**: Terminology of cutting: additional terms for the tool: wedge and the cutting edge. Berlin, 1988.

DEUTCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 1836**: Anwendungsgebiete der Werkzeugentypen N, H und W. Berlin, 1977.

DEUTCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 1412**: Spiralboher Begriffe. Berlin, 1p., 1977.

DEUTCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 1414**: Spiralboher aus Schenellarbeitsstahl. Berlin, 1977.

DEUTTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 66025**: program format, prepraratory and miscellaneous functions. Berlin,1988

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; CUPPINI, N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. São Paulo, MM Editora, 1999. 242 p.

DINIZ, A. E. Tecnologia da usinagem dos materiais. São Paulo, Art. Líber Editora, 2000, 256 p.

DROZDA, T.J.; WICK, C. **Cutting Fluids and industrial lubricants**, **Tool and Manufacturing Engineers Handbook**, Vol. 1, 4ª Ed., 1993. pp 4.1-4.60.

EDWARDS, R. **Cutting Tools**, The Institute of Materials, London, The University Press, Cambridge, 1993. 200 p.

FRANCO, P. G. R. **Procedimentos e Critérios Tradicionais de Avaliação do Desempenho de Brocas Helicoidais**, Laboratório de Mecânica de Precisão da UFSC, 1999. 151 p.

FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher Ltda, 1977. 751p.

GUIMARÃES, T. A. M.; et al., Desenvolvimento de técnicas de otimização e problemas inversos em condução de calor: Aplicação no estudo de campos térmicos em ferramentas de Usinagem e Processos de Soldagem**.** Universidade Federal de Uberlândia- Campus Santa Mônica, Uberlândia. 2007. 20 p.

GÜHRING – Die ratiobohrer und ihre praxisgerechte anwendung. Catálogo do fabricante. Albstadt, Alemanha, 1997. 156 p.

HOLFMAN, J. P. **Experimental Methods for Engineers**. Singapore, MacGraw-Hill Company. 1994. 672 p.

ISO **3685**: Tool Life Testing with Single-Point Turning Tools. 1977.

KAISER, O. **PVD** – **Beschichtungen schützen Werkzeug und Schmelze.** ***Kunststoffe***, v. 85, p. 898 - 904, 1995.

KANAI, M.; KANDA, Y. **Statistical Characteristics of Drill Wear and Drill Life for the Standardized Performance Tests**, 1979 Annals of the CIRP, Vol. 27, pp 61-66.

KLOCKE, F. und GERSCHWILER, K., 1996, "**Trockenbearbeitung: Grundlagen, Grenzen, Perspektiven**", VDI Berichte n. 1240, Auf Dem Weg Zur Trocken-Bearbeitung, VDI Velag, Düsseldorf, Feb., pp 1-40.

König, W., 1990, **Fertigungsverfahren: Drehen, Fäsen und Böhren**, (Tradução: Prof. Dr. Ing Walter L. Weingaertner), Düsseldorf: 4 ed. VDI, 416 p.

KÖNIG, W.; KLOCKE, F. **Fertigungsverfahren: Drehen, Fäsen und Böhren**, Springer-Verlag, Berlim – Heidelberg, 5 Auflage, Band 1, 1997. 471 p.

MACHADO, A.R., 1990, **Machining of Ti6Al4V and Inconel 901 with a High Pressure Coolant System**, PhD Thesis in Engineering, University of Warwick, Coventry – UK, 288 pgs.

MACHADO, A. R.; DINIZ E. D., 2000, "Corte a Seco, com Mínima Quantidade de Fluido e com Fluido em Abundância: Usos, Aplicações, Vantagens e Desvantagens", Usinagem 2000 – Feira e Congresso, Anais em CD, 19-14H00-1.pdf, setembro.

MACHADO, A. R. et al. **Usinagem dos Metais**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2009. 371 p.

MARTINS, P. S. **Avaliação dos sistemas de fixação hidráulico e térmico de broca de metal duro em furação do cabeçote do motor Fire**. 2008. 108 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte.

METALS: Cutting Tools: Handbooks. New York: Unit States Cutting Tool Institute, 1989, vol. 17.

MIRANDA, G. W. A. **Uma contribuição ao Processo de Furação sem Fluido de Corte com Broca de Metal Duro Revestida com TiAlN**. 2003. 182 p Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

MOCELLIN, F. **Avaliação da Usinabilidade do Ferro Fundido Vermicular em Ensaios de Furação**. 2002. Dissertação – Mestrado em Engenharia Mecânica – Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002. 112 p.

Norma DIN 66025 – Industrial Automation Numerical control of machines; **program format, prepraratory and miscellaneous functions** (Deutsches Institut für Normung), 1988.

NORDTEST NT MECH 038, 1997, **Cutting Fluids for Drilling: Evaluation by Drill Life Test**, Published by NORDTEST, 1997.

NOVASKI, O. **Contribuições ao Processo de Furação com Brocas Helicoidais**. UNICAMP Tese de Livre Docência, 1996.

NOVASKI, O. and DÖRR, J. **Usinagem Quase a Seco**, Máquinas e Metais, Editora Aranda, novembro, 1999, pp. 34 – 41.

PALMAI, Z. Cutting Temperature in Intermittent Cutting**, International Journal of Machine Tools Manufacture,** vol. 27(2), pp 261-274. 1987.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL FACULDADE DE ENGENHARIA. **Parte_5_Furação**, pdf 3f. Disponível em: <htt://www.iem.efei.br/gorgulho/download>. Acesso em: set. 2008.

RICHARDS, N.; ASPINWALL, D. **Use of Ceramic Tools for Machining Nickel Based Alloys**, Int. J. Mach. Tools Manufact, vol. 29(4), 1989. pp 575-588.

SALES, W. F. **Influência das Características Refrigerantes e Lubrificantes de Fluidos de Corte**, Tese de doutorado em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Uberlândia, UFU, 1999, 166 p.

SANDVIK COROMANT, 1994, **Modern metal cutting – a practical handbook**, Sweden: 1. ed. 840 p. ISBN 91972299-0-3.

SANTOS, S. C. **Furação de ferro fundido cinzento com brocas de metal duro integral**. 1999. 122 p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

SANTOS, S. C., **Estudo da Influência de Revestimentos e da Aplicação de Fluidos de Corte no Desempenho de Brocas de Aço-rápido e de Metal Duro integral na Usinagem de Ferro Fundido.** 2002. 199 p. Tese de doutorado em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

SCHULZ, H.; EMRICH, K.; FINZER, T.; DÖRR, J. **Quais são e para que servem os Revestimentos**. Máquinas e Metais. São Paulo. p. 30-37, setembro 2000.

SHAW, M. C.; THURMAN, A. L.; ARIGREN, H. J. **A Plascitic Problem Involving Plane Strain and Plane Stress Simulataneously: Groove Formation in the Machining of High-Temperature Alloys**, Trans ASME, J.Eng. Industry, 1966. pp. 142-146.

S. G. Harris, A. C. et al. **Dry machining — commercial viability through filtered arc vapour deposited coatings.** *Surface and Coatings Technology, Volumes 133-134, November 2000, Pages 383-388*

SINUMERIK 840D/840Di/810D/FM-NC. **Manual de programação**. Disponível em: <htt://www.siemens.com.br/templates/get_download2.aspx?id=3429&type=FILES>. Acesso em: nov. 2008.

SMART, E. F. and TRENT, E. M., 1975, **Temperature Distribution in Tools Used to Cutting Iron, Titanium and Neckel**, Int. J. Prod. Res., Vol. 13(3), pp 265-290.

STEMMER, G. E., 1992, **Ferramentas de Corte I e Ferramentas de Corte II:** brocas, alargadores, ferramentas de roscas, brochas, rebolos e abrasivos. Florianópolis: Ed. da UFSC. 314 p.

STEMMER, G. E., 1995, **Ferramentas de Corte I e Ferramentas de Corte II**, Ed. da UFSC, 249 p e 314 p, respectivamente.

STOETERAU, R. L. **Processos de Usinagem**. 3. f. Disponível em: < htt://www.lmp.ufsc.br/disciplinas/emc5240/Aula-17-U-2007-1-furação.pdf> - Acesso em: set. 2008.

SUBRAMANIAN, C. et al*.* **Performance Evalution of TiN-Coated Twist Drills Using Force Measurement and Microscopy**, Surface and Coatings Technology, Vol. 62, 1993. pp 641-648.

TEIXEIRA, C. R. **Influência dos Erros Geométricos de Afiação nas Brocas Helicoidais de Aço-rápido na Qualidade dos Furos Produzidos**. 1995. 110 p. Dissertação de Mestrado - UFSC, Florianópolis-SC.

TEIXEIRA, C. R., **Redução e eliminação de fluidos de corte nos Processos de Usinagem com ferramentas de corte de Geometria Definida**. 2001. 153 p. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Paraná.

TÖNSHOFF, H. K.; SPINTING, W.; KÖNIG, W.; NEISES, A. **Machining of Holes – Developments in Drilling Technology**, Annals of CIRP, Vol. 43, 1994. pp 551-561.

Tool and Manufacturing Engineers Handbook, 1983, Machining, 4. Ed., v.1, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, Michigan, pp 10.1-10.76.

TRENT, E. M. **Metal Cutting** 2rd Edition, Butterworths, ISBN 0-408-10856, 1984. 245 pag.

TRENT, E. M., 1988, **Metal Cutting and the Tribology of Seizure: III. Temperature in Metal Cutting**, Wear, Vol. 128, pp 65-81.

TRENT, EDWARD M.; WRIGHT, PAUL K.. **Metal cutting.** 4. ed. Oxford: Butterworth-heinemann, 2000. UNITED STATES CUTTING TOOL INSTITUTE, 1989

VIANA, H., 2004, “Desempenho de Brocas de HSS Revestidas na Furação de Ligas de Al-Si”., Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Eng. Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia - UFU, 143 p.

WEINGAERTNER, W.L, TEIXEIRA, C.R. e SCHÜTER, W. – **Efeitos tecnológicos da Minimização e/ou eliminação do Uso de Fluidos de Corte no Processo de Furação com Brocas DIN338.** Relatório interno do Lab. Mecânica de Precisão – UFSC. Maio 1998. 180 p.

WEINGAERTNER, W. L. et al*.,* **Monitoramento da Furação através da Emissão Acústica e da Força de Avanço**, COBEM-CIDIM. 1995.

WRIGHT, P. K.; BIAGCHI, A. Wear Mechanisms that Dominates Tool-Life in Machining, **Journal Applied Metal Working,** ASM, vol. 1(4), pp 15-23. 1981.

ZEILMANN, R. P., **Furação da Liga de Titânio Ti6Al4V com Mínimas Quantidades de Fluido de corte**. 2003. 170 p. Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Eng. Mecânica da UFSC, Florianópolis-SC.

CAPÍTULO VII

ANEXO I

Procedimento Estatístico para Cálculo dos Efeitos das Variáveis nos Parâmetros Analisados das etapas 1 e 2.

Para as etapas 1 e 2 foi utilizado um planejamento fatorial fracionário com 4 variáveis em 2 níveis (2^{4-1}). A Tabela 7.1 ilustra a matriz de planejamento para a fração utilizada neste estudo.

Tabela 7.1 - Matriz planejamento para a fração 1

Nº	Ensaio	Variável			
		Nº de paradas	Vc(m/min.)	f(mm/rev.)	fluido
1	1	- (0)	- (45)	- 0,20	- S
2	9	+ (1)	- (45)	- 0,20	+ J
3	4	- (0)	+ (65)	- 0,20	+ J
4	8	+ (1)	+ (65)	- 0,20	- S
5	3	- (0)	- (45)	+ 0,30	+ J
6	7	+ (1)	- (45)	+ 0,30	- S
7	2	- (0)	+ (65)	+ 0,30	- S
8	10	+ (1)	+(65)	+ 0,30	+ J

Pode-se observar pela Tabela 7.1 que os sinais referentes aos níveis da coluna 4 (fluido) foram gerados pela multiplicação dos sinais termo a termo das colunas 1, 2 e 3. Para as três primeiras variáveis tem-se um planejamento completo (2^3), ou seja; todas as combinações possíveis entre os níveis inferior (-) e superior (+) das mesmas. Portanto para esta fração do planejamento tem-se o seguinte gerador utilizado: 4=123 $\Rightarrow$ I = 1234. Este tipo de planejamento é conhecido como Planejamento Fatorial Saturado.

Os resultados dos ensaios da matriz de planejamento 1, com relação à vida das ferramentas, estão mostrados na Tabela 4.2 (capítulo IV). A partir do gerador, foi possível determinar toda estrutura de confundimento para esta fração. A Tabela 7.2 mostra as estruturas de confundimentos para o planejamento utilizado.

Tabela 7.2 - Estrutura de confundimento e estimador de efeito para a matriz de planejamento 1

Estimador / Confundimento	
$l_I \rightarrow$ média + 1/2(1234)	$l_{12} \rightarrow$ 12+ 34
$l_1 \rightarrow$ 1 + 234	$l_{13} \rightarrow$ 13 + 24
$l_2 \rightarrow$ 2 + 134	$L_{14} \rightarrow$ 14 + 23
$l_3 \rightarrow$ 3 + 124	
$l_4 \rightarrow$ 4 + 123	

Não foram consideradas as interações com mais de 2 fatores, devido ao fato destas interações serem pouco significativas.

Os termos l_i presentes na Tabela 7.2 são estimadores médios de efeitos. Por exemplo, $l_1 \rightarrow 1 + 234$ é um estimador da soma dos valores médios dos efeitos da variável 1, da interação 234 (interação entre as variáveis 2, 3 e 4).

Analisando os estimadores médios de efeitos na Tabela 7.2 notamos que os efeitos principais das variáveis estavam confundidos com efeitos de interações com três fatores, portanto se algum deste for significativo, certamente será devido ao efeito principal. Entretanto, as alterações estão contraditas umas com as outras.

CAPÍTULO VII

ANEXO II

Anexo II – Dados detalhados das medições

As Tab. a seguir correspondem ao resultados detalhados dos erros de circularidade e cilindricidade (Tab. 7.3 a 7.10), rugosidades R_a e R_z (Tab. 7.11 a 7.18) e força F_z (Tab. 7.19 a 7.26) para os testes da **primeira** matriz de planejamento com os confrontos do número de paradas **(0 x 1)** e do sistema lubri-refrigerante **(Seco x Jorro)** da **Etapa 1**.

Tabela 7.3 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

1º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	25,58	30,94	28,74	29,76	16,52	26,31	31,86
1º R	1	01	37,69	35,31	30,54	37,32	34,19	35,01	38,54
2º R		01	120,61	111,36	80,64	83,36	84,52	96,10	120,61
T		10	64,06	59,08	56,01	50,64	49,72	55,90	64,06
1º R	25	07	37,41	27,81	31,29	41.94	40,87	34,35	42,29
2º R		07	153,07	96,29	75,25	76,41	82,17	96,64	161,59
T		20	52,20	45,28	52,58	55,42	47,61	50,62	55,76
1º R	50	14	46,68	31,28	40,32	53,98	56,01	45,65	59,20
2º R		14	36,52	37,01	33,31	43,63	32,53	36,60	51,60
T		31	50,94	49,95	38,82	48,10	42,56	46,07	50,94
1º R	75	22	31,43	31,30	29,63	30,43	31,98	30,95	32,37
2º R		21	71,76	54,86	42,23	42,76	62,50	54,82	71,76
T		37	51,87	43,01	45,40	50,40	31,92	44,52	52,07
1º R	90	26	34,85	34,47	36,00	36,44	32,06	34,76	37,61
2º R		25	31,71	23,00	31,13	34,62	36,59	31,41	38,51
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								47,98	60,58

Tabela 7.4 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

9º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	18,71	18,36	8,25	17,30	19,22	16,37	19,22
1º R	1	01	39,02	31,54	34,00	32,14	18,73	31,09	40,96
2º R		01	46,47	21,51	25,83	41,98	45,75	36,31	46,47
T		87	18,35	19,08	11,97	18,72	20,40	17,70	21,97
1º R	25	42	62,94	57,10	17,76	32,56	63,09	46,69	63,12
2º R		70	13,13	18,06	21,35	17,59	22,62	18,55	22,68
T		174	31,65	28,66	29,65	22,86	29,02	28,37	34,70
1º R	50	84	87,17	89,73	43,97	41,43	88,06	70,07	90,05
2º R		140	16,26	15,72	14,84	18,05	14,48	15,87	18,88
T		262	40,04	33,98	16,24	22,15	35,04	29,49	40,05
1º R	75	126	152,97	155,00	57,94	78,24	150,73	118,98	155,49
2º R		209	55,90	34,70	47,85	47,00	37,70	44,63	55,90
T		314	76,91	66,32	40,80	38,67	72,51	59,04	76,98
1º R	90	151	46,61	46,12	27,31	43,08	45,15	41,65	46,62
2º R		251	24,37	18,49	19,76	23,70	15,28	20,32	25,53
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								39,68	50,58

Tabela 7.5 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

4º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	15,80	16,32	15,67	10,20	18,91	15,38	18,91
1º R	1	01	83,23	52,21	40,94	54,74	54,72	57,17	83,27
2º R		01	54,51	32,09	32,76	38,48	40,83	39,73	54,55
T		01	15,80	16,32	15,67	10,20	18,91	15,38	18,91
1º R	25	01	83,23	52,21	40,94	54,74	54,72	57,17	83,27
2º R		01	54,51	32,09	32,76	38,48	40,83	39,73	54,55
T		03	35,51	30,41	17,20	30,98	36,82	30,18	36,89
1º R	50	03	93,02	85,28	57,06	44,69	51,41	66,29	93,02
2º R		03	31,76	44,28	43,06	40,57	38,71	39,68	44,28
T		04	82,36	89,69	28,39	50,10	90,25	68,16	90,27
1º R	75	04	83,16	83,81	67,45	43,89	65,31	68,72	83,85
2º R		04	72,62	61,99	34,16	55,44	65,48	57,94	72,62
T		05	42,94	25,71	42,96	21,89	22,39	31,18	43,01
1º R	90	05	44,,57	42,96	42,59	31,41	25,18	35,54	44,69
2º R		05	73,86	73,90	47,69	73,85	55,23	64,91	73,97
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								45,81	59,74

Tabela 7.6 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

8º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	122,90	110,29	54,77	71,82	120,08	95,97	122,93
1º R	1	01	42,19	26,04	38,38	15,10	35,11	31,36	42,47
2º R		01	68,11	56,87	63,59	57,99	58,78	61,07	68,11
T		02	103,48	92,21	49,73	48,87	96,57	78,17	104,00
1º R	25	02	58,39	39,83	23,75	30,96	54,46	41,48	58,40
2º R		05	58,31	45,56	49,41	58,07	56,06	53,48	58,47
T		04	64,86	41,79	67,18	45,34	53,18	54,47	67,22
1º R	50	04	39,15	43,08	27,44	40,57	45,30	39,11	48,27
2º R		10	39,58	43,02	15,15	15,48	41,77	31,00	43,05
T		05	41,85	41,80	17,85	28,01	32,67	32,44	41,87
1º R	75	06	63,56	46,56	59,74	55,39	63,63	57,78	63,79
2º R		14	33,21	30,08	17,75	17,67	21,14	23,97	33,33
T		05	41,85	41,80	17,85	28,01	32,67	32,44	41,87
1º R	90	07	81,44	45,04	73,51	41,88	51,22	58,62	81,45
2º R		16	62,93	63,25	29,52	24,31	63,78	48,76	63,78
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								49,34	62,60

Tabela 7.7 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

3º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	103,87	94,84	31,82	22,61	43,87	71,47	107,87
1º R	1	01	33,22	25,93	32,49	33,88	29,67	69,16	33,88
2º R		01	32,48	30,04	19,56	29,39	24,32	71,92	33,50
T		24	31,20	21,50	15,61	20,81	30,49	75,21	31,23
1º R	25	73	23,24	31,47	31,40	31,13	28,62	79,21	31,84
2º R		73	20,44	24,28	20,20	21,75	20,54	84,80	25,85
T		48	23,62	25,14	27,06	35,66	37,36	91,95	37,36
1º R	50	146	133,36	133,12	76,02	47,02	132,56	100,50	134,88
2º R		146	84,69	74,25	71,99	81,88	73,05	95,80	85,21
T		71	95,95	95,69	33,04	19,57	37,04	97,65	96,05
1º R	75	218	133,36	133,12	76,02	47,02	132,56	97,99	134,88
2º R		220	56,91	38,73	48,92	44,35	57,69	89,15	61,00
T		85	116,77	74,21	119,96	74,81	100,09	99,90	120,05
1º R	90	262	73,45	84,81	56,46	32,25	84,71	91,47	88,36
2º R		264	109,48	113,19	105,84	37,93	76,68	109,48	116,85
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								88,38	75,92

Tabela 7.8 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

7º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	38,79	42,31	48,78	38,93	45,97	42,96	48,78
1º R	1	01	32,99	36,55	22,26	25,82	38,30	31,18	40,68
2º R		01	33,90	30,03	36,88	29,79	29,29	31,98	36,96
T		12	48,48	42,57	60,71	29,77	66,20	49,55	66,26
1º R	25	06	44,22	35,96	31,97	35,11	38,86	37,22	44,22
2º R		06	46,82	37,40	39,41	34,54	63,27	44,29	63,29
T		24	108,07	93,45	45,33	42,63	102,14	78,32	108,12
1º R	50	12	41,47	27,75	36,68	36,62	35,86	35,68	41,56
2º R		12	119,54	115,83	85,06	88,48	111,99	104,18	119,75
T		37	46,50	44,92	26,25	34,03	50,93	40,53	50,94
1º R	75	19	41,80	34,16	30,72	30,25	37,54	34,89	42,36
2º R		17	93,73	75,87	48,63	59,36	99,53	75,42	99,60
T		44	45,68	35,51	55,08	40,30	19,25	39,16	55,34
1º R	90	23	29,15	41,02	41,48	30,72	41,86	36,85	42,22
2º R		20	86,07	72,01	25,52	74,33	87,52	69,09	90,27
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								50,09	63,36

Tabela 7.9 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

2º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	137,37	131,57	124,79	49,10	40,70	96,71	137,49
1º R	1	01	37,45	39,52	24,33	29,38	37,04	33,54	39,67
2º R		01	39,54	34,28	32,80	39,29	41,81	37,54	42,28
T		01	137,37	131,57	124,79	49,10	40,70	96,71	137,49
1º R	25	01	37,45	39,52	24,33	29,38	37,04	33,54	39,67
2º R		01	39,54	34,28	32,80	39,29	41,81	37,54	42,28
T		02	62,33	53,69	50,31	59,99	59,40	57,14	62,58
1º R	50	02	33,69	36,43	30,20	29,55	25,18	31,01	39,35
2º R		02	121,52	88,98	85,26	74,31	108,77	95,77	121,52
T		03	87,96	90,30	90,45	88,45	94,01	90,23	95,77
1º R	75	03	127,49	44,05	35,49	127,19	41,34	75,11	134,85
2º R		03	127,49	44,05	35,49	127,19	41,34	75,11	134,85
T		03	87,96	90,30	90,45	88,45	94,01	90,23	95,77
1º R	90	03	127,49	44,05	35,49	127,19	41,34	75,11	134,85
2º R		03	127,49	44,05	35,49	127,19	41,34	75,11	134,85
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								66,69	92,88

Tabela 7.10 – Resultados das médias de circularidade e cilindricidade

10º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	37,32	34,42	12,79	40,58	40,71	33,16	41,82
1º R	1	01	17,57	14,29	18,06	18,10	16,61	16,93	18,10
2º R		01	26,11	26,14	23,03	20,68	21,32	23,46	26,15
T		08	17,82	19,78	12,32	17,76	14,08	16,35	19,78
1º R	25	03	23,09	24,52	14,62	20,82	20,42	20,69	24,56
2º R		03	16,57	11,60	19,32	20,29	21,09	17,77	21,10
T		16	31,20	26,46	31,35	25,28	14,39	25,74	31,44
1º R	50	09	50,78	55,57	43,40	43,61	48,81	48,43	55,63
2º R		09	17,06	22,55	21,80	23,36	22,27	21,41	23,73
T		23	44,66	58,18	48,99	60,97	65,55	55,67	67,19
1º R	75	09	50,78	55,57	43,40	43,61	48,81	48,43	55,63
2º R		08	17,06	22,55	21,80	23,36	22,27	21,41	23,73
T		27	46,60	56,88	73,77	73,70	35,90	57,37	73,83
1º R	90	11	42,58	39,46	33,40	41,84	34,59	38,37	42,94
2º R		10	28,95	32,39	33,88	33,11	32,68	32,20	35,99
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								31,83	37,44

Tabela 7.11 – Resultados das médias de R_a e R_z

1º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	2,9	2,5	3,1	2,83	21	20	24	21,67
1º R	1	01	2,4	4,2	4,6	3,73	18	33	33	28,00
2º R		01	2,2	3,3	3,8	3,10	18	27	27	24,00
T		10	4,8	4,9	5,3	5,00	37	32	29	32,67
1º R	25	07	6,9	7,0	7,2	7,03	42	44	36	40,67
2º R		07	6,9	7,0	7,2	7,03	42	44	36	40,67
T		20	4,7	6,3	4,7	5,23	27	34	30	30,33
1º R	50	14	6,7	6,0	5,5	6,06	37	35	36	36,00
2º R		14	4,3	4,2	5,0	4,50	31	28	37	32,00
T		31	5,3	5,3	5,8	5,47	33	36	35	34,67
1º R	75	22	5,7	5,2	4,7	5,20	33	31	37	33,67
2º R		21	5,7	5,2	4,7	5,20	33	31	37	33,67
T		37	5,0	5,8	4,2	5,00	35	42	25	34,00
1º R	90	26	7,5	5,5	5,7	6,23	43	37	33	37,67
2º R		25	7,5	5,5	5,7	6,23	43	37	33	37,67
					Média geral	5,19			Média geral	33,16

Tabela 7.12 – Resultados das médias de R_a e R_z

9º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	2,1	3,1	3,8	3,00	20	18	22	20,00
1º R	1	01	2,0	1,8	2,7	2,17	14	14	19	15,67
2º R		01	2,2	6,7	6,9	5,27	15	38	37	30,00
T		87	3,9	3,9	4,1	3,97	25	24	29	26,00
1º R	25	42	4,8	4,6	4,4	4,60	36	29	28	31,00
2º R		70	7,1	8,8	8,6	8,17	45	50	46	47,00
T		174	4,2	4,5	5,9	4,87	29	34	38	33,67
1º R	50	84	3,9	3,9	4,1	3,97	25	24	29	26,00
2º R		140	5,5	4,2	3,7	4,47	32	24	28	28,00
T		262	4,5	5,3	4,5	4,77	28	30	27	28,33
1º R	75	126	5,0	4,4	4,5	4,63	34	28	29	30,33
2º R		209	4,8	6,5	6,6	5,97	35	43	43	40,33
T		314	5,0	5,4	3,8	4,73	29	37	22	29,33
1º R	90	151	4,8	6,0	4,5	5,10	29	45	32	35,33
2º R		251	4,9	5,1	6,3	5,43	30	31	55	38,67
					Média geral	4,74			Média geral	30,64

Tabela 7.13 – Resultados das médias de R_a e R_z

4º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	2,9	2,9	3,0	2,93	18	23	22	21,00
1º R	1	01	2,2	2,0	1,9	2,03	16	15	14	15,00
2º R		01	3,1	3,4	3,3	3,27	22	24	25	23,67
T		01	2,9	2,9	3,0	2,93	18	23	22	21,00
1º R	25	01	2,2	2,0	1,9	2,03	16	15	14	15
2º R		01	3,1	3,4	3,3	3,27	22	24	25	23,67
T		03	3,1	3,0	5,0	3,70	25	21	31	25,67
1º R	50	03	3,1	2,4	2,9	2,80	25	27	24	25,33
2º R		03	3,7	2,6	1,8	2,70	31	17	17	21,67
T		04	2,7	2,8	2,2	2,57	21	26	19	22,00
1º R	75	04	2,7	2,6	1,9	2,40	21	27	14	20,67
2º R		04	2,2	1,5	2,3	2,00	20	15	20	18,33
T		05	2,9	3,0	1,8	2,57	19	26	12	19,00
1º R	90	05	2,1	4,3	2,4	2,93	17	30	19	22,00
2º R		05	2,8	2,5	1,3	2,20	21	16	14	17,00
					Média geral	2,69			Média geral	20,73

Tabela 7.14 – Resultados das médias de R_a e R_z

8º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	3,7	3,0	2,5	3,07	22	21	22	21,67
1º R	1	01	2,5	3,4	2,5	2,80	17	22	23	20,67
2º R		01	3,3	3,4	4,2	3,63	22	23	31	25,33
T		02	2,7	2,9	2,4	2,67	24	19	17	20,00
1º R	25	02	3,3	3,4	4,2	3,63	22	23	31	25,33
2º R		05	3,9	4,7	2,9	3,83	26	31	20	25,67
T		04	3,6	2,9	3,4	3,30	23	21	29	24,33
1º R	50	04	3,5	4,6	3,8	3,97	23	40	27	30,00
2º R		10	2,4	4,0	3,3	3,23	19	25	24	22,67
T		05	3,5	1,4	2,8	2,57	24	23	28	25
1º R	75	06	3,8	3,5	3,9	3,73	30	27	26	27,67
2º R		14	3,4	3,5	3,4	3,43	23	27	22	24,00
T		05	3,5	1,4	2,8	2,57	24	21	28	24,33
1º R	90	07	3,2	3,0	3,4	3,20	24	19	25	22,67
2º R		16	3,4	2,8	3,2	3,13	27	20	25	24,0
					Média geral	3,25			Média geral	24,22

Tabela 7.15 – Resultados das médias de R_a e R_z

3º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	2,9	3,4	4,2	3,50	22	21	36	26,33
1º R	1	01	4,4	2,2	4,1	3,57	30	17	29	25,33
2º R		01	3,5	3,9	4,0	3,80	27	27	29	27,67
T		24	4,0	4,4	4,1	4,17	23	29	29	27,00
1º R	25	73	6,3	5,8	3,9	5,33	41	39	23	34,33
2º R		73	5,7	5,1	4,8	5,20	36	35	34	35,00
T		48	4,6	4,1	4,3	4,33	28	28	27	27,67
1º R	50	146	4,0	4,0	5,0	4,33	24	28	31	27,67
2º R		146	4,1	4,3	4,0	4,13	24	28	29	27,00
T		71	4,8	6,2	5,0	5,33	31	45	30	35,33
1º R	75	218	6,8	3,6	5,0	5,13	38	27	34	33,00
2º R		220	5,8	6,1	5,2	5,70	47	42	33	40,67
T		85	4,4	3,1	1,6	3,03	31	18	12	20,33
1º R	90	262	3,7	4,5	5,3	4,50	27	34	28	29,67
2º R		264	3,2	7,6	7,0	5,93	25	44	39	36,00
					Média geral	4,53			Média geral	30,20

Tabela 7.16 – Resultados das médias de R_a e R_z

7º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	3,1	3.8	2,9	2,93	31	27	19	21,00
1º R	1	01	2,5	4,0	4,1	2,03	14	26	31	15,00
2º R		01	4,0	2,5	2,9	3,27	25	19	26	23,67
T		12	3,9	4,5	4,5	2,93	26	36	41	21,00
1º R	25	06	4,9	4,7	4,1	3,00	31	28	28	25,67
2º R		06	4,3	4,3	4,5	3,53	27	36	31	23,67
T		24	4,3	3,8	4,7	3,13	26	27	31	23,33
1º R	50	12	4,4	5,8	3,4	4,30	27	42	22	34,33
2º R		12	4,2	4,0	4,1	4,57	27	27	29	29,00
T		37	4,4	4,7	3,8	4,37	25	26	25	31,33
1º R	75	19	4,4	3,5	5,1	4,27	29	27	32	28,00
2º R		17	5,0	2,8	3,2	2,93	31	20	25	21,00
T		44	4,4	4,7	3,8	2,03	25	26	25	15,00
1º R	90	23	4,1	3,6	4,0	3,27	26	23	27	23,66
2º R		20	3,6	3,6	5,1	2,93	27	23	32	21,00
					Média geral	3,30			Média geral	23,78

Tabela 7.17 – Resultados das médias de R_a e R_z

2º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	2,0	2,7	2,7	2,93	15	18	28	21,00
1º R	1	01	2,7	2,0	2,7	2,03	18	18	28	15,00
2º R		01	3,2	3,3	4,3	3,27	23	26	29	23,67
T		01	2,0	2,7	2,7	2,93	15	18	28	21,00
1º R	25	01	2,7	2,0	2,7	2,47	18	18	28	20,33
2º R		01	3,2	3,3	4,3	2,47	23	26	29	21,33
T		02	1,3	3,2	3,4	3,60	17	30	22	26,00
1º R	50	02	2,7	4,1	3,7	2,47	20	28	28	20,33
2º R		02	1,3	3,3	2,7	2,47	17	26	23	21,33
T		03	4,7	4,1	3,7	3,60	34	30	26	26,00
1º R	75	03	2,8	3,7	3,9	2,63	23	26	37	23,00
2º R		03	1,3	3,3	2,7	2,93	17	26	23	21,00
T		03	4,7	4,1	3,7	2,03	34	30	26	15,00
1º R	90	03	2,8	3,7	3,9	3,27	23	26	37	23,67
2º R		03	1,3	3,3	2,7	2,93	17	26	23	21,00
					Média geral	2,80			Média geral	21,31

Tabela 7.18 – Resultados das médias de R_a e R_z

10º ensaio		Rugosidade								
			R_a			(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	2,8	3,2	2,8	2,93	21	23	22	22,00
1º R	1	01	2,8	3,2	2,8	2,93	21	23	22	22,00
2º R		01	3,5	3,6	2,9	3,33	26	33	19	26,00
T		08	2,5	3,4	2,8	2,90	20	22	22	21,33
1º R	25	03	2,5	3,4	2,8	2,90	20	22	22	21,33
2º R		03	5,3	3,2	2,4	3,63	36	23	19	26,00
T		16	2,8	1,8	3,8	2,80	23	13	32	22,67
1º R	50	09	2,8	1,8	3,8	2,80	23	13	32	22,67
2º R		09	3,3	2,6	2,6	2,83	26	20	19	21,67
T		23	2,8	2,4	2,2	2,47	22	17	18	19,00
1º R	75	09	2,8	1,8	3,8	2,80	23	13	32	22,67
2º R		08	3,3	2,6	2,6	2,83	26	20	19	21,67
T		27	3,7	1,5	1,9	2,37	24	13	11	16,00
1º R	90	11	1,5	2,2	1,8	1,83	16	16	19	17,00
2º R		10	3,0	1,7	1,7	2,13	26	11	14	17,00
					Média geral	2,77			Média geral	21,27

Tabela 7.19 – Resultado da média de F_z

1º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	1608,70
1º R		01	1810,18
2º R		01	1781,60
T	25	10	
1º R		07	1615,15
2º R		07	
T	50	20	1810,18
1º R		14	
2º R		14	1684,06
T	75	31	
1º R		22	1439.67
2º R		21	
T	90	37	1615,15
1º R		26	
2º R		25	2453,46
		Média	1797,31

Tabela 7.20 – Resultado da média de F_z

9º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	1216,11
1º R		01	1455,54
2º R		01	1925,98
T	25	87	1597,63
1º R		42	
2º R		70	
T	50	174	1171,42
1º R		84	1180,67
2º R		140	
T	75	262	1212,04
1º R		126	
2º R		209	2347,06
T	90	314	1289,33
1º R		151	
2º R		251	1196,36
		Média	1459,21

Tabela 7.21 – Resultado da média de F_z

4º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	1573,56
1º R		01	1246,37
2º R		01	1510,26
T	25	01	1573,56
1º R		01	1246,37
2º R		01	1510,26
T	50	03	
1º R		03	
2º R		03	1188,85
T	75	04	1246,37
1º R		04	
2º R		04	1355,72
T	90	05	5430,68
1º R		05	
2º R		05	1992,71
		Média	1806,79

Tabela 7.22 – Resultado da média de F_z

8º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	1396,25
1º R		01	1696,67
2º R		01	1921,88
T	25	02	2255,31
1º R		02	1809,43
2º R		05	1827,90
T	50	04	
1º R		04	716,76
2º R		10	2252,62
T	75	05	1787,45
1º R		06	2037,23
2º R		14	2304,87
T	90	05	1787,45
1º R		07	
2º R		16	3515,95
		Média	1946,91

Tabela 7.23 – Resultado da média de F_z

3º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	2391,14
1º R		01	2028,76
2º R		01	2108,94
T	25	24	1822,14
1º R		73	862,00
2º R		73	2348,47
T	50	48	828,17
1º R		146	2453,09
2º R		146	2453,09
T	75	71	1778,66
1º R		218	2535,86
2º R		220	2454,52
T	90	85	2486,29
1º R		262	3109,84
2º R		264	2566,25
		Média	2148,48

Tabela 7.24 – Resultado da média de F_z

7º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	2539,76
1º R		01	3003,42
2º R		01	2700,56
T	25	12	2983,99
1º R		06	
2º R		06	2612,81
T	50	24	2611,70
1º R		12	2927,92
2º R		12	
T	75	37	2660,68
1º R		19	
2º R		17	
T	90	44	3214,87
1º R		23	2904,41
2º R		20	
		Média	2816,01

Tabela 7.25 – Resultado da média de F_z

2º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	2291,72
1º R		01	2076,65
2º R		01	2076,65
T	25	01	2291,72
1º R		01	2076,65
2º R		01	2076,65
T	50	02	2286,83
1º R		02	2523,52
2º R		02	3181,86
T	75	03	2857,83
1º R		03	714,02
2º R		03	571,44
T	90	03	2857,83
1º R		03	714,02
2º R		03	571,439
		Média	1944,59

Tabela 7.26 – Resultado da média de F_z

10º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	1786,27
1º R		01	1860,94
2º R		01	1603,45
T	25	08	1548,54
1º R		03	
2º R		03	
T	50	16	1511,52
1º R		09	1636,53
2º R		09	
T	75	23	1675,77
1º R		09	
2º R		08	1550,99
T	90	27	
1º R		11	
2º R		10	
		Média	1646,75

As Tab. a seguir correspondem ao resultados detalhados dos erros de circularidade e cilindricidade (Tab. 7.27 a 7.34), rugosidades R_a e R_z (Tab. 7.35 a 7.42) e força F_z (Tab. 7.43 a 7.50) para os testes da **segunda** matriz de planejamento com os confrontos do número de paradas **(0 x 1)** e do sistema lubri-refrigerante **(Seco x MQF)** da **Etapa 1**.

Tabela 7.27 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

1º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	25,58	30,94	28,74	29,76	16,52	26,31	31,86
1º R	1	01	37,69	35,31	30,54	37,32	34,19	35,01	38,54
2º R		01	120,61	111,36	80,64	83,36	84,52	96,10	120,61
T		10	64,06	59,08	56,01	50,64	49,72	55,90	64,06
1º R	25	07	37,41	27,81	31,29	41.94	40,87	34,35	42,29
2º R		07	153,07	96,29	75,25	76,41	82,17	96,64	161,59
T		20	52,20	45,28	52,58	55,42	47,61	50,62	55,76
1º R	50	14	46,68	31,28	40,32	53,98	56,01	45,65	59,20
2º R		14	36,52	37,01	33,31	43,63	32,53	36,60	51,60
T		31	50,94	49,95	38,82	48,10	42,56	46,07	50,94
1º R	75	22	31,43	31,30	29,63	30,43	31,98	30,95	32,37
2º R		21	71,76	54,86	42,23	42,76	62,50	54,82	71,76
T		37	51,87	43,01	45,40	50,40	31,92	44,52	52,07
1º R	90	26	34,85	34,47	36,00	36,44	32,06	34,76	37,61
2º R		25	31,71	23,00	31,13	34,62	36,59	31,41	38,51
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								47,98	60,58

Tabela 7.28 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

11º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	91,71	135,90	98,02	76,39	136,52	107,71	136,77
1º R	1	01	18,64	16,56	18,40	18,60	14,75	17,39	18,67
2º R		01	22,82	28,41	16,80	25,78	22,92	23,35	28,58
T		97	49,39	57,30	22,42	25,03	60,96	43,02	61,19
1º R	25	29	34,54	26,96	14,05	23,85	32,91	26,46	35,83
2º R		34	20,06	17,17	21,68	23,74	22,40	21,01	24,32
T		194	46,18	43,17	39,00	46,66	45,95	44,19	46,70
1º R	50	58	20,37	18,26	20,03	19,40	21,93	20,00	21,99
2º R		68	26,92	27,88	25,38	20,01	19,54	23,95	27,96
T		292	89,48	95,33	66,97	92,02	90,76	86,91	95,34
1º R	75	88	26,34	26,46	20,48	21,86	17,53	22,53	26,53
2º R		101	95,12	78,85	55,39	92,76	93,86	83,20	95,12
T		350	24,00	22,50	23,08	17,14	21,37	21,62	24,15
1º R	90	105	24,14	17,72	24,16	21,35	22,00	21,87	24,16
2º R		121	24,88	20,47	18,26	24,57	24,51	22,54	24,99
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								39,05	46,15

Tabela 7.29 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

6º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	129,02	86,93	58,71	56,62	47,97	75,85	129,02
1º R	1	01	52,02	68,36	68,98	109,82	20,51	63,94	270,53
2º R		01	20,74	14,45	19,01	18,16	20,54	18,58	22,41
T		02	333,43	279,60	104,83	152,15	231,96	220,39	337,81
1º R	25	01	52,02	68,36	68,98	109,82	20,51	63,94	270,53
2º R		01	20,74	14,45	19,01	18,16	20,54	18,58	22,41
T		04	49,24	22,14	37,78	113,73	12,38	47,05	258,22
1º R	50	02	39,13	58,28	46,29	46,27	37,92	45,58	119,73
2º R		02	42,73	35,33	27,36	45,65	43,32	38,88	48,64
T		05	49,24	22,14	37,78	113,73	12,38	47,05	258,22
1º R	75	02	39,13	58,28	46,29	46,27	37,92	45,58	119,73
2º R		03	44,44	33,05	27,36	45,65	45,32	39,16	48,64
T		05	49,24	22,14	37,78	113,73	12,38	47,05	258,22
1º R	90	03	34,56	26,44	27,82	23,72	33,59	29,22	34,82
2º R		04	28,46	25,21	25,91	24,90	26,45	26,19	29,84
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								55,136	148,58

Tabela 7.30 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

8º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	122,90	110,29	54,77	71,82	120,08	95,97	122,93
1º R	1	01	42,19	26,04	38,38	15,10	35,11	31,36	42,47
2º R		01	68,11	56,87	63,59	57,99	58,78	61,07	68,11
T		02	103,48	92,21	49,73	48,87	96,57	78,17	104,00
1º R	25	02	58,39	39,83	23,75	30,96	54,46	41,48	58,40
2º R		05	58,31	45,56	49,41	58,07	56,06	53,48	58,47
T		04	64,86	41,79	67,18	45,34	53,18	54,47	67,22
1º R	50	04	39,15	43,08	27,44	40,57	45,30	39,11	48,27
2º R		10	39,58	43,02	15,15	15,48	41,77	31,00	43,05
T		05	41,85	41,80	17,85	28,01	32,67	32,44	41,87
1º R	75	06	63,56	46,56	59,74	55,39	63,63	57,78	63,79
2º R		14	33,21	30,08	17,75	17,67	21,14	23,97	33,33
T		05	41,85	41,80	17,85	28,01	32,67	32,44	41,87
1º R	90	07	81,44	45,04	73,51	41,88	51,22	58,62	81,45
2º R		16	62,93	63,25	29,52	24,31	63,78	48,76	63,78
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								49,34	62,60

Tabela 7.31 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

5º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	27,09	27,65	25,01	30,76	24,02	26,91	30,88
1º R	1	01	62,23	59,76	49,86	40,59	50,17	52,52	62,26
2º R		01	131,90	141,45	54,29	49,51	117,84	98,99	141,47
T		08	56,33	48,34	25,16	55,14	44,48	45,89	56,33
1º R	25	07	58,62	60,24	56,24	50,06	33,55	51,74	60,32
2º R		11	70,47	71,06	58,86	56,95	43,57	60,18	71,47
T		16	105,27	60,64	47,86	56,52	43,14	62,69	105,28
1º R	50	14	105,27	60,64	47,86	56,52	43,14	62,69	105,28
2º R		22	105,27	60,64	47,86	56,52	43,14	62,69	105,28
T		24	154,81	120,79	145,27	87,25	63,34	114,29	179,08
1º R	75	20	84,11	56,70	63,21	43,18	87,65	66,97	87,76
2º R		34	42,97	50,03	46,03	52,98	39,71	46,34	53,06
T		29	71,89	30,67	54,19	65,60	26,32	49,73	106,36
1º R	90	24	106,80	36,61	44,10	41,34	37,94	53,36	66,44
2º R		41	43,14	49,23	42,87	38,11	29,45	40,56	49,67
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								59,70	85,40

Tabela 7.32 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

7º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	38,79	42,31	48,78	38,93	45,97	42,96	48,78
1º R	1	01	32,99	36,55	22,26	25,82	38,30	31,18	40,68
2º R		01	33,90	30,03	36,88	29,79	29,29	31,98	36,96
T		12	48,48	42,57	60,71	29,77	66,20	49,55	66,26
1º R	25	06	44,22	35,96	31,97	35,11	38,86	37,22	44,22
2º R		06	46,82	37,40	39,41	34,54	63,27	44,29	63,29
T		24	108,07	93,45	45,33	42,63	102,14	78,32	108,12
1º R	50	12	41,47	27,75	36,68	36,62	35,86	35,68	41,56
2º R		12	119,54	115,83	85,06	88,48	111,99	104,18	119,75
T		37	46,50	44,92	26,25	34,03	50,93	40,53	50,94
1º R	75	19	41,80	34,16	30,72	30,25	37,54	34,89	42,36
2º R		17	93,73	75,87	48,63	59,36	99,53	75,42	99,60
T		44	45,68	35,51	55,08	40,30	19,25	39,16	55,34
1º R	90	23	29,15	41,02	41,48	30,72	41,86	36,85	42,22
2º R		20	86,07	72,01	25,52	74,33	87,52	69,09	90,27
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								50,09	63,36

Tabela 7.33 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

2º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	137,37	131,57	124,79	49,10	40,70	96,71	137,49
1º R	1	01	37,45	39,52	24,33	29,38	37,04	33,54	39,67
2º R		01	39,54	34,28	32,80	39,29	41,81	37,54	42,28
T		01	137,37	131,57	124,79	49,10	40,70	96,71	137,49
1º R	25	01	37,45	39,52	24,33	29,38	37,04	33,54	39,67
2º R		01	39,54	34,28	32,80	39,29	41,81	37,54	42,28
T		02	62,33	53,69	50,31	59,99	59,40	57,14	62,58
1º R	50	02	33,69	36,43	30,20	29,55	25,18	31,01	39,35
2º R		02	121,52	88,98	85,26	74,31	108,77	95,77	121,52
T		03	87,96	90,30	90,45	88,45	94,01	90,23	95,77
1º R	75	03	127,49	44,05	35,49	127,19	41,34	75,11	134,85
2º R		03	127,49	44,05	35,49	127,19	41,34	75,11	134,85
T		03	87,96	90,30	90,45	88,45	94,01	90,23	95,77
1º R	90	03	127,49	44,05	35,49	127,19	41,34	75,11	134,85
2º R		03	127,49	44,05	35,49	127,19	41,34	75,11	134,85
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								66,69	92,88

Tabela 7.34 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

12º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	89,64	88,14	53,95	61,85	80,50	74,82	98,43
1º R	1	01	91,09	76,37	54,85	70,29	78,22	74,16	91,28
2º R		01	61,79	59,17	60,66	24,12	38,16	48,78	65,22
T		01	89,64	88,14	53,95	61,85	80,50	74,82	98,43
1º R	25	01	91,09	76,37	54,85	70,29	78,22	74,16	91,28
2º R		01	61,79	59,17	60,66	24,12	38,16	48,78	65,22
T		02	93,00	81,72	45,87	44,29	70,23	67,02	93,00
1º R	50	02	96,03	74,75	58,76	64,34	68,89	72,55	96,05
2º R		02	77,25	88,45	86,34	34,80	41,67	65,70	88,48
T		02	93,00	81,72	45,87	44,29	70,23	67,02	93,00
1º R	75	03	92,71	55,27	92,37	60,72	22,59	64,73	93,00
2º R		02	77,25	88,45	86,34	34,80	41,67	65,70	88,48
T		03	98,10	81,21	56,20	27,64	41,74	60,98	105,65
1º R	90	04	92,71	55,27	92,37	60,72	22,59	64,73	93,00
2º R		03	97,64	133,06	53,57	40,27	138,04	92,52	138,13
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								67,76	93,24

Tabela 7.35 – Resultados das médias de R_a e R_z

1º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	2,9	2,5	3,1	2,83	21	20	24	21,67
1º R	1	01	2,4	4,2	4,6	3,73	18	33	33	28,00
2º R		01	2,2	3,3	3,8	3,10	18	27	27	24,00
T		10	4,8	4,9	5,3	5,00	37	32	29	32,67
1º R	25	07	6,9	7,0	7,2	7,03	42	44	36	40,67
2º R		07	6,9	7,0	7,2	7,03	42	44	36	40,67
T		20	4,7	6,3	4,7	5,23	27	34	30	30,33
1º R	50	14	6,7	6,0	5,5	6,06	37	35	36	36,00
2º R		14	4,3	4,2	5,0	4,50	31	28	37	32,00
T		31	5,3	5,3	5,8	5,47	33	36	35	34,67
1º R	75	22	5,7	5,2	4,7	5,20	33	31	37	33,67
2º R		21	5,7	5,2	4,7	5,20	33	31	37	33,67
T		37	5,0	5,8	4,2	5,00	35	42	25	34,00
1º R	90	26	7,5	5,5	5,7	6,23	43	37	33	37,67
2º R		25	7,5	5,5	5,7	6,23	43	37	33	37,67
					Média geral	5,19			Média geral	33,16

Tabela 7.36 – Resultados das médias de R_a e R_z

11º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	4,0	3,6	2,9	3,50	35	23	21	26,33
1º R	1	01	4,2	5,2	4,0	4,47	26	33	27	28,67
2º R		01	2,9	3,6	3,4	3,30	24	22	21	22,33
T		97	6,5	5,5	4,2	5,40	37	36	25	32,67
1º R	25	29	5,1	4,6	4,4	4,70	36	29	25	30,00
2º R		34	3,8	3,5	4,4	3,90	21	23	28	24,00
T		194	5,5	6,1	6,2	5,93	40	34	44	39,33
1º R	50	58	4,3	4,2	3,7	4,07	30	25	25	26,67
2º R		68	5,0	4,9	3,9	4,60	29	29	26	28,00
T		292	4,2	5,8	4,4	4,80	32	41	26	33,00
1º R	75	88	3,8	5,5	1,3	3,53	22	33	21	25,33
2º R		101	4,5	5,0	6,6	5,37	27	27	32	28,67
T		350	4,5	5,5	5,5	5,17	34	42	36	37,33
1º R	90	105	2,6	5,2	5,7	4,50	23	37	37	32,33
2º R		121	5,5	6,1	6,2	5,93	40	34	44	39,33
					Média geral	4,60			Média geral	30,27

Tabela 7.37 – Resultados das médias de R_a e R_z

6º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	3,9	4,4	4,4	4,23	29	31	35	31,67
1º R	1	01	4,1	3,2	5,7	4,33	29	20	40	29,67
2º R		01	4,8	3,2	4,1	4,03	36	22	25	27,67
T		02	3,9	4,4	4,4	4,23	29	31	35	31,67
1º R	25	01	4,1	3,2	5,7	4,33	29	20	40	29,67
2º R		01	4,8	3,2	4,1	4,03	36	22	25	27,67
T		04	3,9	4,4	4,4	4,23	29	31	35	31,67
1º R	50	02	4,1	3,2	5,7	4,33	29	20	40	29,67
2º R		02	4,8	3,2	4,1	4,03	36	22	25	27,67
T		05	5,7	3,3	3,7	4,23	40	21	24	28,33
1º R	75	02	4,1	3,2	5,7	4,33	29	20	40	29,67
2º R		03	3,4	3,4	3,7	3,50	28	21	24	24,33
T		05	3,4	3,3	3,7	3,47	28	21	20	23,00
1º R	90	03	5,7	3,3	3,7	4,23	40	21	24	28,33
2º R		04	3,4	3,3	3,7	3,47	28	21	20	23,00
					Média geral	4,07			Média geral	28,24

Tabela 7.38 – Resultados das médias de R_a e R_z

8º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	3,7	3,0	2,5	3,07	22	21	22	21,67
1º R	1	01	2,5	3,4	2,5	2,80	17	22	23	20,67
2º R		01	3,3	3,4	4,2	3,63	22	23	31	25,33
T		02	2,7	2,9	2,4	2,67	24	19	17	20,00
1º R	25	02	3,3	3,4	4,2	3,63	22	23	31	25,33
2º R		05	3,9	4,7	2,9	3,83	26	31	20	25,67
T		04	3,6	2,9	3,4	3,30	23	21	29	24,33
1º R	50	04	3,5	4,6	3,8	3,97	23	40	27	30,00
2º R		10	2,4	4,0	3,3	3,23	19	25	24	22,67
T		05	3,5	1,4	2,8	2,57	24	23	28	25
1º R	75	06	3,8	3,5	3,9	3,73	30	27	26	27,67
2º R		14	3,4	3,5	3,4	3,43	23	27	22	24,00
T		05	3,5	1,4	2,8	2,57	24	21	28	24,33
1º R	90	07	3,2	3,0	3,4	3,20	24	19	25	22,67
2º R		16	3,4	2,8	3,2	3,13	27	20	25	24,0
					Média geral	3,25			Média geral	24,22

Tabela 7.39 – Resultados das médias de R_a e R_z

5º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	3,4	3,5	5,0	3,97	21	26	28	25,00
1º R	1	01	6,0	4,9	4,5	5,13	31	38	27	32,00
2º R		01	2,9	3,8	3,7	3,47	21	27	27	25,00
T		08	3,4	3,6	3,7	3,57	18	28	19	21,67
1º R	25	07	4,2	4,2	4,5	4,30	30	26	27	27,67
2º R		11	3,6	4,4	3,9	3,97	21	25	25	23,67
T		16	3,4	3,6	3,7	3,57	18	28	19	21,67
1º R	50	14	4,2	4,2	4,5	4,30	30	26	27	27,67
2º R		22	4,2	4,1	4,4	4,23	27	32	25	28,00
T		24	4,3	4,0	4,2	4,17	25	26	28	26,33
1º R	75	20	4,2	4,7	4,3	4,40	28	30	25	27,67
2º R		34	3,4	3,9	4,0	3,77	22	26	21	23,00
T		29	4,3	4,0	4,2	4,17	25	26	28	26,33
1º R	90	24	3,9	4,2	3,8	3,97	24	24	23	23,67
2º R		41	6,2	5,5	3,8	5,17	44	36	21	33,67
					Média geral	4,14			Média geral	26,20

Tabela 7.40 – Resultados das médias de R_a e R_z

7º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	3,1	3.8	2,9	2,93	31	27	19	21,00
1º R	1	01	2,5	4,0	4,1	2,03	14	26	31	15,00
2º R		01	4,0	2,5	2,9	3,27	25	19	26	23,67
T		12	3,9	4,5	4,5	2,93	26	36	41	21,00
1º R	25	06	4,9	4,7	4,1	3,00	31	28	28	25,67
2º R		06	4,3	4,3	4,5	3,53	27	36	31	23,67
T		24	4,3	3,8	4,7	3,13	26	27	31	23,33
1º R	50	12	4,4	5,8	3,4	4,30	27	42	22	34,33
2º R		12	4,2	4,0	4,1	4,57	27	27	29	29,00
T		37	4,4	4,7	3,8	4,37	25	26	25	31,33
1º R	75	19	4,4	3,5	5,1	4,27	29	27	32	28,00
2º R		17	5,0	2,8	3,2	2,93	31	20	25	21,00
T		44	4,4	4,7	3,8	2,03	25	26	25	15,00
1º R	90	23	4,1	3,6	4,0	3,27	26	23	27	23,66
2º R		20	3,6	3,6	5,1	2,93	27	23	32	21,00
					Média geral	3,30			Média geral	23,78

Tabela 7.41 – Resultados das médias de R_a e R_z

2º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	2,0	2,7	2,7	2,93	15	18	28	21,00
1º R	1	01	2,7	2,0	2,7	2,03	18	18	28	15,00
2º R		01	3,2	3,3	4,3	3,27	23	26	29	23,67
T		01	2,0	2,7	2,7	2,93	15	18	28	21,00
1º R	25	01	2,7	2,0	2,7	2,47	18	18	28	20,33
2º R		01	3,2	3,3	4,3	2,47	23	26	29	21,33
T		02	1,3	3,2	3,4	3,60	17	30	22	26,00
1º R	50	02	2,7	4,1	3,7	2,47	20	28	28	20,33
2º R		02	1,3	3,3	2,7	2,47	17	26	23	21,33
T		03	4,7	4,1	3,7	3,60	34	30	26	26,00
1º R	75	03	2,8	3,7	3,9	2,63	23	26	37	23,00
2º R		03	1,3	3,3	2,7	2,93	17	26	23	21,00
T		03	4,7	4,1	3,7	2,03	34	30	26	15,00
1º R	90	03	2,8	3,7	3,9	3,27	23	26	37	23,67
2º R		03	1,3	3,3	2,7	2,93	17	26	23	21,00
					Média geral	2,80			Média geral	21,31

Tabela 7.42 – Resultados das médias de R_a e R_z

12º ensaio		Rugosidade								
			R_a			(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	3,3	3,9	5,0	4,07	23	21	31	25,00
1º R	1	01	2,9	4,0	2,7	3,20	18	26	23	22,33
2º R		01	3,1	3,6	5,6	4,10	38	25	31	31,33
T		01	3,3	3,9	5,0	4,07	23	21	31	25,00
1º R	25	01	2,9	4,0	2,7	3,20	18	26	23	22,33
2º R		01	3,1	3,6	5,6	4,10	38	25	31	31,33
T		02	3,4	4,0	6,1	4,50	26	23	38	29,00
1º R	50	02	4,2	4,4	4,3	4,30	28	30	28	28,67
2º R		02	4,3	3,3	3,5	3,70	33	21	21	25,00
T		02	3,4	4,0	6,1	4,50	26	23	38	29,00
1º R	75	03	3,9	3,6	4,2	3,90	24	24	26	24,67
2º R		02	4,3	3,3	3,5	3,70	33	21	21	25,00
T		03	4,9	5,0	5,1	5,00	32	24	36	30,67
1º R	90	04	3,9	3,6	4,2	3,90	24	24	26	24,67
2º R		03	5,8	4,9	3,2	4,63	35	33	22	30,00
					Média geral	4,06			Média geral	26,90

Tabela 7.43 – Resultado da média de F_z

1º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	1608,70
1º R		01	1810,18
2º R		01	1781,60
T	25	10	
1º R		07	1615,15
2º R		07	
T	50	20	1810,18
1º R		14	
2º R		14	1684,06
T	75	31	
1º R		22	1439.67
2º R		21	
T	90	37	1615,15
1º R		26	
2º R		25	2453,46
		Média	1797,31

Tabela 7.44 – Resultado da média de F_z

11º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	1226,18
1º R		01	729,37
2º R		01	1067,41
T	25	97	1357,77
1º R		29	525,75
2º R		34	1199,49
T	50	194	1119,18
1º R		58	1387,23
2º R		68	1387,23
T	75	292	1037,16
1º R		88	1214,28
2º R		101	1357,78
T	90	350	
1º R		105	1241,02
2º R		121	1230,61
		Média	1486,59

Tabela 7.45 – Resultado da média de F_z

6º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	1509,02
1º R		01	1519,43
2º R		01	1346,19
T	25	02	1528,16
1º R		01	1519,43
2º R		01	1346,19
T	50	04	1568,35
1º R		02	1528,16
2º R		02	1377,60
T	75	05	
1º R		02	1528,16
2º R		03	1507,37
T	90	05	
1º R		03	
2º R		04	140,45
		Média	1368,21

Tabela 7.46 – Resultado da média de F_z

8º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	1396,25
1º R		01	1696,67
2º R		01	1921,88
T	25	02	2255,31
1º R		02	1809,43
2º R		05	1827,90
T	50	04	
1º R		04	716,76
2º R		10	2252,62
T	75	05	1787,45
1º R		06	2037,23
2º R		14	2304,87
T	90	05	1787,45
1º R		07	
2º R		16	3515,95
		Média	1946,91

Tabela 7.47 – Resultado da média de F_z

5º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	2083,53
1º R		01	733,65
2º R		01	737,31
T	25	08	2032,37
1º R		07	741,94
2º R		11	772,08
T	50	16	2111,64
1º R		14	2057,56
2º R		22	789,32
T	75	24	2084,46
1º R		20	778,14
2º R		34	854,48
T	90	29	2005,70
1º R		24	1943,21
2º R		41	873,55
		Média	1373,26

Tabela 7.48 – Resultado da média de F_z

7º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	2539,76
1º R		01	3003,42
2º R		01	2700,56
T	25	12	2983,99
1º R		06	
2º R		06	2612,81
T	50	24	2611,70
1º R		12	2927,92
2º R		12	
T	75	37	2660,68
1º R		19	
2º R		17	
T	90	44	3214,87
1º R		23	2904,41
2º R		20	
		Média	2816,01

Tabela 7.49 – Resultado da média de F_z

2º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	2291,72
1º R		01	2076,65
2º R		01	2076,65
T	25	01	2291,72
1º R		01	2076,65
2º R		01	2076,65
T	50	02	2286,83
1º R		02	2523,52
2º R		02	3181,86
T	75	03	2857,83
1º R		03	714,02
2º R		03	571,44
T	90	03	2857,83
1º R		03	714,02
2º R		03	571,439
		Média	1944,59

Tabela 7.50 – Resultado da média de F_z

12º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	2042,64
1º R		01	1989,54
2º R		01	2002,30
T	25	01	2042,64
1º R		01	1989,54
2º R		01	2002,30
T	50	02	2003,69
1º R		02	2003,69
2º R		02	1977,08
T	75	02	2003,69
1º R		03	2038,36
2º R		02	1977,08
T	90	03	2038,36
1º R		04	2178,15
2º R		03	1995,91
		Média	2018,99

As Tab. a seguir correspondem ao resultados detalhados dos erros de circularidade e cilindricidade (Tab. 7.51 a 7.58), rugosidades R_a e R_z (Tab. 7.59 a 7.66) e força F_z (Tab. 7.67 a 7.76) para os testes da **terceira** matriz de planejamento com os confrontos do número de paradas **(0 x 2)** e do sistema lubri-refrigerante **(Seco x Jorro)** da **Etapa 1**.

Tabela 7.51 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

1º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	25,58	30,94	28,74	29,76	16,52	26,31	31,86
1º R	1	01	37,69	35,31	30,54	37,32	34,19	35,01	38,54
2º R		01	120,61	111,36	80,64	83,36	84,52	96,10	120,61
T		10	64,06	59,08	56,01	50,64	49,72	55,90	64,06
1º R	25	07	37,41	27,81	31,29	41.94	40,87	34,35	42,29
2º R		07	153,07	96,29	75,25	76,41	82,17	96,64	161,59
T		20	52,20	45,28	52,58	55,42	47,61	50,62	55,76
1º R	50	14	46,68	31,28	40,32	53,98	56,01	45,65	59,20
2º R		14	36,52	37,01	33,31	43,63	32,53	36,60	51,60
T		31	50,94	49,95	38,82	48,10	42,56	46,07	50,94
1º R	75	22	31,43	31,30	29,63	30,43	31,98	30,95	32,37
2º R		21	71,76	54,86	42,23	42,76	62,50	54,82	71,76
T		37	51,87	43,01	45,40	50,40	31,92	44,52	52,07
1º R	90	26	34,85	34,47	36,00	36,44	32,06	34,76	37,61
2º R		25	31,71	23,00	31,13	34,62	36,59	31,41	38,51
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								47,98	60,58

Tabela 7.52 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

15º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	9,61	9,06	11,88	11,89	8,84	10,26	11,94
1º R	1	01	26,93	23,56	22,32	22,56	25,94	24,26	26,93
2º R		01	24,26	40,98	29,42	37,07	26,33	31,61	41,03
T		23	22,68	23,23	21,45	21,66	27,67	23,34	30,08
1º R	25	35	19,57	20,75	13,19	14,58	16,71	16,96	20,75
2º R		73	68,56	67,04	55,31	61,21	48,96	60,22	68,58
T		46	24,32	16,23	22,79	22,85	23,73	21,98	24,36
1º R	50	70	16,43	14,54	14,94	12,74	10,60	13,85	16,66
2º R		147	41,52	39,08	38,84	33,73	36,70	37,97	41,65
T		68	24,59	21,94	18,77	21,47	18,81	21,12	24,55
1º R	75	104	19,89	24,59	25,47	26,47	24,59	24,20	26,67
2º R		220	120,47	114,33	76,72	56,59	125,54	98,73	125,64
T		82	91,20	42,81	43,48	43,48	24,52	49,10	43,50
1º R	90	125	43,89	43,43	44,37	22,30	32,33	37,26	44,90
2º R		264	45,77	60,87	61,05	47,00	28,32	48,60	61,41
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								34,63	40,58

Tabela 7.53 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

4º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	15,80	16,32	15,67	10,20	18,91	15,38	18,91
1º R	1	01	83,23	52,21	40,94	54,74	54,72	57,17	83,27
2º R		01	54,51	32,09	32,76	38,48	40,83	39,73	54,55
T		01	15,80	16,32	15,67	10,20	18,91	15,38	18,91
1º R	25	01	83,23	52,21	40,94	54,74	54,72	57,17	83,27
2º R		01	54,51	32,09	32,76	38,48	40,83	39,73	54,55
T		03	35,51	30,41	17,20	30,98	36,82	30,18	36,89
1º R	50	03	93,02	85,28	57,06	44,69	51,41	66,29	93,02
2º R		03	31,76	44,28	43,06	40,57	38,71	39,68	44,28
T		04	82,36	89,69	28,39	50,10	90,25	68,16	90,27
1º R	75	04	83,16	83,81	67,45	43,89	65,31	68,72	83,85
2º R		04	72,62	61,99	34,16	55,44	65,48	57,94	72,62
T		05	42,94	25,71	42,96	21,89	22,39	31,18	43,01
1º R	90	05	44,,57	42,96	42,59	31,41	25,18	35,54	44,69
2º R		05	73,86	73,90	47,69	73,85	55,23	64,91	73,97
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								45,81	59,74

Tabela 7.54 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

14º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	97,30	93,98	55,20	30,73	94,82	74,41	97,44
1º R	1	01	24,11	30,76	29,81	29,67	30,99	29,07	31,13
2º R		01	56,52	49,43	31,60	35,87	57,90	46,26	57,91
T		02	52,83	45,92	22,36	18,39	38,08	35,52	52,83
1º R	25	02	66,72	53,07	20,81	35,60	66,69	48,58	66,73
2º R		02	23,14	23,17	21,79	20,39	16,54	21,01	23,19
T		03	28,88	17,74	28,74	27,67	24,93	25,59	28,92
1º R	50	03	47,50	29,45	28,31	46,75	47,41	39,88	47,54
2º R		03	77,59	97,92	109,73	100,40	118,97	100,92	119,00
T		04	43,98	47,30	47,71	49,91	56,84	49,15	56,88
1º R	75	04	67,88	76,16	66,51	68,10	68,97	69,52	79,87
2º R		03	77,59	97,92	109,73	100,40	118,97	100,92	119,00
T		04	43,98	47,30	47,71	49,91	56,84	49,15	56,88
1º R	90	04	67,88	76,16	66,51	68,10	68,97	69,52	79,87
2º R		03	77,59	97,92	109,73	100,40	118,97	100,92	119,00
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								57,36	69,08

Tabela 7.55 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

3º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	103,87	94,84	31,82	22,61	43,87	71,47	107,87
1º R	1	01	33,22	25,93	32,49	33,88	29,67	69,16	33,88
2º R		01	32,48	30,04	19,56	29,39	24,32	71,92	33,50
T		24	31,20	21,50	15,61	20,81	30,49	75,21	31,23
1º R	25	73	23,24	31,47	31,40	31,13	28,62	79,21	31,84
2º R		73	20,44	24,28	20,20	21,75	20,54	84,80	25,85
T		48	23,62	25,14	27,06	35,66	37,36	91,95	37,36
1º R	50	146	133,36	133,12	76,02	47,02	132,56	100,50	134,88
2º R		146	84,69	74,25	71,99	81,88	73,05	95,80	85,21
T		71	95,95	95,69	33,04	19,57	37,04	97,65	96,05
1º R	75	218	133,36	133,12	76,02	47,02	132,56	97,99	134,88
2º R		220	56,91	38,73	48,92	44,35	57,69	89,15	61,00
T		85	116,77	74,21	119,96	74,81	100,09	99,90	120,05
1º R	90	262	73,45	84,81	56,46	32,25	84,71	91,47	88,36
2º R		264	109,48	113,19	105,84	37,93	76,68	109,48	116,85
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								88,38	75,92

Tabela 7.56 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

13º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	33,23	27,49	33,16	36,88	30,47	32,25	36,88
1º R	1	02	63,83	35,81	36,72	16,61	63,75	43,34	63,83
2º R		01	38,37	32,70	34,44	38,39	33,85	35,55	38,39
T		07	53,73	27,21	35,03	18,71	24,72	31,88	54,16
1º R	25	07	59,81	40,51	41,80	43,63	52,39	47,63	59,81
2º R		07	69,20	60,79	69,93	46,90	61,83	61,73	69,93
T		14	34,03	34,47	35,61	32,52	30,02	33,33	38,57
1º R	50	14	29,82	42,86	18,13	40,49	37,33	33,73	42,91
2º R		14	53,36	38,57	47,08	49,60	48,91	47,50	53,36
T		20	70,36	78,14	74,74	69,49	79,14	74,37	79,47
1º R	75	21	34,57	39,39	33,29	33,92	28,97	34,03	39,72
2º R		21	32,58	39,37	39,95	44,43	30,91	37,45	44,48
T		24	48,37	36,19	41,80	37,06	45,06	41,70	49,56
1º R	90	25	38,87	37,83	39,25	35,96	28,76	36,13	39,29
2º R		25	114,92	70,04	64,21	49,54	55,17	70,78	117,83
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								44,09	55,21

Tabela 7.57 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

2º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	137,37	131,57	124,79	49,10	40,70	96,71	137,49
1º R	1	01	37,45	39,52	24,33	29,38	37,04	33,54	39,67
2º R		01	39,54	34,28	32,80	39,29	41,81	37,54	42,28
T		01	137,37	131,57	124,79	49,10	40,70	96,71	137,49
1º R	25	01	37,45	39,52	24,33	29,38	37,04	33,54	39,67
2º R		01	39,54	34,28	32,80	39,29	41,81	37,54	42,28
T		02	62,33	53,69	50,31	59,99	59,40	57,14	62,58
1º R	50	02	33,69	36,43	30,20	29,55	25,18	31,01	39,35
2º R		02	121,52	88,98	85,26	74,31	108,77	95,77	121,52
T		03	87,96	90,30	90,45	88,45	94,01	90,23	95,77
1º R	75	03	127,49	44,05	35,49	127,19	41,34	75,11	134,85
2º R		03	127,49	44,05	35,49	127,19	41,34	75,11	134,85
T		03	87,96	90,30	90,45	88,45	94,01	90,23	95,77
1º R	90	03	127,49	44,05	35,49	127,19	41,34	75,11	134,85
2º R		03	127,49	44,05	35,49	127,19	41,34	75,11	134,85
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								66,69	92,88

Tabela 7.58 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

16º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	16,88	55,70	47,26	47,79	32,52	40,03	55,81
1º R	1	01	18,35	26,76	37,45	27,42	43,18	30,63	44,22
2º R		01	25,52	25,47	22,01	16,25	19,28	21,71	25,53
T		02	38,28	19,25	32,60	31,63	23,57	29,07	38,28
1º R	25	02	32,49	32,76	27,76	27,84	32,16	30,60	32,76
2º R		02	32,49	32,76	27,76	27,84	32,16	30,60	32,76
T		03	17,29	17,71	24,76	23,86	12,99	19,32	24,78
1º R	50	03	17,57	16,10	9,81	15,64	12,96	14,42	17,62
2º R		03	25,63	26,82	16,88	27,29	17,05	22,73	27,54
T		04	44,86	44,40	58,47	58,34	50,91	51,40	65,99
1º R	75	04	42,98	36,78	17,28	33,19	45,11	35,07	45,17
2º R		04	67,84	59,95	59,78	66,10	58,92	62,59	67,96
T		04	44,86	44,40	58,47	58,34	50,91	51,40	65,99
1º R	90	05	54,84	47,18	29,23	25,61	27,39	36,85	55,35
2º R		04	67,84	59,95	59,78	66,10	58,92	62,52	67,96
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								35,93	44,52

Tabela 7.59 – Resultados das médias de R_a e R_z

1º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	2,9	2,5	3,1	2,83	21	20	24	21,67
1º R	1	01	2,4	4,2	4,6	3,73	18	33	33	28,00
2º R		01	2,2	3,3	3,8	3,10	18	27	27	24,00
T		10	4,8	4,9	5,3	5,00	37	32	29	32,67
1º R	25	07	6,9	7,0	7,2	7,03	42	44	36	40,67
2º R		07	6,9	7,0	7,2	7,03	42	44	36	40,67
T		20	4,7	6,3	4,7	5,23	27	34	30	30,33
1º R	50	14	6,7	6,0	5,5	6,06	37	35	36	36,00
2º R		14	4,3	4,2	5,0	4,50	31	28	37	32,00
T		31	5,3	5,3	5,8	5,47	33	36	35	34,67
1º R	75	22	5,7	5,2	4,7	5,20	33	31	37	33,67
2º R		21	5,7	5,2	4,7	5,20	33	31	37	33,67
T		37	5,0	5,8	4,2	5,00	35	42	25	34,00
1º R	90	26	7,5	5,5	5,7	6,23	43	37	33	37,67
2º R		25	7,5	5,5	5,7	6,23	43	37	33	37,67
					Média geral	5,19			Média geral	33,16

Tabela 7.60 – Resultados das médias de R_a e R_z

15º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	2,6	3,4	3,8	3,3	29	25	53	35,70
1º R	1	01	1,4	3,2	3,2	2,6	12	21	19	17,30
2º R		01	3,7	3,2	2,9	3,3	28	24	23	25,00
T		23	4,4	5,2	5,5	5,0	27	33	34	31,30
1º R	25	35	4,3	4,2	3,4	4,0	31	31	23	28,30
2º R		73	4,5	4,2	3,4	4,0	30	29	21	26,70
T		46	3,8	4,2	3,4	3,8	26	33	21	26,70
1º R	50	70	4,2	4,5	3,4	4,0	25	28	24	25,70
2º R		147	4,3	4,2	3,3	3,9	27	27	20	24,70
T		68	5,2	2,9	2,9	3,7	33	19	20	24,0
1º R	75	104	4,6	6,1	4,6	5,1	28	47	31	35,30
2º R		220	8,5	4,9	5,9	6,4	53	30	30	37,70
T		82	5,0	4,3	4,1	4,5	37	29	26	30,70
1º R	90	125	4,9	6,0	3,8	4,9	34	39	24	32,30
2º R		264	5,0	4,9	5,9	5,3	32	26	41	33,0
					Média geral	4,3			Média geral	28,30

Tabela 7.61 – Resultados das médias de R_a e R_z

4º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	2,9	2,9	3,0	2,93	18	23	22	21,00
1º R	1	01	2,2	2,0	1,9	2,03	16	15	14	15,00
2º R		01	3,1	3,4	3,3	3,27	22	24	25	23,67
T		01	2,9	2,9	3,0	2,93	18	23	22	21,00
1º R	25	01	2,2	2,0	1,9	2,03	16	15	14	15,00
2º R		01	3,1	3,4	3,3	3,27	22	24	25	23,67
T		03	3,1	3,0	5,0	3,70	25	21	31	25,67
1º R	50	03	3,1	2,4	2,9	2,80	25	27	24	25,33
2º R		03	3,7	2,6	1,8	2,70	31	17	17	21,67
T		04	2,7	2,8	2,2	2,57	21	26	19	22,00
1º R	75	04	2,7	2,6	1,9	2,40	21	27	14	20,67
2º R		04	2,2	1,5	2,3	2,00	20	15	20	18,33
T		05	2,9	3,0	1,8	2,57	19	26	12	19,00
1º R	90	05	2,1	4,3	2,4	2,93	17	30	19	22,00
2º R		05	2,8	2,5	1,3	2,20	21	16	14	17,00
					Média geral	2,69			Média geral	20,73

Tabela 7.62 – Resultados das médias de R_a e R_z

14º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	1,4	2,9	3,8	2,70	12	24	21	19,00
1º R	1	01	2,9	2,9	2,6	2,80	20	20	27	22,30
2º R		01	4,8	3,4	2,8	3,70	23	22	19	21,30
T		02	4,1	3,3	3,5	3,60	27	22	23	24,00
1º R	25	02	3,6	4,1	4,6	4,10	23	26	34	27,70
2º R		02	2,9	2,7	3,5	3,00	21	19	28	22,70
T		03	3,6	3,8	3,3	3,60	23	23	18	21,30
1º R	50	03	3,8	3,5	3,5	3,60	28	22	25	25,0
2º R		03	2,5	5,0	3,5	3,70	22	31	21	24,70
T		04	3,3	3,2	3,2	3,30	17	21	21	19,70
1º R	75	04	3,1	3,3	3,3	3,30	23	24	23	23,30
2º R		03	2,5	5,0	3,5	3,70	22	31	21	24,70
T		04	3,3	3,2	3,2	3,30	17	21	21	19,70
1º R	90	04	3,1	3,3	3,3	3,30	23	24	23	23,30
2º R		03	2,5	5,0	3,5	3,30	22	31	21	24,70
					Média geral	3,40			Média geral	22,90

Tabela 7.63 – Resultados das médias de R_a e R_z

3º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	2,9	3,4	4,2	3,50	22	21	36	26,33
1º R	1	01	4,4	2,2	4,1	3,57	30	17	29	25,33
2º R		01	3,5	3,9	4,0	3,80	27	27	29	27,67
T		24	4,0	4,4	4,1	4,17	23	29	29	27,00
1º R	25	73	6,3	5,8	3,9	5,33	41	39	23	34,33
2º R		73	5,7	5,1	4,8	5,20	36	35	34	35,00
T		48	4,6	4,1	4,3	4,33	28	28	27	27,67
1º R	50	146	4,0	4,0	5,0	4,33	24	28	31	27,67
2º R		146	4,1	4,3	4,0	4,13	24	28	29	27,00
T		71	4,8	6,2	5,0	5,33	31	45	30	35,33
1º R	75	218	6,8	3,6	5,0	5,13	38	27	34	33,00
2º R		220	5,8	6,1	5,2	5,70	47	42	33	40,67
T		85	4,4	3,1	1,6	3,03	31	18	12	20,33
1º R	90	262	3,7	4,5	5,3	4,50	27	34	28	29,67
2º R		264	3,2	7,6	7,0	5,93	25	44	39	36,00
					Média geral	4,53			Média geral	30,20

Tabela 7.64 – Resultados das médias de R_a e R_z

13º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	3,4	3,0	3,5	3,30	24	19	24	22,33
1º R	1	02	3,5	3,8	3,8	3,70	23	23	24	23,33
2º R		01	2,5	2,3	3,8	2,87	21	20	25	22,00
T		07	3,8	3,4	3,4	3,53	28	23	21	24,00
1º R	25	07	4,4	3,9	4,4	4,23	32	22	33	29,00
2º R		07	3,9	4,4	4,4	4,23	22	33	28	27,67
T		14	3,5	5,1	3,5	4,03	26	34	21	27,00
1º R	50	14	4.6	4,8	4,2	4,50	37	27	25	29,67
2º R		14	4,4	5,2	8,0	5,87	28	37	26	30,33
T		20	3,6	3,3	4,0	3,63	25	23	27	25,00
1º R	75	21	6,3	3,6	6,7	5,53	38	26	39	34,33
2º R		21	6,4	4,6	5,5	5,50	36	29	38	34,33
T		24	5,2	4,4	5,3	4,97	31	30	30	30,33
1º R	90	25	3,5	5,1	3,5	4,03	26	34	21	27,00
2º R		25	6,5	4,5	7,3	6,10	36	32	45	37,67
					Média geral	4,40			Média geral	28,27

Tabela 7.65 – Resultados das médias de R_a e R_z

2º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	2,0	2,7	2,7	2,93	15	18	28	21,00
1º R	1	01	2,7	2,0	2,7	2,03	18	18	28	15,00
2º R		01	3,2	3,3	4,3	3,27	23	26	29	23,67
T		01	2,0	2,7	2,7	2,93	15	18	28	21,00
1º R	25	01	2,7	2,0	2,7	2,47	18	18	28	20,33
2º R		01	3,2	3,3	4,3	2,47	23	26	29	21,33
T		02	1,3	3,2	3,4	3,60	17	30	22	26,00
1º R	50	02	2,7	4,1	3,7	2,47	20	28	28	20,33
2º R		02	1,3	3,3	2,7	2,47	17	26	23	21,33
T		03	4,7	4,1	3,7	3,60	34	30	26	26,00
1º R	75	03	2,8	3,7	3,9	2,63	23	26	37	23,00
2º R		03	1,3	3,3	2,7	2,93	17	26	23	21,00
T		03	4,7	4,1	3,7	2,03	34	30	26	15,00
1º R	90	03	2,8	3,7	3,9	3,27	23	26	37	23,67
2º R		03	1,3	3,3	2,7	2,93	17	26	23	21,00
					Média geral	2,80			Média geral	21,31

Tabela 7.66 – Resultados das médias de R_a e R_z

16º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	6,1	3,1	3,0	4,07	87	28	31	48,67
1º R	1	01	3,8	3,6	3,7	3,70	37	30	36	34,33
2º R		01	0,8	4,0	4,5	3,10	23	26	34	27,67
T		02	2,8	4,0	3,6	3,47	36	26	43	35,00
1º R	25	02	3,8	3,6	3,7	3,70	37	30	36	34,33
2º R		02	3,0	3,5	3,3	3,27	27	24	31	27,33
T		03	3,0	3,6	6,6	4,40	21	25	44	30,00
1º R	50	03	3,3	2,9	3,8	3,33	31	22	41	31,33
2º R		03	3,2	4,4	4,3	3,97	24	23	39	28,67
T		04	3,0	4,3	3,7	3,67	27	34	38	33,00
1º R	75	04	3,5	4,6	5,6	4,57	34	35	71	46,67
2º R		04	3,2	3,0	3,3	3,17	18	27	34	26,33
T		04	3,0	4,3	3,7	3,67	27	34	38	33,00
1º R	90	05	3,0	2,1	2,2	2,43	38	22	17	25,67
2º R		04	3,2	3,0	3,3	3,17	18	27	34	26,33
					Média geral	3,60			Média geral	30,83

Tabela 7.67 – Resultado da média de F_z

1º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	1608,70
1º R		01	1810,18
2º R		01	1781,60
T	25	10	
1º R		07	1615,15
2º R		07	
T	50	20	1810,18
1º R		14	
2º R		14	1684,06
T	75	31	
1º R		22	1439.67
2º R		21	
T	90	37	1615,15
1º R		26	
2º R		25	2453,46
		Média	1797,31

Tabela 7.68 – Resultado da média de F_z

15º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	1069,11
1º R		01	1102,37
2º R		01	1079,53
T	25	23	1181,71
1º R		35	985,96
2º R		73	1049,87
T	50	46	
1º R		70	1089,80
2º R		147	
T	75	68	
1º R		104	1090,12
2º R		220	857,81
T	90	82	
1º R		125	799,90
2º R		264	997,27
		Média	1027,58

Tabela 7.69 – Resultado da média de F_z

4º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	1573,56
1º R		01	1246,37
2º R		01	1510,26
T	25	01	1573,56
1º R		01	1246,37
2º R		01	1510,26
T	50	03	
1º R		03	
2º R		03	1188,85
T	75	04	1246,37
1º R		04	
2º R		04	1355,72
T	90	05	5430,68
1º R		05	
2º R		05	1992,71
		Média	1806,79

Tabela 7.70 – Resultado da média de F_z

14º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	1484,64
1º R		01	1419,29
2º R		01	328,389
T	25	02	1537,60
1º R		02	1596,62
2º R		02	365,111
T	50	03	1604,64
1º R		03	1959,76
2º R		03	
T	75	04	1657,63
1º R		04	
2º R		03	
T	90	05	1978,96
1º R		04	
2º R		03	
		Média	1393,26

Tabela 7.71 – Resultado da média de F_z

3º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	2391,14
1º R		01	2028,76
2º R		01	2108,94
T	25	24	1822,14
1º R		73	862,00
2º R		73	2348,47
T	50	48	828,17
1º R		146	2453,09
2º R		146	2453,09
T	75	71	1778,66
1º R		218	2535,86
2º R		220	2454,52
T	90	85	2486,29
1º R		262	3109,84
2º R		264	2566,25
		Média	2148,48

Tabela 7.74 – Resultado da média de F_z

13º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	2056,52
1º R		02	2287,23
2º R		01	1392,25
T	25	07	
1º R		07	
2º R		07	
T	50	14	
1º R		14	2193,91
2º R		14	
T	75	20	
1º R		21	
2º R		21	
T	90	24	1951,89
1º R		25	2164,56
2º R		25	1282,07
		Média	1904,06

Tabela 7.75 – Resultado da média de F_z

2º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	2291,72
1º R		01	2076,65
2º R		01	2076,65
T	25	01	2291,72
1º R		01	2076,65
2º R		01	2076,65
T	50	02	2286,83
1º R		02	2523,52
2º R		02	3181,86
T	75	03	2857,83
1º R		03	714,02
2º R		03	571,44
T	90	03	2857,83
1º R		03	714,02
2º R		03	571,439
		Média	1944,49

Tabela 7.76 – Resultado da média de F_z

16º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	
1º R		01	1593,05
2º R		01	1783,14
T	25	02	1593,05
1º R		02	1783,14
2º R		02	1783,14
T	50	03	
1º R		03	
2º R		03	
T	75	04	
1º R		04	
2º R		04	
T	90	04	
1º R		05	
2º R		04	1607,43
		Média	1661,21

As Tab. a seguir correspondem ao resultados detalhados dos erros de circularidade e cilindricidade (Tab. 7.77 a 784.), rugosidades R_a e R_z (Tab. 7.85 a 7.92) e força F_z (Tab. 7.93 a 7.100) para os testes da **quarta** matriz de planejamento com os confrontos do número de paradas **(0 x 2)** e do sistema lubri-refrigerante **(Seco x MQF)** da **Etapa 1**.

Tabela 7.77 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

1º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	25,58	30,94	28,74	29,76	16,52	26,31	31,86
1º R	1	01	37,69	35,31	30,54	37,32	34,19	35,01	38,54
2º R		01	120,61	111,36	80,64	83,36	84,52	96,10	120,61
T		10	64,06	59,08	56,01	50,64	49,72	55,90	64,06
1º R	25	07	37,41	27,81	31,29	41.94	40,87	34,35	42,29
2º R		07	153,07	96,29	75,25	76,41	82,17	96,64	161,59
T		20	52,20	45,28	52,58	55,42	47,61	50,62	55,76
1º R	50	14	46,68	31,28	40,32	53,98	56,01	45,65	59,20
2º R		14	36,52	37,01	33,31	43,63	32,53	36,60	51,60
T		31	50,94	49,95	38,82	48,10	42,56	46,07	50,94
1º R	75	22	31,43	31,30	29,63	30,43	31,98	30,95	32,37
2º R		21	71,76	54,86	42,23	42,76	62,50	54,82	71,76
T		37	51,87	43,01	45,40	50,40	31,92	44,52	52,07
1º R	90	26	34,85	34,47	36,00	36,44	32,06	34,76	37,61
2º R		25	31,71	23,00	31,13	34,62	36,59	31,41	38,51
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								47,98	60,58

Tabela 7.78 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

17º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	47,01	39,35	35,04	39,98	43,10	40,90	48,26
1º R	1	01	45,60	22,71	24,44	32,76	37,36	32,57	47,49
2º R		01	46,88	35,24	51,62	51,11	39,33	44,84	51,63
T		09	33,55	43,85	27,47	38,11	44,25	37,45	44,28
1º R	25	13	80,98	42,18	36,39	28,17	27,11	42,97	95,37
2º R		09	111,85	110,66	47,88	61,82	107,50	87,94	112,06
T		19	75,49	51,92	25,24	26,37	38,04	43,41	75,49
1º R	50	26	113,95	96,63	56,82	45,13	85,23	79,55	148,15
2º R		18	39,35	41,92	42,22	25,30	25,63	34,88	42,45
T		28	74,40	74,37	54,47	40,70	28,21	54,43	74,41
1º R	75	38	29,21	34,96	31,58	33,82	32,59	32,43	34,99
2º R		27	47,26	44,65	35,78	12,93	33,16	34,76	47,35
T		33	37,16	37,36	27,35	30,64	33,90	33,28	37,76
1º R	90	46	90,91	85,44	41,02	75,67	88,28	76,26	91,05
2º R		32	68,00	57,76	48,21	48,14	63,50	57,12	68,06
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								48,85	67,92

Tabela 7.79 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

6º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	129,02	86,93	58,71	56,62	47,97	75,85	129,02
1º R	1	01	52,02	68,36	68,98	109,82	20,51	63,94	270,53
2º R		01	20,74	14,45	19,01	18,16	20,54	18,58	22,41
T		02	333,43	279,60	104,83	152,15	231,96	220,39	337,81
1º R	25	01	52,02	68,36	68,98	109,82	20,51	63,94	270,53
2º R		01	20,74	14,45	19,01	18,16	20,54	18,58	22,41
T		04	49,24	22,14	37,78	113,73	12,38	47,05	258,22
1º R	50	02	39,13	58,28	46,29	46,27	37,92	45,58	119,73
2º R		02	42,73	35,33	27,36	45,65	43,32	38,88	48,64
T		05	49,24	22,14	37,78	113,73	12,38	47,05	258,22
1º R	75	02	39,13	58,28	46,29	46,27	37,92	45,58	119,73
2º R		03	44,44	33,05	27,36	45,65	45,32	39,16	48,64
T		05	49,24	22,14	37,78	113,73	12,38	47,05	258,22
1º R	90	03	34,56	26,44	27,82	23,72	33,59	29,22	34,82
2º R		04	28,46	25,21	25,91	24,90	26,45	26,19	29,84
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								55,136	148,58

Tabela 7.80 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

14º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	97,30	93,98	55,20	30,73	94,82	74,41	97,44
1º R	1	01	24,11	30,76	29,81	29,67	30,99	29,07	31,13
2º R		01	56,52	49,43	31,60	35,87	57,90	46,26	57,91
T		02	52,83	45,92	22,36	18,39	38,08	35,52	52,83
1º R	25	02	66,72	53,07	20,81	35,60	66,69	48,58	66,73
2º R		02	23,14	23,17	21,79	20,39	16,54	21,01	23,19
T		03	28,88	17,74	28,74	27,67	24,93	25,59	28,92
1º R	50	03	47,50	29,45	28,31	46,75	47,41	39,88	47,54
2º R		03	77,59	97,92	109,73	100,40	118,97	100,92	119,00
T		04	43,98	47,30	47,71	49,91	56,84	49,15	56,88
1º R	75	04	67,88	76,16	66,51	68,10	68,97	69,52	79,87
2º R		03	77,59	97,92	109,73	100,40	118,97	100,92	119,00
T		04	43,98	47,30	47,71	49,91	56,84	49,15	56,88
1º R	90	04	67,88	76,16	66,51	68,10	68,97	69,52	79,87
2º R		03	77,59	97,92	109,73	100,40	118,97	100,92	119,00
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								57,36	69,08

Tabela 7.81 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

5º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	27,09	27,65	25,01	30,76	24,02	26,91	30,88
1º R	1	01	62,23	59,76	49,86	40,59	50,17	52,52	62,26
2º R		01	131,90	141,45	54,29	49,51	117,84	98,99	141,47
T		08	56,33	48,34	25,16	55,14	44,48	45,89	56,33
1º R	25	07	58,62	60,24	56,24	50,06	33,55	51,74	60,32
2º R		11	70,47	71,06	58,86	56,95	43,57	60,18	71,47
T		16	105,27	60,64	47,86	56,52	43,14	62,69	105,28
1º R	50	14	105,27	60,64	47,86	56,52	43,14	62,69	105,28
2º R		22	105,27	60,64	47,86	56,52	43,14	62,69	105,28
T		24	154,81	120,79	145,27	87,25	63,34	114,29	179,08
1º R	75	20	84,11	56,70	63,21	43,18	87,65	66,97	87,76
2º R		34	42,97	50,03	46,03	52,98	39,71	46,34	53,06
T		29	71,89	30,67	54,19	65,60	26,32	49,73	106,36
1º R	90	24	106,80	36,61	44,10	41,34	37,94	53,36	66,44
2º R		41	43,14	49,23	42,87	38,11	29,45	40,56	49,67
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								59,70	85,40

Tabela 7.82 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

13º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	33,23	27,49	33,16	36,88	30,47	32,25	36,88
1º R	1	02	63,83	35,81	36,72	16,61	63,75	43,34	63,83
2º R		01	38,37	32,70	34,44	38,39	33,85	35,55	38,39
T		07	53,73	27,21	35,03	18,71	24,72	31,88	54,16
1º R	25	07	59,81	40,51	41,80	43,63	52,39	47,63	59,81
2º R		07	69,20	60,79	69,93	46,90	61,83	61,73	69,93
T		14	34,03	34,47	35,61	32,52	30,02	33,33	38,57
1º R	50	14	29,82	42,86	18,13	40,49	37,33	33,73	42,91
2º R		14	53,36	38,57	47,08	49,60	48,91	47,50	53,36
T		20	70,36	78,14	74,74	69,49	79,14	74,37	79,47
1º R	75	21	34,57	39,39	33,29	33,92	28,97	34,03	39,72
2º R		21	32,58	39,37	39,95	44,43	30,91	37,45	44,48
T		24	48,37	36,19	41,80	37,06	45,06	41,70	49,56
1º R	90	25	38,87	37,83	39,25	35,96	28,76	36,13	39,29
2º R		25	114,92	70,04	64,21	49,54	55,17	70,78	117,83
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								44,09	55,21

Tabela 7.83 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

2º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	137,37	131,57	124,79	49,10	40,70	96,71	137,49
1º R	1	01	37,45	39,52	24,33	29,38	37,04	33,54	39,67
2º R		01	39,54	34,28	32,80	39,29	41,81	37,54	42,28
T		01	137,37	131,57	124,79	49,10	40,70	96,71	137,49
1º R	25	01	37,45	39,52	24,33	29,38	37,04	33,54	39,67
2º R		01	39,54	34,28	32,80	39,29	41,81	37,54	42,28
T		02	62,33	53,69	50,31	59,99	59,40	57,14	62,58
1º R	50	02	33,69	36,43	30,20	29,55	25,18	31,01	39,35
2º R		02	121,52	88,98	85,26	74,31	108,77	95,77	121,52
T		03	87,96	90,30	90,45	88,45	94,01	90,23	95,77
1º R	75	03	127,49	44,05	35,49	127,19	41,34	75,11	134,85
2º R		03	127,49	44,05	35,49	127,19	41,34	75,11	134,85
T		03	87,96	90,30	90,45	88,45	94,01	90,23	95,77
1º R	90	03	127,49	44,05	35,49	127,19	41,34	75,11	134,85
2º R		03	127,49	44,05	35,49	127,19	41,34	75,11	134,85
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								66,69	92,88

Tabela 7.84 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

18º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	89,64	88,14	53,95	61,85	80,50	74,82	98,43
1º R	1	01	91,09	76,37	54,85	70,29	78,22	74,16	91,28
2º R		01	61,79	59,17	60,66	24,12	38,16	48,78	65,22
T		01	89,64	88,14	53,95	61,85	80,50	74,82	98,43
1º R	25	01	91,09	76,37	54,85	70,29	78,22	74,16	91,28
2º R		01	61,79	59,17	60,66	24,12	38,16	48,78	65,22
T		02	93,00	81,72	45,87	44,29	70,23	67,02	93,00
1º R	50	02	96,03	74,75	58,76	64,34	68,89	72,55	96,05
2º R		02	77,25	88,45	86,34	34,80	41,67	65,70	88,48
T		02	93,00	81,72	45,87	44,29	70,23	67,02	93,00
1º R	75	03	92,71	55,27	92,37	60,72	22,59	64,73	93,00
2º R		02	77,25	88,45	86,34	34,80	41,67	65,70	88,48
T		03	98,10	81,21	56,20	27,64	41,74	60,98	105,65
1º R	90	04	92,71	55,27	92,37	60,72	22,59	64,73	93,00
2º R		03	97,64	133,06	53,57	40,27	138,04	92,52	138,13
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								67,76	93,24

Tabela 7.85 – Resultados das médias de R_a e R_z

1º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	2,9	2,5	3,1	2,83	21	20	24	21,67
1º R	1	01	2,4	4,2	4,6	3,73	18	33	33	28,00
2º R		01	2,2	3,3	3,8	3,10	18	27	27	24,00
T		10	4,8	4,9	5,3	5,00	37	32	29	32,67
1º R	25	07	6,9	7,0	7,2	7,03	42	44	36	40,67
2º R		07	6,9	7,0	7,2	7,03	42	44	36	40,67
T		20	4,7	6,3	4,7	5,23	27	34	30	30,33
1º R	50	14	6,7	6,0	5,5	6,06	37	35	36	36,00
2º R		14	4,3	4,2	5,0	4,50	31	28	37	32,00
T		31	5,3	5,3	5,8	5,47	33	36	35	34,67
1º R	75	22	5,7	5,2	4,7	5,20	33	31	37	33,67
2º R		21	5,7	5,2	4,7	5,20	33	31	37	33,67
T		37	5,0	5,8	4,2	5,00	35	42	25	34,00
1º R	90	26	7,5	5,5	5,7	6,23	43	37	33	37,67
2º R		25	7,5	5,5	5,7	6,23	43	37	33	37,67
					Média geral	5,19			Média geral	33,16

Tabela 7.86 – Resultados das médias de R_a e R_z

17º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	4,0	3,6	2,9	3,50	35	23	21	26,33
1º R	1	01	4,2	5,2	4,0	4,47	26	33	27	28,67
2º R		01	2,9	3,6	3,4	3,30	24	22	21	22,33
T		97	6,5	5,5	4,2	5,40	37	36	25	32,67
1º R	25	29	5,1	4,6	4,4	4,70	36	29	25	30,00
2º R		34	3,8	3,5	4,4	3,90	21	23	28	24,00
T		194	5,5	6,1	6,2	5,93	40	34	44	39,33
1º R	50	58	4,3	4,2	3,7	4,07	30	25	25	26,67
2º R		68	5,0	4,9	3,9	4,60	29	29	26	28,00
T		292	4,2	5,8	4,4	4,80	32	41	26	33,00
1º R	75	88	3,8	5,5	1,3	3,53	22	33	21	25,33
2º R		101	4,5	5,0	6,6	5,37	27	27	32	28,67
T		350	4,5	5,5	5,5	5,17	34	42	36	37,33
1º R	90	105	2,6	5,2	5,7	4,50	23	37	37	32,33
2º R		121	5,5	6,1	6,2	5,93	40	34	44	39,33
					Média geral	4,60			Média geral	30,27

Tabela 7.87 – Resultados das médias de R_a e R_z

6º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	3,9	4,4	4,4	4,23	29	31	35	31,67
1º R	1	01	4,1	3,2	5,7	4,33	29	20	40	29,67
2º R		01	4,8	3,2	4,1	4,03	36	22	25	27,67
T		02	3,9	4,4	4,4	4,23	29	31	35	31,67
1º R	25	01	4,1	3,2	5,7	4,33	29	20	40	29,67
2º R		01	4,8	3,2	4,1	4,03	36	22	25	27,67
T		04	3,9	4,4	4,4	4,23	29	31	35	31,67
1º R	50	02	4,1	3,2	5,7	4,33	29	20	40	29,67
2º R		02	4,8	3,2	4,1	4,03	36	22	25	27,67
T		05	5,7	3,3	3,7	4,23	40	21	24	28,33
1º R	75	02	4,1	3,2	5,7	4,33	29	20	40	29,67
2º R		03	3,4	3,4	3,7	3,50	28	21	24	24,33
T		05	3,4	3,3	3,7	3,47	28	21	20	23,00
1º R	90	03	5,7	3,3	3,7	4,23	40	21	24	28,33
2º R		04	3,4	3,3	3,7	3,47	28	21	20	23,00
					Média geral	4,07			Média geral	28,24

Tabela 7.88 – Resultados das médias de R_a e R_z

14º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	1,4	2,9	3,8	2,70	12	24	21	19,00
1º R	1	01	2,9	2,9	2,6	2,80	20	20	27	22,30
2º R		01	4,8	3,4	2,8	3,70	23	22	19	21,30
T		02	4,1	3,3	3,5	3,60	27	22	23	24,00
1º R	25	02	3,6	4,1	4,6	4,10	23	26	34	27,70
2º R		02	2,9	2,7	3,5	3,00	21	19	28	22,70
T		03	3,6	3,8	3,3	3,60	23	23	18	21,30
1º R	50	03	3,8	3,5	3,5	3,60	28	22	25	25,0
2º R		03	2,5	5,0	3,5	3,70	22	31	21	24,70
T		04	3,3	3,2	3,2	3,30	17	21	21	19,70
1º R	75	04	3,1	3,3	3,3	3,30	23	24	23	23,30
2º R		03	2,5	5,0	3,5	3,70	22	31	21	24,70
T		04	3,3	3,2	3,2	3,30	17	21	21	19,70
1º R	90	04	3,1	3,3	3,3	3,30	23	24	23	23,30
2º R		03	2,5	5,0	3,5	3,30	22	31	21	24,70
					Média geral	3,40			Média geral	22,90

Tabela 7.89 – Resultados das médias de R_a e R_z

5º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	3,4	3,5	5,0	3,97	21	26	28	25,00
1º R	1	01	6,0	4,9	4,5	5,13	31	38	27	32,00
2º R		01	2,9	3,8	3,7	3,47	21	27	27	25,00
T		08	3,4	3,6	3,7	3,57	18	28	19	21,67
1º R	25	07	4,2	4,2	4,5	4,30	30	26	27	27,67
2º R		11	3,6	4,4	3,9	3,97	21	25	25	23,67
T		16	3,4	3,6	3,7	3,57	18	28	19	21,67
1º R	50	14	4,2	4,2	4,5	4,30	30	26	27	27,67
2º R		22	4,2	4,1	4,4	4,23	27	32	25	28,00
T		24	4,3	4,0	4,2	4,17	25	26	28	26,33
1º R	75	20	4,2	4,7	4,3	4,40	28	30	25	27,67
2º R		34	3,4	3,9	4,0	3,77	22	26	21	23,00
T		29	4,3	4,0	4,2	4,17	25	26	28	26,33
1º R	90	24	3,9	4,2	3,8	3,97	24	24	23	23,67
2º R		41	6,2	5,5	3,8	5,17	44	36	21	33,67
					Média geral	4,14			Média geral	26,20

Tabela 7.90 – Resultados das médias de R_a e R_z

13º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	3,4	3,0	3,5	3,30	24	19	24	22,33
1º R	1	02	3,5	3,8	3,8	3,70	23	23	24	23,33
2º R		01	2,5	2,3	3,8	2,87	21	20	25	22,00
T		07	3,8	3,4	3,4	3,53	28	23	21	24,00
1º R	25	07	4,4	3,9	4,4	4,23	32	22	33	29,00
2º R		07	3,9	4,4	4,4	4,23	22	33	28	27,67
T		14	3,5	5,1	3,5	4,03	26	34	21	27,00
1º R	50	14	4.6	4,8	4,2	4,50	37	27	25	29,67
2º R		14	4,4	5,2	8,0	5,87	28	37	26	30,33
T		20	3,6	3,3	4,0	3,63	25	23	27	25,00
1º R	75	21	6,3	3,6	6,7	5,53	38	26	39	34,33
2º R		21	6,4	4,6	5,5	5,50	36	29	38	34,33
T		24	5,2	4,4	5,3	4,97	31	30	30	30,33
1º R	90	25	3,5	5,1	3,5	4,03	26	34	21	27,00
2º R		25	6,5	4,5	7,3	6,10	36	32	45	37,67
					Média geral	4,40			Média geral	28,27

Tabela 7.91 – Resultados das médias de R_a e R_z

2º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	2,0	2,7	2,7	2,93	15	18	28	21,00
1º R	1	01	2,7	2,0	2,7	2,03	18	18	28	15,00
2º R		01	3,2	3,3	4,3	3,27	23	26	29	23,67
T		01	2,0	2,7	2,7	2,93	15	18	28	21,00
1º R	25	01	2,7	2,0	2,7	2,47	18	18	28	20,33
2º R		01	3,2	3,3	4,3	2,47	23	26	29	21,33
T		02	1,3	3,2	3,4	3,60	17	30	22	26,00
1º R	50	02	2,7	4,1	3,7	2,47	20	28	28	20,33
2º R		02	1,3	3,3	2,7	2,47	17	26	23	21,33
T		03	4,7	4,1	3,7	3,60	34	30	26	26,00
1º R	75	03	2,8	3,7	3,9	2,63	23	26	37	23,00
2º R		03	1,3	3,3	2,7	2,93	17	26	23	21,00
T		03	4,7	4,1	3,7	2,03	34	30	26	15,00
1º R	90	03	2,8	3,7	3,9	3,27	23	26	37	23,67
2º R		03	1,3	3,3	2,7	2,93	17	26	23	21,00
					Média geral	2,80			Média geral	21,31

Tabela 7.92 – Resultados das médias de R_a e R_z

18º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	3,7	2,7	4,4	3,60	34	23	33	30,00
1º R	1	01	4,1	4,1	4,2	4,13	39	24	32	31,67
2º R		01	2,4	6,0	4,5	4,30	21	40	29	30,00
T		01	3,7	2,7	4,4	3,60	34	23		28,50
1º R	25	01	4,1	4,1	4,2	4,13	39	24	32	31,67
2º R		01	2,4	6,0	4,5	4,30	21	40	29	30,00
T		02	4,2	4,5	3,4	4,03	51	71	36	52,67
1º R	50	02	3,5	4,5	4,3	4,10	25	29	26	26,67
2º R		02	8,3	3,7	4,2	5,40	51	24	50	41,67
T		02	4,2	4,5	3,4	4,03	51	71	36	52,67
1º R	75	03	3,6	3,3	4,7	3,87	42	32	48	40,67
2º R		02	8,3	3,7	4,2	5,40	51	24	50	41,67
T		03	4,2	4,5	3,4	4,03	51	71	36	52,67
1º R	90	04	3,6	3,3	4,7	3,87	42	32	48	40,67
2º R		03	4,2	4,5	3,4	4,03	51	71	36	52,67
					Média geral	4,19			Média geral	38,92

Tabela 7.93 – Resultado da média de F_z

1º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	1608,70
1º R		01	1810,18
2º R		01	1781,60
T	25	10	
1º R		07	1615,15
2º R		07	
T	50	20	1810,18
1º R		14	
2º R		14	1684,06
T	75	31	
1º R		22	1439.67
2º R		21	
T	90	37	1615,15
1º R		26	
2º R		25	2453,46
		Média	1797,31

Tabela 7.94 – Resultado da média de F_z

17º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	1312,31
1º R		01	1311,01
2º R		01	1376,99
T	25	09	
1º R		13	1436,45
2º R		09	1453,14
T	50	19	1312,31
1º R		26	1521,90
2º R		18	1612,08
T	75	28	
1º R		38	1565,48
2º R		27	1693,37
T	90	33	1969,88
1º R		46	1607,87
2º R		32	1673,39
		Média	1526,63

Tabela 7.95 – Resultado da média de F_z

6º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	1509,02
1º R		01	1519,43
2º R		01	1346,19
T	25	02	1528,16
1º R		01	1519,43
2º R		01	1346,19
T	50	04	1568,35
1º R		02	1528,16
2º R		02	1377,60
T	75	05	
1º R		02	1528,16
2º R		03	1507,37
T	90	05	
1º R		03	
2º R		04	140,45
		Média	1368,21

Tabela 7.96 – Resultado da média de F_z

14º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	1484,64
1º R		01	1419,29
2º R		01	328,389
T	25	02	1537,60
1º R		02	1596,62
2º R		02	365,111
T	50	03	1604,64
1º R		03	1959,76
2º R		03	
T	75	04	1657,63
1º R		04	
2º R		03	
T	90	05	1978,96
1º R		04	
2º R		03	
		Média	1393,26

Tabela 7.97 – Resultado da média de F_z

5º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	2083,53
1º R		01	733,65
2º R		01	737,31
T	25	08	2032,37
1º R		07	741,94
2º R		11	772,08
T	50	16	2111,64
1º R		14	2057,56
2º R		22	789,32
T	75	24	2084,46
1º R		20	778,14
2º R		34	854,48
T	90	29	2005,70
1º R		24	1943,21
2º R		41	873,55
		Média	1373,26

Tabela 7.98 – Resultado da média de F_z

13º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	2056,52
1º R		02	2287,23
2º R		01	1392,25
T	25	07	
1º R		07	
2º R		07	
T	50	14	
1º R		14	2193,91
2º R		14	
T	75	20	
1º R		21	
2º R		21	
T	90	24	1951,89
1º R		25	2164,56
2º R		25	1282,07
		Média	1904,06

Tabela 7.99 – Resultado da média de F_z

2º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	2291,72
1º R		01	2076,65
2º R		01	2076,65
T	25	01	2291,72
1º R		01	2076,65
2º R		01	2076,65
T	50	02	2286,83
1º R		02	2523,52
2º R		02	3181,86
T	75	03	2857,83
1º R		03	714,02
2º R		03	571,44
T	90	03	2857,83
1º R		03	714,02
2º R		03	571,439
		Média	1944,59

Tabela 7.100 – Resultado da média de F_z

18º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	2042,74
1º R		01	1939,94
2º R		01	1968,99
T	25	01	2042,74
1º R		01	1939,94
2º R		01	1968,99
T	50	02	2042,74
1º R		02	1939,94
2º R		02	1968,99
T	75	02	2042,74
1º R		03	
2º R		02	2042,74
T	90	03	
1º R		04	
2º R		03	
		Média	1983,89

As Tab. a seguir correspondem ao resultados detalhados dos erros de circularidade e cilindricidade (Tab. 7.101 a 7.108), rugosidades R_a e R_z (Tab. 7.109 a 7.116) e força F_z (Tab. 7.117 a 7.123) para os testes da **quinta** matriz de planejamento com os confrontos do número de paradas **(0 x 3)** e do sistema lubri-refrigerante **(Seco x jorro)** da **Etapa 1**.

Tabela 7.101 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

1º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	25,58	30,94	28,74	29,76	16,52	26,31	31,86
1º R	1	01	37,69	35,31	30,54	37,32	34,19	35,01	38,54
2º R		01	120,61	111,36	80,64	83,36	84,52	96,10	120,61
T		10	64,06	59,08	56,01	50,64	49,72	55,90	64,06
1º R	25	07	37,41	27,81	31,29	41.94	40,87	34,35	42,29
2º R		07	153,07	96,29	75,25	76,41	82,17	96,64	161,59
T		20	52,20	45,28	52,58	55,42	47,61	50,62	55,76
1º R	50	14	46,68	31,28	40,32	53,98	56,01	45,65	59,20
2º R		14	36,52	37,01	33,31	43,63	32,53	36,60	51,60
T		31	50,94	49,95	38,82	48,10	42,56	46,07	50,94
1º R	75	22	31,43	31,30	29,63	30,43	31,98	30,95	32,37
2º R		21	71,76	54,86	42,23	42,76	62,50	54,82	71,76
T		37	51,87	43,01	45,40	50,40	31,92	44,52	52,07
1º R	90	26	34,85	34,47	36,00	36,44	32,06	34,76	37,61
2º R		25	31,71	23,00	31,13	34,62	36,59	31,41	38,51
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								47,98	60,58

Tabela 7.102 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

21º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	40,76	37,18	19,29	28,14	29,40	30,95	40,88
1º R	1	01	55,72	55,76	33,36	20,88	45,78	42,30	55,77
2º R		01	66,29	56,61	65,88	60,84	74,26	64,78	74,33
T		16	74,51	81,43	85,10	69,38	42,34	70,55	85,73
1º R	25	28	48,68	60,25	56,06	22,61	31,99	43,92	60,84
2º R		76	68,74	77,11	73,68	71,45	77,84	73,76	82,99
T		32	47,65	59,25	25,64	34,12	59,28	45,19	59,32
1º R	50	56	37,58	27,07	30,89	39,65	41,62	35,36	41,62
2º R		152	54,04	71,19	53,38	50,36	58,16	57,43	71,97
T		47	48,74	31,27	48,64	36,74	46,73	42,42	48,81
1º R	75	83	26,93	33,52	27,66	26,76	30,11	28,99	33,53
2º R		229	54,04	71,19	53,38	50,36	58,16	57,43	71,97
T		56	37,58	27,07	30,89	39,65	41,62	35,36	41,62
1º R	90	99	63,34	58,03	37,95	54,43	63,27	55,40	63,34
2º R		275	106,51	113,69	38,21	108,15	36,91	80,69	114,89
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								50,97	63,17

Tabela 7.103 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

4º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	15,80	16,32	15,67	10,20	18,91	15,38	18,91
1º R	1	01	83,23	52,21	40,94	54,74	54,72	57,17	83,27
2º R		01	54,51	32,09	32,76	38,48	40,83	39,73	54,55
T		01	15,80	16,32	15,67	10,20	18,91	15,38	18,91
1º R	25	01	83,23	52,21	40,94	54,74	54,72	57,17	83,27
2º R		01	54,51	32,09	32,76	38,48	40,83	39,73	54,55
T		03	35,51	30,41	17,20	30,98	36,82	30,18	36,89
1º R	50	03	93,02	85,28	57,06	44,69	51,41	66,29	93,02
2º R		03	31,76	44,28	43,06	40,57	38,71	39,68	44,28
T		04	82,36	89,69	28,39	50,10	90,25	68,16	90,27
1º R	75	04	83,16	83,81	67,45	43,89	65,31	68,72	83,85
2º R		04	72,62	61,99	34,16	55,44	65,48	57,94	72,62
T		05	42,94	25,71	42,96	21,89	22,39	31,18	43,01
1º R	90	05	44,,57	42,96	42,59	31,41	25,18	35,54	44,69
2º R		05	73,86	73,90	47,69	73,85	55,23	64,91	73,97
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								45,81	59,74

Tabela 7.104 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

20º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	69,39	66,91	91,97	79,73	89,80	79,56	92,00
1º R	1	01	53,61	70,61	63,71	68,21	47,33	60,69	70,61
2º R		01	86,44	47,72	63,68	53,94	86,28	67,61	86,49
T		01	69,39	66,91	91,97	79,73	89,80	79,56	92,00
1º R	25	01	53,61	70,61	63,71	68,21	47,33	60,69	70,61
2º R		01	86,44	47,72	63,68	53,94	86,28	67,61	86,49
T		02	72,19	73,55	74,76	53,54	60,76	66,96	74,78
1º R	50	02	68,91	41,11	49,41	59,11	56,20	54,95	56,22
2º R		02	51,85	55,82	63,02	47,49	66,14	56,86	66,14
T		02	72,19	73,55	74,76	53,54	60,76	66,96	74,78
1º R	75	02	68,91	41,11	49,41	59,11	56,20	54,95	56,22
2º R		02	51,85	55,82	63,02	47,49	66,14	56,86	66,14
T		03	122,95	124,33	126,36	103,62	106,13	116,68	126,52
1º R	90	03	84,39	65,58	36,72	67,32	82,16	67,23	85,79
2º R		03	74,41	64,92	49,49	73,37	75,81	67,60	91,63
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								68,32	79,76

Tabela 7.105 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

3º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	103,87	94,84	31,82	22,61	43,87	71,47	107,87
1º R	1	01	33,22	25,93	32,49	33,88	29,67	69,16	33,88
2º R		01	32,48	30,04	19,56	29,39	24,32	71,92	33,50
T		24	31,20	21,50	15,61	20,81	30,49	75,21	31,23
1º R	25	73	23,24	31,47	31,40	31,13	28,62	79,21	31,84
2º R		73	20,44	24,28	20,20	21,75	20,54	84,80	25,85
T		48	23,62	25,14	27,06	35,66	37,36	91,95	37,36
1º R	50	146	133,36	133,12	76,02	47,02	132,56	100,50	134,88
2º R		146	84,69	74,25	71,99	81,88	73,05	95,80	85,21
T		71	95,95	95,69	33,04	19,57	37,04	97,65	96,05
1º R	75	218	133,36	133,12	76,02	47,02	132,56	97,99	134,88
2º R		220	56,91	38,73	48,92	44,35	57,69	89,15	61,00
T		85	116,77	74,21	119,96	74,81	100,09	99,90	120,05
1º R	90	262	73,45	84,81	56,46	32,25	84,71	91,47	88,36
2º R		264	109,48	113,19	105,84	37,93	76,68	109,48	116,85
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								88,38	75,92

Tabela 7.106 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

19º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	93,36	86,23	81,25	56,75	86,01	80,72	93,40
1º R	1	01	29,35	17,77	16,67	25,56	26,83	23,24	29,45
2º R		01	40,28	35,50	34,77	20,55	40,10	34,24	40,87
T		11	97,68	58,70	78,43	53,02	97,06	76,98	97,68
1º R	25	09	48,32	46,04	37,45	39,68	46,49	43,59	48,32
2º R		09	84,75	70,03	64,72	33,84	73,92	65,45	84,75
T		22	24,68	18,95	18,95	22,48	20,69	21,15	25,05
1º R	50	18	28,09	35,93	24,54	44,21	44,22	35,40	44,22
2º R		18	81,67	59,21	87,46	54,31	84,13	73,36	87,50
T		34	49,58	50,54	47,62	28,18	50,54	45,29	50,56
1º R	75	26	34,60	36,83	34,91	33,66	38,27	35,65	38,37
2º R		26	47,14	46,78	43,54	34,96	31,81	40,85	47,27
T		41	76,24	65,12	49,51	68,43	58,04	63,47	76,24
1º R	90	31	34,60	36,83	34,91	33,66	38,27	35,65	38,37
2º R		31	47,14	46,78	43,54	34,96	31,81	40,85	47,27
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								47,73	56,62

Tabela 7.107 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

2º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	137,37	131,57	124,79	49,10	40,70	96,71	137,49
1º R	1	01	37,45	39,52	24,33	29,38	37,04	33,54	39,67
2º R		01	39,54	34,28	32,80	39,29	41,81	37,54	42,28
T		01	137,37	131,57	124,79	49,10	40,70	96,71	137,49
1º R	25	01	37,45	39,52	24,33	29,38	37,04	33,54	39,67
2º R		01	39,54	34,28	32,80	39,29	41,81	37,54	42,28
T		02	62,33	53,69	50,31	59,99	59,40	57,14	62,58
1º R	50	02	33,69	36,43	30,20	29,55	25,18	31,01	39,35
2º R		02	121,52	88,98	85,26	74,31	108,77	95,77	121,52
T		03	87,96	90,30	90,45	88,45	94,01	90,23	95,77
1º R	75	03	127,49	44,05	35,49	127,19	41,34	75,11	134,85
2º R		03	127,49	44,05	35,49	127,19	41,34	75,11	134,85
T		03	87,96	90,30	90,45	88,45	94,01	90,23	95,77
1º R	90	03	127,49	44,05	35,49	127,19	41,34	75,11	134,85
2º R		03	127,49	44,05	35,49	127,19	41,34	75,11	134,85
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								66,69	92,88

Tabela 7.108 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

22º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	38,27	29,70	31,26	31,02	38,21	33,69	38,37
1º R	1	01	89,86	86,21	43,87	35,83	27,02	56,56	90,00
2º R		01	38,68	31,05	36,42	39,50	44,93	38,12	45,04
T		01	38,27	29,70	31,26	31,02	38,21	33,69	38,37
1º R	25	02	36,30	32,93	23,42	19,84	36,37	29,77	36,40
2º R		02	90,94	82,10	76,83	63,76	90,96	80,92	90,97
T		02	40,12	35,80	35,26	38,09	44,98	38,85	49,13
1º R	50	03	25,93	26,19	34,50	33,93	33,82	30,87	34,50
2º R		03	71,89	71,84	33,12	28,99	71,10	55,39	72,05
T		03	38,66	31,98	17,10	34,58	36,25	31,71	38,81
1º R	75	05	43,02	46,85	19,29	28,14	24,40	32,34	63,17
2º R		05	76,90	92,56	34,72	46,16	91,19	68,31	92,66
T		04	50,36	58,06	54,00	49,78	40,72	50,58	58,14
1º R	90	05	43,02	46,85	19,29	28,14	24,40	32,34	63,17
2º R		05	76,90	92,56	34,72	46,16	91,19	68,31	92,66
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								45,43	60,23

Tabela 7.109 – Resultados das médias de R_a e R_z

1º ensaio		Rugosidade								
		R_a				Média	R_z			Média
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	(µm)	1	2	3	(µm)
T		01	2,9	2,5	3,1	2,83	21	20	24	21,67
1º R	1	01	2,4	4,2	4,6	3,73	18	33	33	28,00
2º R		01	2,2	3,3	3,8	3,10	18	27	27	24,00
T		10	4,8	4,9	5,3	5,00	37	32	29	32,67
1º R	25	07	6,9	7,0	7,2	7,03	42	44	36	40,67
2º R		07	6,9	7,0	7,2	7,03	42	44	36	40,67
T		20	4,7	6,3	4,7	5,23	27	34	30	30,33
1º R	50	14	6,7	6,0	5,5	6,06	37	35	36	36,00
2º R		14	4,3	4,2	5,0	4,50	31	28	37	32,00
T		31	5,3	5,3	5,8	5,47	33	36	35	34,67
1º R	75	22	5,7	5,2	4,7	5,20	33	31	37	33,67
2º R		21	5,7	5,2	4,7	5,20	33	31	37	33,67
T		37	5,0	5,8	4,2	5,00	35	42	25	34,00
1º R	90	26	7,5	5,5	5,7	6,23	43	37	33	37,67
2º R		25	7,5	5,5	5,7	6,23	43	37	33	37,67
					Média geral	5,19			Média geral	33,16

Tabela 7.110 – Resultados das médias de R_a e R_z

21º ensaio		Rugosidade								
			R_a			Média	R_z			Média
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	(µm)	1	2	3	(µm)
T		01	2,3	3,0	4,2	3,17	17	26	23	22,00
1º R	1	01	1,7	2,3	2,4	2,13	16	18	17	17,00
2º R		01	3,9	2,5	2,2	2,87	22	17	14	17,67
T		16	2,7	1,8	5,8	3,43	16	15	34	21,67
1º R	25	28	4,3	4,6	3,1	4,00	25	30	23	26,00
2º R		76	5,0	5,4	5,3	5,23	32	36	33	33,67
T		32	4,6	5,6	6,1	5,43	29	35	41	35,00
1º R	50	56	3,8	4,4	3,3	3,83	22	27	21	23,33
2º R		152	5,6	5,3	7,0	5,97	32	31	46	36,33
T		47	6,7	5,2	6,0	5,97	42	32	40	38,00
1º R	75	83	4,7	3,7	3,7	4,03	25	22	25	24,00
2º R		229	8,2	6,2	6,5	6,97	46	33	40	39,67
T		56	6,7	5,2	6,0	5,97	42	32	40	38,00
1º R	90	99	4,8	4,6	6,4	5,27	30	35	43	36,00
2º R		275	7,6	9,8	4,3	7,23	50	56	31	45,67
					Média geral	4,77			Média geral	30,27

Tabela 7.111 – Resultados das médias de R_a e R_z

4º ensaio		Rugosidade								
			R_a			Média	R_z			Média
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	(µm)	1	2	3	(µm)
T		01	2,9	2,9	3,0	2,93	18	23	22	21,00
1º R	1	01	2,2	2,0	1,9	2,03	16	15	14	15,00
2º R		01	3,1	3,4	3,3	3,27	22	24	25	23,67
T		01	2,9	2,9	3,0	2,93	18	23	22	21,00
1º R	25	01	2,2	2,0	1,9	2,03	16	15	14	15
2º R		01	3,1	3,4	3,3	3,27	22	24	25	23,67
T		03	3,1	3,0	5,0	3,70	25	21	31	25,67
1º R	50	03	3,1	2,4	2,9	2,80	25	27	24	25,33
2º R		03	3,7	2,6	1,8	2,70	31	17	17	21,67
T		04	2,7	2,8	2,2	2,57	21	26	19	22,00
1º R	75	04	2,7	2,6	1,9	2,40	21	27	14	20,67
2º R		04	2,2	1,5	2,3	2,00	20	15	20	18,33
T		05	2,9	3,0	1,8	2,57	19	26	12	19,00
1º R	90	05	2,1	4,3	2,4	2,93	17	30	19	22,00
2º R		05	2,8	2,5	1,3	2,20	21	16	14	17,00
					Média geral	2,69			Média geral	20,73

Tabela 7.112 – Resultados das médias de R_a e R_z

20º ensaio		Rugosidade								
		R_a				Média	R_z			Média
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	(µm)	1	2	3	(µm)
T		01	2,4	3,8	3,4	3,20	18	24	27	23,00
1º R	1	01	3,0	3,8	3,6	3,47	19	25	26	23,33
2º R		01	1,8	3,6	3,5	2,97	16	24	23	21,00
T		01	2,4	3,8	3,4	3,20	18	24	27	23,00
1º R	25	01	3,0	3,8	3,6	3,47	19	25	26	23,33
2º R		01	1,8	3,6	3,5	2,97	16	24	23	21,00
T		02	3,1	3,5	3,5	3,37	24	21	22	22,33
1º R	50	02	3,9	3,1	3,5	3,50	31	20	22	24,33
2º R		02	3,2	3,1	4,8	3,70	25	20	26	23,67
T		02	3,1	3,5	3,5	3,37	24	21	22	22,33
1º R	75	02	3,9	3,1	3,5	3,50	31	20	22	24,33
2º R		02	3,2	3,1	4,8	3,70	25	20	26	23,67
T		03	4,5	4,8	3,7	4,33	34	32	25	30,33
1º R	90	03	5,0	4,4	3,7	4,37	29	35	25	29,67
2º R		03	3,6	3,6	3,1	3,43	26	27	20	24,33
					Média geral	3,50			Média geral	23,98

Tabela 7.113 – Resultados das médias de R_a e R_z

3º ensaio		Rugosidade								
		R_a				Média	R_z			Média
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	(µm)	1	2	3	(µm)
T		01	2,9	3,4	4,2	3,50	22	21	36	26,33
1º R	1	01	4,4	2,2	4,1	3,57	30	17	29	25,33
2º R		01	3,5	3,9	4,0	3,80	27	27	29	27,67
T		24	4,0	4,4	4,1	4,17	23	29	29	27,00
1º R	25	73	6,3	5,8	3,9	5,33	41	39	23	34,33
2º R		73	5,7	5,1	4,8	5,20	36	35	34	35,00
T		48	4,6	4,1	4,3	4,33	28	28	27	27,67
1º R	50	146	4,0	4,0	5,0	4,33	24	28	31	27,67
2º R		146	4,1	4,3	4,0	4,13	24	28	29	27,00
T		71	4,8	6,2	5,0	5,33	31	45	30	35,33
1º R	75	218	6,8	3,6	5,0	5,13	38	27	34	33,00
2º R		220	5,8	6,1	5,2	5,70	47	42	33	40,67
T		85	4,4	3,1	1,6	3,03	31	18	12	20,33
1º R	90	262	3,7	4,5	5,3	4,50	27	34	28	29,67
2º R		264	3,2	7,6	7,0	5,93	25	44	39	36,00
					Média geral	4,53			Média geral	30,20

Tabela 7.114 – Resultados das médias de R_a e R_z

19º ensaio		Rugosidade								
		R_a				Média	R_z			Média
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	(µm)	1	2	3	(µm)
T		01	3,1	3,0	4,0	3,37	23	24	26	24,33
1º R	1	01	4,1	3,2	2,5	3,27	24	21	19	21,33
2º R		01	2,1	3,0	3,8	2,97	16	22	21	19,67
T		11	6,0	5,3	4,8	5,37	52	36	31	39,67
1º R	25	09	4,3	3,8	3,7	3,93	33	30	27	30,00
2º R		09	6,2	5,7	5,6	5,83	39	42	37	39,33
T		22	3,3	3,9	4,3	3,83	21	23	27	23,67
1º R	50	18	4,7	4,7	5,0	4,80	29	26	46	33,67
2º R		18	4,6	4,7	5,0	4,77	29	26	46	33,67
T		34	5,4	5,0	4,7	5,03	32	30	34	32,00
1º R	75	26	5,1	5,8	7,2	6,03	33	37	43	37,67
2º R		26	5,5	4,9	4,6	5,00	35	40	29	34,67
T		41	7,4	7,1	6,9	7,13	40	39	37	38,67
1º R	90	31	5,1	5,8	7,2	6,03	33	37	43	37,67
2º R		31	5,5	4,9	4,6	5,00	35	40	29	34,67
					Média geral	4,82			Média geral	32,05

Tabela 7.115 – Resultados das médias de R_a e R_z

2º ensaio		Rugosidade								
		R_a				Média	R_z			Média
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	(µm)	1	2	3	(µm)
T		01	2,0	2,7	2,7	2,93	15	18	28	21,00
1º R	1	01	2,7	2,0	2,7	2,03	18	18	28	15,00
2º R		01	3,2	3,3	4,3	3,27	23	26	29	23,67
T		01	2,0	2,7	2,7	2,93	15	18	28	21,00
1º R	25	01	2,7	2,0	2,7	2,47	18	18	28	20,33
2º R		01	3,2	3,3	4,3	2,47	23	26	29	21,33
T		02	1,3	3,2	3,4	3,60	17	30	22	26,00
1º R	50	02	2,7	4,1	3,7	2,47	20	28	28	20,33
2º R		02	1,3	3,3	2,7	2,47	17	26	23	21,33
T		03	4,7	4,1	3,7	3,60	34	30	26	26,00
1º R	75	03	2,8	3,7	3,9	2,63	23	26	37	23,00
2º R		03	1,3	3,3	2,7	2,93	17	26	23	21,00
T		03	4,7	4,1	3,7	2,03	34	30	26	15,00
1º R	90	03	2,8	3,7	3,9	3,27	23	26	37	23,67
2º R		03	1,3	3,3	2,7	2,93	17	26	23	21,00
					Média geral	2,80			Média geral	21,31

Tabela 7.116 – Resultados das médias de R_a e R_z

22º ensaio		Rugosidade								
			R_a			Média	R_z			Média
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	(µm)	1	2	3	(µm)
T		01	2,2	1,6	3,1	2,30	15	15	22	17,33
1º R	1	01	3,7	3,6	2,6	3,30	24	27	18	23,00
2º R		01	2,7	4,4	3,8	3,63	21	28	28	25,67
T		01	2,2	1,6	3,1	2,30	15	15	22	17,33
1º R	25	02	3,0	2,5	3,9	3,13	19	17	27	21,00
2º R		02	2,7	4,4	3,8	3,63	21	28	28	25,67
T		02	3,1	5,0	3,5	3,87	20	36	21	25,67
1º R	50	03	3,3	4,6	3,5	3,80	27	33	28	29,33
2º R		03	3,9	5,9	2,8	4,20	22	39	25	28,67
T		03	4,3	2,5	3,0	3,27	28	18	23	23,00
1º R	75	05	1,9	4,2	2,9	3,00	12	23	23	19,33
2º R		05	2,6	4,3	3,4	3,43	17	31	29	25,66
T		04	1,6	3,0	1,3	1,97	16	30	14	20,00
1º R	90	05	1,9	4,2	2,9	3,00	12	23	23	19,33
2º R		05	2,6	4,3	3,4	3,43	17	31	29	25,67
					Média geral	3,22			Média geral	23,11

Tabela 7.117 – Resultado da média de F_z

1º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	1608,70
1º R		01	1810,18
2º R		01	1781,60
T	25	10	
1º R		07	1615,15
2º R		07	
T	50	20	1810,18
1º R		14	
2º R		14	1684,06
T	75	31	
1º R		22	1439.67
2º R		21	
T	90	37	1615,15
1º R		26	
2º R		25	2453,46
		Média	1797,31

Tabela 7.118 – Resultado da média de F_z

21º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	759,02
1º R		01	980,99
2º R		01	871,04
T	25	16	816,48
1º R		28	1014,08
2º R		76	1039,85
T	50	32	
1º R		56	1057,45
2º R		152	1068,63
T	75	47	935,42
1º R		83	1171,57
2º R		229	1038,03
T	90	56	
1º R		99	1182.15
2º R		275	1145,87
		Média	977,51

Tabela 7.119 – Resultado da média de F_z

20º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	1245,41
1º R		01	1256,19
2º R		01	1340,89
T	25	01	1514,62
1º R		01	1256,19
2º R		01	1340,89
T	50	02	
1º R		02	1435,70
2º R		02	1395,30
T	75	02	
1º R		02	1435,70
2º R		02	1395,30
T	90	03	
1º R		03	1515,16
2º R		03	2085,51
		Média	1361,62

Tabela 7.120 – Resultado da média de F_z

3º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	2391,14
1º R		01	2028,76
2º R		01	2108,94
T	25	24	1822,14
1º R		73	862,00
2º R		73	2348,47
T	50	48	828,17
1º R		146	2453,09
2º R		146	2453,09
T	75	71	1778,66
1º R		218	2535,86
2º R		220	2454,52
T	90	85	2486,29
1º R		262	3109,84
2º R		264	2566,25
		Média	2148,48

Tabela 7.121 – Resultado da média de F_z

19º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	1145,88
1º R		01	1134,63
2º R		01	1939,26
T	25	11	1585,09
1º R		09	1018,78
2º R		09	
T	50	22	1768,28
1º R		18	
2º R		18	
T	75	34	1684,07
1º R		26	982,56
2º R		26	2096,16
T	90	41	1842,91
1º R		31	
2º R		31	
		Média	1483,86

Tabela 7.122 – Resultado da média de F_z

2º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	2291,72
1º R		01	2076,65
2º R		01	2076,65
T	25	01	2291,72
1º R		01	2076,65
2º R		01	2076,65
T	50	02	2286,83
1º R		02	2523,52
2º R		02	3181,86
T	75	03	2857,83
1º R		03	714,02
2º R		03	571,44
T	90	03	2857,83
1º R		03	714,02
2º R		03	571,439
		Média	1944,59

Tabela 7.123 – Resultado da média de F_z

22º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	
1º R		01	1379,08
2º R		01	1268,68
T	25	01	
1º R		02	
2º R		02	1303,31
T	50	02	1234,40
1º R		03	
2º R		03	
T	75	03	2127,78
1º R		05	
2º R		05	
T	90	04	
1º R		05	1244,75
2º R		05	
		Média	1462,65

As Tab. a seguir correspondem ao resultados detalhados dos erros de circularidade e cilindricidade (Tab. 7.124 a 7131.), rugosidades R_a e R_z (Tab. 7.132 a 739.) e força F_z (Tab. 7.140 a 7.147) para os testes da **sexta** matriz de planejamento com os confrontos do número de paradas **(0 x 3)** e do sistema lubri-refrigerante **(Seco x MQF)** da **Etapa 1**.

Tabela 7.124 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

1º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	25,58	30,94	28,74	29,76	16,52	26,31	31,86
1º R	1	01	37,69	35,31	30,54	37,32	34,19	35,01	38,54
2º R		01	120,61	111,36	80,64	83,36	84,52	96,10	120,61
T		10	64,06	59,08	56,01	50,64	49,72	55,90	64,06
1º R	25	07	37,41	27,81	31,29	41.94	40,87	34,35	42,29
2º R		07	153,07	96,29	75,25	76,41	82,17	96,64	161,59
T		20	52,20	45,28	52,58	55,42	47,61	50,62	55,76
1º R	50	14	46,68	31,28	40,32	53,98	56,01	45,65	59,20
2º R		14	36,52	37,01	33,31	43,63	32,53	36,60	51,60
T		31	50,94	49,95	38,82	48,10	42,56	46,07	50,94
1º R	75	22	31,43	31,30	29,63	30,43	31,98	30,95	32,37
2º R		21	71,76	54,86	42,23	42,76	62,50	54,82	71,76
T		37	51,87	43,01	45,40	50,40	31,92	44,52	52,07
1º R	90	26	34,85	34,47	36,00	36,44	32,06	34,76	37,61
2º R		25	31,71	23,00	31,13	34,62	36,59	31,41	38,51
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								47,98	60,58

Tabela 7.125 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

23º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	37,96	40,48	41,71	42,89	36,35	39,88	43,60
1º R	1	01	55,32	25,54	52,22	42,51	34,05	41,93	60,01
2º R		01	58,28	58,81	52,74	31,70	62,11	52,73	62,26
T		27	43,09	37,84	43,26	42,58	30,56	39,47	43,45
1º R	25	64	63,94	54.59	51,63	58,88	47,47	55,48	66,30
2º R		35	39,16	37,85	35,10	16,92	24,50	30,71	39,16
T		54	52,98	59,21	45,47	60,03	63,22	56,18	68,10
1º R	50	128	93,08	87,17	80,23	83,48	90,82	86,96	94,13
2º R		70	50,77	33,16	28,61	48,29	24,12	36,99	50,82
T		81	58,90	46,18	35,25	43,25	37,66	44,25	59,36
1º R	75	191	92,30	112,90	78,03	109,50	70,46	92,64	113,09
2º R		104	63,83	54,85	35,77	33,63	63,85	50,39	63,89
T		97	52,87	52,22	40,47	56,14	41,01	48,542	56,46
1º R	90	230	40,77	40,99	28,66	38,61	40,85	37,98	40,99
2º R		125	34,50	34,37	23,11	30,13	34,42	31,31	34,51
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								49,70	59,74

Tabela 7.126 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

6º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	129,02	86,93	58,71	56,62	47,97	75,85	129,02
1º R	1	01	52,02	68,36	68,98	109,82	20,51	63,94	270,53
2º R		01	20,74	14,45	19,01	18,16	20,54	18,58	22,41
T		02	333,43	279,60	104,83	152,15	231,96	220,39	337,81
1º R	25	01	52,02	68,36	68,98	109,82	20,51	63,94	270,53
2º R		01	20,74	14,45	19,01	18,16	20,54	18,58	22,41
T		04	49,24	22,14	37,78	113,73	12,38	47,05	258,22
1º R	50	02	39,13	58,28	46,29	46,27	37,92	45,58	119,73
2º R		02	42,73	35,33	27,36	45,65	43,32	38,88	48,64
T		05	49,24	22,14	37,78	113,73	12,38	47,05	258,22
1º R	75	02	39,13	58,28	46,29	46,27	37,92	45,58	119,73
2º R		03	44,44	33,05	27,36	45,65	45,32	39,16	48,64
T		05	49,24	22,14	37,78	113,73	12,38	47,05	258,22
1º R	90	03	34,56	26,44	27,82	23,72	33,59	29,22	34,82
2º R		04	28,46	25,21	25,91	24,90	26,45	26,19	29,84
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								55,14	148,58

Tabela 7.127 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

20º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	69,39	66,91	91,97	79,63	89,80	79,54	92,00
1º R	1	01	53,61	70,61	63,71	68,21	47,33	60,69	70,61
2º R		01	86,44	47,72	63,68	53,94	86,28	67,61	8649
T		02	72,19	73,55	74,76	53,54	60,76	66,96	74,78
1º R	25	02	68,91	41,11	49,41	59,11	56,20	54,95	56,22
2º R		02	51,85	55,82	63,02	47,49	66,14	56,86	66,14
T		03	122,95	124,33	126,36	103,62	106,13	116,68	126,52
1º R	50	03	84,39	65,58	36,72	67,32	82,16	67,23	85,79
2º R		03	74,41	64,92	49,49	73,37	75,81	67,60	91,63
T		03	122,95	124,33	126,36	103,62	106,13	116,68	126,52
1º R	75	03	84,39	65,58	36,72	67,32	82,16	67,23	85,79
2º R		03	74,41	64,92	49,49	73,37	75,81	67,60	91,63
T		03	122,95	124,33	126,36	103,62	106,13	116,68	126,52
1º R	90	03	84,39	65,58	36,72	67,32	82,16	67,23	85,79
2º R		03	74,41	64,92	49,49	73,37	75,81	67,60	91,63
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								76,08	661,37

Tabela 7.128 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

5º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	27,09	27,65	25,01	30,76	24,02	26,91	30,88
1º R	1	01	62,23	59,76	49,86	40,59	50,17	52,52	62,26
2º R		01	131,90	141,45	54,29	49,51	117,84	98,99	141,47
T		08	56,33	48,34	25,16	55,14	44,48	45,89	56,33
1º R	25	07	58,62	60,24	56,24	50,06	33,55	51,74	60,32
2º R		11	70,47	71,06	58,86	56,95	43,57	60,18	71,47
T		16	105,27	60,64	47,86	56,52	43,14	62,69	105,28
1º R	50	14	105,27	60,64	47,86	56,52	43,14	62,69	105,28
2º R		22	105,27	60,64	47,86	56,52	43,14	62,69	105,28
T		24	154,81	120,79	145,27	87,25	63,34	114,29	179,08
1º R	75	20	84,11	56,70	63,21	43,18	87,65	66,97	87,76
2º R		34	42,97	50,03	46,03	52,98	39,71	46,34	53,06
T		29	71,89	30,67	54,19	65,60	26,32	49,73	106,36
1º R	90	24	106,80	36,61	44,10	41,34	37,94	53,36	66,44
2º R		41	43,14	49,23	42,87	38,11	29,45	40,56	49,67
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								59,70	85,40

Tabela 7.129 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

19º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	93,36	86,23	81,25	56,75	86,01	80,72	93,40
1º R	1	01	29,35	17,77	16,67	25,56	26,83	23,24	29,45
2º R		01	40,28	35,50	34,77	20,55	40,10	34,24	40,87
T		11	97,68	58,70	78,43	53,02	97,06	76,98	97,68
1º R	25	09	48,32	46,04	37,45	39,68	46,49	43,59	48,32
2º R		09	84,75	70,03	64,72	33,84	73,92	65,45	84,75
T		22	24,68	18,95	18,95	22,48	20,69	21,15	25,05
1º R	50	18	28,09	35,93	24,54	44,21	44,22	35,40	44,22
2º R		18	81,67	59,21	87,46	54,31	84,13	73,36	87,50
T		34	49,58	50,54	47,62	28,18	50,54	45,29	50,56
1º R	75	26	34,60	36,83	34,91	33,66	38,27	35,65	38,37
2º R		26	47,14	46,78	43,54	34,96	31,81	40,85	47,27
T		41	76,24	65,12	49,51	68,43	58,04	63,47	76,24
1º R	90	31	34,60	36,83	34,91	33,66	38,27	35,65	38,37
2º R		31	47,14	46,78	43,54	34,96	31,81	40,85	47,27
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								47,73	56,62

Tabela 7.130 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

2º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	137,37	131,57	124,79	49,10	40,70	96,71	137,49
1º R	1	01	37,45	39,52	24,33	29,38	37,04	33,54	39,67
2º R		01	39,54	34,28	32,80	39,29	41,81	37,54	42,28
T		01	137,37	131,57	124,79	49,10	40,70	96,71	137,49
1º R	25	01	37,45	39,52	24,33	29,38	37,04	33,54	39,67
2º R		01	39,54	34,28	32,80	39,29	41,81	37,54	42,28
T		02	62,33	53,69	50,31	59,99	59,40	57,14	62,58
1º R	50	02	33,69	36,43	30,20	29,55	25,18	31,01	39,35
2º R		02	121,52	88,98	85,26	74,31	108,77	95,77	121,52
T		03	87,96	90,30	90,45	88,45	94,01	90,23	95,77
1º R	75	03	127,49	44,05	35,49	127,19	41,34	75,11	134,85
2º R		03	127,49	44,05	35,49	127,19	41,34	75,11	134,85
T		03	87,96	90,30	90,45	88,45	94,01	90,23	95,77
1º R	90	03	127,49	44,05	35,49	127,19	41,34	75,11	134,85
2º R		03	127,49	44,05	35,49	127,19	41,34	75,11	134,85
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								66,69	92,88

Tabela 7.131 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

24º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	64,96	45,08	33,41	24,94	28,48	39,37	64,96
1º R	1	01	31,93	39,21	20,20	40,48	43,52	35,07	43,55
2º R		01	38,71	28,47	28,09	33,26	31,43	31,99	43,72
T		02	97,37	44,90	103,36	106,79	93,12	89,11	106,80
1º R	25	02	47,20	39,39	34,74	26,54	34,71	36,52	47,20
2º R		02	46,29	33,38	27,99	39,73	42,05	37,89	46,35
T		03	81,08	48,78	61,99	75,54	89,16	71,31	89,21
1º R	50	03	58,06	39,61	25,15	22,40	45,29	38,10	58,18
2º R		03	119,48	51,28	119,65	58,66	66,19	83,05	128,05
T		03	81,08	48,78	61,99	75,54	89,16	71,31	89,21
1º R	75	03	58,06	39,61	25,15	22,40	45,29	38,10	58,18
2º R		03	81,08	48,78	61,99	75,54	89,16	71,31	89,21
T		03	81,08	48,78	61,99	75,54	89,16	71,31	89,21
1º R	90	03	58,06	39,61	25,15	22,40	45,29	38,10	58,18
2º R		03	81,08	48,78	61,99	75,54	89,16	71,31	89,21
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								54,92	73,42

Tabela 7.132 – Resultados das médias de R_a e R_z

1º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	2,9	2,5	3,1	2,83	21	20	24	21,67
1º R	1	01	2,4	4,2	4,6	3,73	18	33	33	28,00
2º R		01	2,2	3,3	3,8	3,10	18	27	27	24,00
T		10	4,8	4,9	5,3	5,00	37	32	29	32,67
1º R	25	07	6,9	7,0	7,2	7,03	42	44	36	40,67
2º R		07	6,9	7,0	7,2	7,03	42	44	36	40,67
T		20	4,7	6,3	4,7	5,23	27	34	30	30,33
1º R	50	14	6,7	6,0	5,5	6,06	37	35	36	36,00
2º R		14	4,3	4,2	5,0	4,50	31	28	37	32,00
T		31	5,3	5,3	5,8	5,47	33	36	35	34,67
1º R	75	22	5,7	5,2	4,7	5,20	33	31	37	33,67
2º R		21	5,7	5,2	4,7	5,20	33	31	37	33,67
T		37	5,0	5,8	4,2	5,00	35	42	25	34,00
1º R	90	26	7,5	5,5	5,7	6,23	43	37	33	37,67
2º R		25	7,5	5,5	5,7	6,23	43	37	33	37,67
					Média geral	5,19			Média geral	33,16

Tabela 7.133 – Resultados das médias de R_a e R_z

23º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	4,2	4,1	3,5	3,93	26	29	32	29
1º R	1	01	2,8	4,1	4,1	3,67	25	35	32	30,67
2º R		01	4,0	3,8	2,2	3,33	24	27	16	22,33
T		27	4,4	5,2	4,5	4,70	27	33	34	31,33
1º R	25	64	4,3	5,8	5,4	5,17	28	37	42	35,67
2º R		35	4,2	3,7	4,2	4,03	27	26	23	25,33
T		54	3,7	4,2	3,4	3,77	26	33	21	26,67
1º R	50	128	4,3	4,9	5,5	4,90	31	32	34	32,33
2º R		70	4,1	3,7	4,3	4,03	28	22	27	25,67
T		81	4,5	5,2	3,9	4,53	32	36	27	31,67
1º R	75	191	4,2	6,4	5,9	5,50	29	51	40	40,00
2º R		104	5,1	4,2	3,7	4,33	30	28	23	27,00
T		97	6,6	4,4	4,9	5,30	54	45	38	45,67
1º R	90	230	3,9	6,3	3,9	4,70	25	43	29	32,33
2º R		125	4,1	3,7	4,3	4,03	28	22	27	25,67
					Média geral	4,39			Média geral	30,78

Tabela 7.134 – Resultados das médias de R_a e R_z

6º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	3,9	4,4	4,4	4,23	29	31	35	31,67
1º R	1	01	4,1	3,2	5,7	4,33	29	20	40	29,67
2º R		01	4,8	3,2	4,1	4,03	36	22	25	27,67
T		02	3,9	4,4	4,4	4,23	29	31	35	31,67
1º R	25	01	4,1	3,2	5,7	4,33	29	20	40	29,67
2º R		01	4,8	3,2	4,1	4,03	36	22	25	27,67
T		04	3,9	4,4	4,4	4,23	29	31	35	31,67
1º R	50	02	4,1	3,2	5,7	4,33	29	20	40	29,67
2º R		02	4,8	3,2	4,1	4,03	36	22	25	27,67
T		05	5,7	3,3	3,7	4,23	40	21	24	28,33
1º R	75	02	4,1	3,2	5,7	4,33	29	20	40	29,67
2º R		03	3,4	3,4	3,7	3,50	28	21	24	24,33
T		05	3,4	3,3	3,7	3,47	28	21	20	23,00
1º R	90	03	5,7	3,3	3,7	4,23	40	21	24	28,33
2º R		04	3,4	3,3	3,7	3,47	28	21	20	23,00
					Média geral	4,07			Média geral	28,24

Tabela 7.135 – Resultados das médias de R_a e R_z

20º ensaio		Rugosidade								
		R_a				Média	R_z			Média
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	(µm)	1	2	3	(µm)
T		01	2,4	3,8	3,4	3,20	18	24	27	23,00
1º R	1	01	3,0	3,8	3,6	3,47	19	25	26	23,33
2º R		01	1,8	3,6	3,5	2,97	16	24	23	21,00
T		01	2,4	3,8	3,4	3,20	18	24	27	23,00
1º R	25	01	3,0	3,8	3,6	3,47	19	25	26	23,33
2º R		01	1,8	3,6	3,5	2,97	16	24	23	21,00
T		02	3,1	3,5	3,5	3,37	24	21	22	22,33
1º R	50	02	3,9	3,1	3,5	3,50	31	20	22	24,33
2º R		02	3,2	3,1	4,8	3,70	25	20	26	23,67
T		02	3,1	3,5	3,5	3,37	24	21	22	22,33
1º R	75	02	3,9	3,1	3,5	3,50	31	20	22	24,33
2º R		02	3,2	3,1	4,8	3,70	25	20	26	23,67
T		03	4,5	4,8	3,7	4,33	34	32	25	30,33
1º R	90	03	5,0	4,4	3,7	4,37	29	35	25	29,67
2º R		03	3,6	3,6	3,1	3,43	26	27	20	24,33
					Média geral	3,50			Média geral	23,98

Tabela 7.136 – Resultados das médias de R_a e R_z

5º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	3,4	3,5	5,0	3,97	21	26	28	25,00
1º R	1	01	6,0	4,9	4,5	5,13	31	38	27	32,00
2º R		01	2,9	3,8	3,7	3,47	21	27	27	25,00
T		08	3,4	3,6	3,7	3,57	18	28	19	21,67
1º R	25	07	4,2	4,2	4,5	4,30	30	26	27	27,67
2º R		11	3,6	4,4	3,9	3,97	21	25	25	23,67
T		16	3,4	3,6	3,7	3,57	18	28	19	21,67
1º R	50	14	4,2	4,2	4,5	4,30	30	26	27	27,67
2º R		22	4,2	4,1	4,4	4,23	27	32	25	28,00
T		24	4,3	4,0	4,2	4,17	25	26	28	26,33
1º R	75	20	4,2	4,7	4,3	4,40	28	30	25	27,67
2º R		34	3,4	3,9	4,0	3,77	22	26	21	23,00
T		29	4,3	4,0	4,2	4,17	25	26	28	26,33
1º R	90	24	3,9	4,2	3,8	3,97	24	24	23	23,67
2º R		41	6,2	5,5	3,8	5,17	44	36	21	33,67
					Média geral	4,14			Média geral	26,20

Tabela 7.137 – Resultados das médias de R_a e R_z

19º ensaio		Rugosidade								
		R_a				Média	R_z			Média
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	(µm)	1	2	3	(µm)
T		01	3,1	3,0	4,0	3,37	23	24	26	24,33
1º R	1	01	4,1	3,2	2,5	3,27	24	21	19	21,33
2º R		01	2,1	3,0	3,8	2,97	16	22	21	19,67
T		11	6,0	5,3	4,8	5,37	52	36	31	39,67
1º R	25	09	4,3	3,8	3,7	3,93	33	30	27	30,00
2º R		09	6,2	5,7	5,6	5,83	39	42	37	39,33
T		22	3,3	3,9	4,3	3,83	21	23	27	23,67
1º R	50	18	4,7	4,7	5,0	4,80	29	26	46	33,67
2º R		18	4,6	4,7	5,0	4,77	29	26	46	33,67
T		34	5,4	5,0	4,7	5,03	32	30	34	32,00
1º R	75	26	5,1	5,8	7,2	6,03	33	37	43	37,67
2º R		26	5,5	4,9	4,6	5,00	35	40	29	34,67
T		41	7,4	7,1	6,9	7,13	40	39	37	38,67
1º R	90	31	5,1	5,8	7,2	6,03	33	37	43	37,67
2º R		31	5,5	4,9	4,6	5,00	35	40	29	34,67
					Média geral	4,82			Média geral	32,05

Tabela 7.138 – Resultados das médias de R_a e R_z

2º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	2,0	2,7	2,7	2,93	15	18	28	21,00
1º R	1	01	2,7	2,0	2,7	2,03	18	18	28	15,00
2º R		01	3,2	3,3	4,3	3,27	23	26	29	23,67
T		01	2,0	2,7	2,7	2,93	15	18	28	21,00
1º R	25	01	2,7	2,0	2,7	2,47	18	18	28	20,33
2º R		01	3,2	3,3	4,3	2,47	23	26	29	21,33
T		02	1,3	3,2	3,4	3,60	17	30	22	26,00
1º R	50	02	2,7	4,1	3,7	2,47	20	28	28	20,33
2º R		02	1,3	3,3	2,7	2,47	17	26	23	21,33
T		03	4,7	4,1	3,7	3,60	34	30	26	26,00
1º R	75	03	2,8	3,7	3,9	2,63	23	26	37	23,00
2º R		03	1,3	3,3	2,7	2,93	17	26	23	21,00
T		03	4,7	4,1	3,7	2,03	34	30	26	15,00
1º R	90	03	2,8	3,7	3,9	3,27	23	26	37	23,67
2º R		03	1,3	3,3	2,7	2,93	17	26	23	21,00
					Média geral	2,80			Média geral	21,31

Tabela 7.139 – Resultados das médias de R_a e R_z

24º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	3,9	2,6	3,1	3,20	28	19	25	24,00
1º R	1	01	3,2	4,1	6,0	4,43	25	28	43	32,00
2º R		01	3,2	3,0	3,3	3,17	20	22	24	22,00
T		02	4,4	3,4	3,4	3,73	48	25	31	34,67
1º R	25	02	4,6	3,9	3,4	3,97	33	24	22	26,33
2º R		02	4,4	4,1	4,8	4,43	27	35	35	32,33
T		03	3,1	4,6	2,8	3,50	23	31	20	24,67
1º R	50	03	3,8	4,3	4,1	4,07	30	32	29	30,33
2º R		03	4,4	4,1	4,8	4,43	27	35	35	32,33
T		03	3,1	4,6	2,8	3,50	23	31	20	24,67
1º R	75	03	3,8	4,3	4,1	4,07	30	32	29	30,33
2º R		03	4,4	4,1	4,8	4,43	27	35	35	32,33
T		03	3,1	4,6	2,8	3,50	23	31	20	24,67
1º R	90	03	3,8	4,3	4,1	4,07	30	32	29	30,33
2º R		03	4,4	4,1	4,8	4,43	27	35	35	32,33
					Média geral	3,9			Média geral	28,89

Tabela 7.140 – Resultado da média de F_z

1º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	1608,70
1º R		01	1810,18
2º R		01	1781,60
T	25	10	
1º R		07	1615,15
2º R		07	
T	50	20	1810,18
1º R		14	
2º R		14	1684,06
T	75	31	
1º R		22	1439.67
2º R		21	
T	90	37	1615,15
1º R		26	
2º R		25	2453,46
		Média	1797,31

Tabela 7.141 – Resultado da média de F_z

23º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	909,74
1º R		01	275,12
2º R		01	
T	25	27	936,03
1º R		64	1453,91
2º R		35	
T	50	54	1360,34
1º R		128	1556,51
2º R		70	
T	75	81	344,90
1º R		191	1590,48
2º R		104	
T	90	97	1569,85
1º R		230	1600,42
2º R		125	
		Média	1053,39

Tabela 7.142 – Resultado da média de F_z

6º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	1509,02
1º R		01	1519,43
2º R		01	1346,19
T	25	02	1528,16
1º R		01	1519,43
2º R		01	1346,19
T	50	04	1568,35
1º R		02	1528,16
2º R		02	1377,60
T	75	05	
1º R		02	1528,16
2º R		03	1507,37
T	90	05	
1º R		03	
2º R		04	140,45
		Média	1368,21

Tabela 7.143 – Resultado da média de F_z

20º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	1245,41
1º R		01	1256,19
2º R		01	1340,89
T	25	01	1514,62
1º R		01	1256,19
2º R		01	1340,89
T	50	02	1514,62
1º R		02	1435,70
2º R		02	1395,30
T	75	02	
1º R		02	1435,70
2º R		02	1395,30
T	90	03	
1º R		03	1515,16
2º R		03	2085,51
		Média	1440,88

Tabela 7.144 – Resultado da média de F_z

5º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	2083,53
1º R		01	733,65
2º R		01	737,31
T	25	08	2032,37
1º R		07	741,94
2º R		11	772,08
T	50	16	2111,64
1º R		14	2057,56
2º R		22	789,32
T	75	24	2084,46
1º R		20	778,14
2º R		34	854,48
T	90	29	2005,70
1º R		24	1943,21
2º R		41	873,55
		Média	1373,26

Tabela 7.145 – Resultado da média de F_z

19º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	1145,88
1º R		01	1134,63
2º R		01	1939,26
T	25	11	1585,09
1º R		09	1018,78
2º R		09	
T	50	22	1768,28
1º R		18	
2º R		18	
T	75	34	1684,07
1º R		26	982,56
2º R		26	2096,16
T	90	41	1842,91
1º R		31	
2º R		31	
		Média	1483,86

Tabela 7.146 – Resultado da média de F_z

2º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	2291,72
1º R		01	2076,65
2º R		01	2076,65
T	25	01	2291,72
1º R		01	2076,65
2º R		01	2076,65
T	50	02	2286,83
1º R		02	2523,52
2º R		02	3181,86
T	75	03	2857,83
1º R		03	714,02
2º R		03	571,44
T	90	03	2857,83
1º R		03	714,02
2º R		03	571,439
		Média	1944,59

Tabela 7.147 – Resultado da média de F_z

24º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T	1	01	1029,81
1º R		01	1970,27
2º R		01	674,85
T	25	02	1030,54
1º R		02	1970,27
2º R		02	792,20
T	50	03	1201,73
1º R		03	
2º R		03	792,20
T	75	03	1201,73
1º R		03	
2º R		03	792,20
T	90	03	1201,73
1º R		03	
2º R		03	
		Média	1145,58

As Tab. a seguir correspondem ao resultados detalhados dos erros de circularidade e cilindricidade (Tab. 7.148 a 7.155), rugosidades R_a e R_z (Tab. 7.156 a 7.163) e força F_z (Tab. 7.164 a 7.171) para os testes da **sétima** matriz de planejamento com os confrontos do número de paradas **(3 mm x total)** e do sistema lubri-refrigerante **(Seco x jorro)** da **Etapa 2**.

Tabela 7.148 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

1º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	23,71	26,80	27,36	17,65	24,83	24,07	29,43
1º R	1	01	103,26	116,17	127,48	114,30	62,88	104,82	129,03
2º R		01	25,60	39,26	32,19	40,73	45,96	36,75	49,78
T		07	25,05	32,40	30,00	51,17	39/73	34,66	51,68
1º R	25	04	98,68	101,32	78,50	82,40	70,62	86,30	101,32
2º R		02	57,62	50,28	25,53	23,83	55,88	42,63	57,62
T		14	37,80	25,72	33,02	42,86	44,61	36,80	45,33
1º R	50	08	83,13	64,77	81,40	66,38	88,87	76,91	88,87
2º R		04	22,35	18,51	25,02	35,58	35,45	27,38	36,04
T		20	50,91	33,73	27,09	40,21	51,24	40,64	53,34
1º R	75	11	28,02	27,83	22,69	26,90	25,88	26,26	30,54
2º R		07	38,75	51,81	47,35	48,78	31,70	43,68	54,53
T		24	123,00	113,00	77,35	86,65	91,61	98,32	123,05
1º R	90	14	42,94	45,28	42,92	46,42	44,10	44,33	47,55
2º R		08	68,35	61,59	29,70	67,20	64,80	58,33	68,35
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								52,13	64,43

Tabela 7.149 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

9º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	28,02	44,13	30,19	36,79	48,00	37,43	48,09
1º R	1	01	34,69	34,07	35,10	40,48	37,32	36,33	44,39
2º R		01	36,87	29,65	33,71	17,45	21,21	27,78	37,10
T		45	36,64	39,90	31,55	44,56	41,79	38,89	46,25
1º R	25	48	63,80	109,48	97,49	81,02	60,61	82,48	109,71
2º R		45	33,91	37,89	23,73	37,56	92,98	45,21	43,02
T		90	27,43	57,48	60,20	44,52	60,20	49,97	60,21
1º R	50	96	22,51	21,61	20,31	29,09	29,77	24,66	29,92
2º R		90	60,59	51,17	28,88	56,06	56,11	50,56	61,30
T		135	83,67	32,93	32,25	30,75	83,74	52,67	83,76
1º R	75	145	23,30	20,32	15,21	18,70	25,68	20,64	25,95
2º R		135	31,01	30,88	25,22	30,76	25,78	28,73	31,06
T		162	78,18	55,76	73,44	54,82	35,53	59,55	106,44
1º R	90	174	67,12	65,25	44,27	43,41	64,56	56,92	68,12
2º R		162	49,23	87,62	95,50	55,89	61,52	69,95	95,94
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								45,45	59,42

Tabela 7.150 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

4º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	18,70	19,11	26,97	23,33	26,98	23,02	27,57
1º R	1	01	18,05	13,03	16,66	14,89	20,93	16,71	20,94
2º R		01	70,98	81,63	134,39	118,89	119,62	105,10	135,78
T		02	14,08	12,72	11,07	8,30	14,62	12,16	14,84
1º R	25	02	19,10	14,23	18,75	18,09	17,08	17,45	21,08
2º R		02	13,95	9,77	14,90	10,71	15,01	12,87	15,76
T		04	49,50	45,04	40,06	46,78	26,75	41,63	49,56
1º R	50	04	21,51	14,62	15,03	20,98	13,12	17,05	21,72
2º R		04	7,86	8,89	13,73	12,30	9,45	10,45	13,87
T		04	39,43	37,80	37,23	40,12	30,71	37,06	40,35
1º R	75	06	75,88	43,84	53,26	49,82	78,24	60,21	78,24
2º R		06	55,34	56,25	53,58	52,56	50,92	53,73	57,15
T		05	60,45	62,05	68,85	63,34	64,08	63,75	70,09
1º R	90	07	75,88	43,84	53,26	49,82	78,24	60,21	78,24
2º R		07	20,44	8,37	16,25	17,20	17,27	15,91	20,44
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								36,49	44,38

Tabela 7.151 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

8º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	43,98	54,16	53,23	54,36	58,18	52,78	58,26
1º R	1	01	28,99	34,90	40,42	35,26	39,08	35,73	48,65
2º R		01	97,92	63,93	65,64	64,43	63,16	71,02	97,92
T		01	43,98	54,16	53,23	54,36	58,18	52,78	58,26
1º R	25	01	28,99	34,90	40,42	35,26	39,08	35,73	48,65
2º R		04	82,68	25,50	60,02	91,52	130,96	78,14	130,96
T		02	20,31	20,72	24,91	22,88	22,11	22,19	25,53
1º R	50	02	23,40	22,37	23,56	23,60	20,99	22,78	24,33
2º R		08	101,31	79,96	92,23	80,29	75,05	85,77	101,80
T		02	20,31	20,72	24,91	22,88	22,11	22,19	25,53
1º R	75	03	10,07	11,70	13,39	10,81	12,98	11,79	15,27
2º R		11	87,15	75,21	99,43	97,20	68,38	85,47	99,52
T		03	82,68	25,50	60,02	91,52	130,96	78,14	130,96
1º R	90	04	49,28	46,41	43,48	47,45	46,61	46,65	49,94
2º R		14	98,52	86,03	82,13	65,19	73,40	81,05	98,55
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								52,15	67,61

Tabela 7.152 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

3º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	40,94	41,12	19,69	25,28	12,99	28,00	42,23
1º R	1	01	43,44	44,48	34,19	42,95	45,16	42,04	45,27
2º R		01	48,97	33,78	48,28	45,08	39,33	43,09	49,84
T		14	63,72	49,50	30,97	47,99	55,35	49,51	63,72
1º R	25	15	18,62	14,62	16,91	18,25	14,23	16,53	18,62
2º R		17	48,97	33,78	48,28	45,08	39,33	43,09	49,84
T		28	70,85	32,02	74,65	85,14	13,78	55,29	187,61
1º R	50	30	17,72	16,08	14.66	21,16	21,28	19,06	22,89
2º R		34	48,97	33,78	48,28	45,08	39,33	43,09	49,84
T		41	39,49	27,43	32,21	42,70	45,74	37,51	46,56
1º R	75	45	53,31	42,45	48,89	31,79	25,25	40,34	54,85
2º R		51	48,97	33,78	48,28	45,08	39,33	43,09	49,84
T		50	25,98	34,07	42,04	38,91	42,44	36,69	42,44
1º R	90	54	53,31	42,45	48,89	31,79	25,25	40,34	54,85
2º R		61	70,13	84,33	72,25	68,92	44,75	68,08	96,63
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								39,71	59,64

Tabela 7.153 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

7º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	40,56	23,07	29,30	40,49	40,12	34,71	40,74
1º R	1	01	35,63	35,03	43,57	23,75	28,06	33,21	43,57
2º R		01	35,63	35,03	43,57	23,75	28,06	33,21	43,57
T		06	40,63	32,64	45,40	50,88	58,44	45,60	58,69
1º R	25	05	29,41	24,70	18,60	27,26	27,38	25,47	29,97
2º R		14	29,41	24,70	18,60	27,26	27,38	25,47	29,97
T		12	45,92	49,34	47,01	43,41	49,68	47,07	49,68
1º R	50	10	22,76	23,83	14,35	23,61	23,52	21,61	23,96
2º R		28	22,76	23,83	14,35	23,61	23,52	21,61	23,96
T		17	49,50	70,17	48,24	71,04	78,89	63,57	79,01
1º R	75	16	35,42	35,88	27,04	44,94	49,32	38,52	49,72
2º R		41	35,42	35,88	27,04	44,94	49,32	38,52	49,72
T		20	90,43	113,59	112,52	91,03	63,47	94,21	114,20
1º R	90	19	21,40	19,35	16,32	17,33	21,66	19,21	21,78
2º R		49	21,40	19,35	16,32	17,33	21,66	19,21	21,78
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								42,32	51,13

Tabela 7.154 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

2º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	132,38	124,60	56,63	69,70	63,02	89,266	132,47
1º R	1	01	149,34	149,06	145,42	107,45	68,88	124,03	149,34
2º R		01	52,00	43,69	29,39	31,99	38,46	39,106	54,52
T		01	132,38	124,60	56,63	69,70	63,02	89,266	132,47
1º R	25	01	149,34	149,06	145,42	107,45	68,88	124,03	149,34
2º R		01	52,00	43,69	29,39	31,99	38,46	39,106	54,52
T		01	132,38	124,60	56,63	69,70	63,02	89,266	132,47
1º R	50	01	149,34	149,06	145,42	107,45	68,88	124,03	149,34
2º R		02	36,89	34,95	39,74	42,85	41,91	39,268	43,69
T		01	132,38	124,60	56,63	69,70	63,02	89,266	132,47
1º R	75	02	156,86	145,19	145,46	142,61	86,90	135,404	156,08
2º R		03	24,05	26,71	25,24	24,60	17,94	23,708	26,76
T		01	132,38	124,60	56,63	69,70	63,02	89,266	132,47
1º R	90	02	24,05	26,71	25,24	24,60	17,94	23,708	26,76
2º R		04	38,39	44,18	45,88	53,10	38,01	43,912	53,64
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								70,67	88,07

Tabela 7.155 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

10º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	24,92	17,98	31,92	26,80	25,71	25,47	32,00
1º R	1	01	43,42	45,94	23,00	35,47	44,69	38,50	46,36
2º R		01	72,71	69,77	69,26	28,96	71,84	62,51	83,46
T		05	77,77	63,76	63,30	75,69	80,43	72,19	80,87
1º R	25	07	35,31	26,27	20,83	28,02	28,91	27,87	35,31
2º R		05	38,74	20,62	38,84	37,62	25,86	32,34	38,86
T		10	38,14	13,64	41,40	35,17	41,01	33,87	41,54
1º R	50	14	31,40	16,99	9,99	9,63	31,40	19,88	31,45
2º R		10	18,72	18,97	18,44	10,91	18,79	17,17	19,31
T		15	38,14	13,64	41,40	35,17	41,01	33,87	41,54
1º R	75	20	48,69	47,94	29,32	39,72	39,21	40,98	48,84
2º R		16	96,23	96,44	32,73	44,28	96,43	73,22	96,49
T		18	38,14	13,64	41,40	35,17	41,01	33,87	41,54
1º R	90	23	59,98	34,90	24,21	44,66	36,38	40,03	53,98
2º R		19	65,02	57,59	14,13	33,24	60,57	46,11	65,09
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								39,86	50,44

Tabela 7.156 – Resultados das médias de R_a e R_z

1º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	2,7	3,8	4,1	2,50	18	26	29	24,33
1º R	1	01	4,9	3,6	2,7	3,17	33	25	25	27,67
2º R		01	4,0	4,5	2,6	3,17	26	27	22	25,00
T		07	7,8	4,8	5,6	6,53	41	31	31	34,33
1º R	25	04	4,0	3,9	4,0	3,97	27	22	32	27,00
2º R		02	3,3	4,3	3,4	3,20	20	28	24	24,00
T		14	7,1	6,5	5,6	9,20	3,6	33	40	25,53
1º R	50	08	4,4	4,8	4,1	5,73	31	32	26	29,67
2º R		04	3,1	3,8	3,1	3,63	21	21	19	20,33
T		20	2,8	3,4	2,3	8,73	19	22	17	19,33
1º R	75	11	4,4	4,8	4,1	6,73	31	32	26	29,67
2º R		07	4,5	4,3	4,3	5,27	33	32	34	33,00
T		24	7,1	6,5	5,6	12,53	36	33	40	36,33
1º R	90	14	3,9	3,2	5,7	7,03	30	21	42	31,00
2º R		08	3,6	3,1	3,4	4,90	23	19	25	22,33
					Média geral	5,75			Média geral	27,30

Tabela 7.157 – Resultados das médias de R_a e R_z

9º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	1,1	2,0	2,9	2,00	12	18	22	17,33
1º R	1	01	1,8	2,0	3,3	2,37	20	21	20	20,33
2º R		01	2,5	2,0	3,6	2,70	18	18	22	19,33
T		45	5,3	3,4	4,6	4,43	33	20	31	28,00
1º R	25	48	4,6	4,3	2,7	3,87	33	36	15	28,00
2º R		45	1,9	1,7	1,4	1,67	20	23	18	20,33
T		90	5,8	5,9	4,4	5,37	33	39	28	33,33
1º R	50	96	4,9	4,5	4,6	4,67	28	29	32	29,67
2º R		90	1,9	1,8	1,7	1,80	23	33	14	23,33
T		135	1,3	5,8	6,6	4,57	41	35	42	39,33
1º R	75	145	2,2	2,0	2,3	2,17	19	19	19	19,00
2º R		135	2,2	2,1	2,3	2,20	23	27	19	23,00
T		162	6,8	6,4	6,0	6,40	39	41	36	38,67
1º R	90	174	1,5	1,3	1,5	1,43	14	15	19	16,00
2º R		162	1,7	1,6	2,2	1,83	17	19	23	19,67
					Média geral	3,16			Média geral	25,02

Tabela 7.158 – Resultados das médias de R_a e R_z

4º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			Média
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	2,4	3,8	5,3	3,83	22	29	45	32,00
1º R	1	01	2,7	3,1	2,8	2,87	18	17	19	18,00
2º R		01	2,5	3,4	2,1	2,67	21	21	17	19,67
T		01	2,4	3,8	5,3	3,83	22	29	45	32,00
1º R	25	02	3,2	3,6	2,7	3,17	13	27	29	23,00
2º R		02	3,2	3,2	3,1	3,17	22	27	20	23,00
T		02	2,4	3,8	5,3	3,83	13	27	29	23,00
1º R	50	04	4,2	4,4	5,2	4,60	24	35	33	30,67
2º R		04	2,0	2,4	3,5	2,63	17	18	27	20,67
T		04	3,0	3,6	3,1	3,23	24	22	22	22,67
1º R	75	06	3,0	2,0	3,5	2,83	19	16	20	18,33
2º R		06	3,2	2,6	4,0	3,27	27	19	29	25,00
T		05	4,1	2,6	2,3	3,00	30	19	30	26,33
1º R	90	07	3,0	2,0	3,5	2,83	19	16	20	18,33
2º R		07	2,6	2,3	3,3	2,73	19	17	28	21,33
					Média geral	3,23			Média geral	23,60

Tabela 7.159 – Resultados das médias de R_a e R_z

8º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	2,1	2,7	2,7	2,50	19	19	21	19,67
1º R	1	01	2,7	3,3	2,8	2,93	24	29	18	23,67
2º R		01	2,7	3,3	2,8	2,93	24	29	18	23,67
T		01	2,1	2,7	2,7	2,50	19	19	21	19,67
1º R	25	01	2,7	3,3	2,8	2,93	24	29	18	23,67
2º R		04	2,7	3,3	2,8	2,93	24	29	18	23,67
T		02	3,2	2,6	3,2	3,00	19	19	19	19,00
1º R	50	02	2,9	2,7	3,8	3,13	22	19	28	23,00
2º R		08	2,7	3,3	2,8	2,93	24	29	18	23,67
T		02	3,2	2,6	3,2	3,00	19	19	19	19,00
1º R	75	03	2,3	3,1	3,6	3,00	25	27	27	26,33
2º R		11	2,3	3,1	3,6	3,00	25	27	27	26,33
T		03	2,8	3,1	3,6	3,17	23	27	27	25,67
1º R	90	04	2,5	3,0	2,7	2,73	18	20	18	18,67
2º R		14	2,5	3,0	2,7	2,73	18	20	18	18,67
					Média geral	2,90			Média geral	22,29

Tabela 7.160 – Resultados das médias de R_a e R_z

3º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	1,9	1,7	1,6	1,73	23	29	21	24,33
1º R	1	01	1,3	1,6	1,7	1,53	26	35	36	32,33
2º R		01	2,3	3,1	2,4	2,60	14	19	19	17,33
T		14	1,7	1,7	2,0	1,80	33	32	33	32,67
1º R	25	15	2,9	2,1	2,0	2,33	48	42	36	42,00
2º R		17	2,3	3,1	2,4	2,60	14	19	19	17,33
T		28	2,0	2,1	1,8	1,97	25	33	25	27,67
1º R	50	30	2,6	2,1	1,2	1,97	41	25	18	28,00
2º R		34	2,3	3,1	2,4	2,60	14	19	19	17,33
T		41	1,9	2,0	1,8	1,90	29	26	23	26,00
1º R	75	45	3,9	3,6	4,6	4,03	25	26	35	28,67
2º R		51	5,1	4,9	4,4	4,80	28	31	26	28,33
T		50	1,4	1,9	2,1	1,80	22	30	29	27,00
1º R	90	54	1,9	1,8	1,6	1,77	32	35	31	32,67
2º R		61	5,1	4,9	4,4	4,80	28	31	26	28,33
					Média geral	2,56			Média geral	27,33

Tabela 7.161 – Resultados das médias de R_a e R_z

7º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	3,1	3,8	2,9	2,63	22	27	19	22,67
1º R	1	01	3,1	3,8	2,9	2,63	22	27	19	22,67
2º R		01	4,0	2,5	2,9	2,50	25	19	26	23,33
T		12	3,9	4,5	4,5	6,80	26	36	41	34,33
1º R	25	06	4,9	4,7	4,1	5,20	31	28	28	29,00
2º R		06	4,3	4,3	4,3	4,87	27	36	31	31,33
T		24	4,3	3,8	4,7	10,70	26	27	31	28,00
1º R	50	12	4,4	5,8	3,4	7,40	27	42	22	30,33
2º R		12	4,2	4,0	4,1	6,73	27	27	29	27,67
T		37	4,4	4,7	3,8	15,37	25	26	25	25,33
1º R	75	19	4,4	3,5	5,1	8,97	29	27	32	29,33
2º R		17	5,0	4,5	3,6	8,83	31	32	24	29,00
T		44	3,4	4,4	4,3	17,27	18	27	30	25,00
1º R	90	23	4,1	3,6	4,0	10,23	26	23	27	25,33
2º R		20	3,6	3,6	4,0	9,07	27	23	25	25,00
					Média geral	7,95			Média geral	27,22

Tabela 7.162 – Resultados das médias de R_a e R_z

2º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	3,7	4,1	3,3	3,70	22	22	29	24,33
1º R	1	01	1,0	2,2	2,6	1,93	13	21	19	17,67
2º R		01	3,2	2,7	3,1	3,00	22	22	20	21,33
T		01	3,7	4,1	3,3	3,70	22	22	29	24,33
1º R	25	01	1,0	2,2	2,6	1,93	13	21	19	17,67
2º R		01	3,2	2,7	3,1	3,00	22	22	20	21,33
T		01	3,7	4,1	3,3	3,70	22	22	29	24,33
1º R	50	01	1,0	2,2	2,6	1,9	13	21	19	17,67
2º R		02	3,2	2,7	3,1	3,00	22	22	20	21,33
T		01	3,7	4,1	3,3	3,70	22	22	29	24,33
1º R	75	02	3,2	3,1	3,1	3,13	23	24	25	24,00
2º R		03	3,4	3,1	3,2	3,23	26	22	18	22,00
T		01	3,7	4,1	3,3	3,70	22	22	29	24,33
1º R	90	02	3,2	3,1	3,1	3,13	23	24	25	24,00
2º R		04	3,4	3,1	3,2	3,23	26	22	18	22,00
					Média geral	3,07			Média geral	22,04

Tabela 7.163 – Resultados das médias de R_a e R_z

10º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	4,1	2,8	2,8	3,23	26	22	19	22,33
1º R	1	01	2,8	3,2	2,9	2,97	21	23	19	21,00
2º R		01	5,3	3,6	2,5	3,80	36	33	17	28,67
T		05	2,8	3,4	3,3	3,17	19	24	23	22,00
1º R	25	07	3,2	2,4	3,4	3,00	20	19	25	21,33
2º R		05	5,3	3,2	2,4	3,63	36	23	19	26,00
T		10	2,8	3,4	3,3	3,17	19	24	23	22,00
1º R	50	14	3,6	2,9	3,2	3,23	22	25	22	23,00
2º R		10	2,5	3,0	2,6	2,70	19	27	23	23,00
T		15	2,1	2,7	1,6	2,13	22	21	15	19,33
1º R	75	20	3,5	2,3	2,4	2,733	23	15	16	18,00
2º R		16	2,4	4,2	3,0	3,20	16	33	26	25,00
T		18	1,2	3,0	4,4	2,87	12	14	23	16,33
1º R	90	23	3,0	2,7	4,0	3,23	21	19	27	22,33
2º R		19	4,2	8,3	3,3	5,27	27	38	22	29,00
					Média geral	3,22			Média geral	22,62

Tabela 7.164 – Resultados das médias de F_z e M_z

1º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	510,50	13,38
1º R		01	522,64	13,50
2º R		01	557,72	15,00
T	25	07	738,98	17,73
1º R		04		
2º R		02		
T	50	14	582,45	15,52
1º R		08	597,63	14,98
2º R		04		
T	75	20		
1º R		11		
2º R		07		
T	90	24	601,46	15,08
1º R		14	616,73	15,39
2º R		08	738,99	17,73
		Médias	607,46	15,37

Tabela 7.165 – Resultados das média de F_z e M_z

9º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	635,12	28,91
1º R		01	996,20	10,22
2º R		01	545,53	25,72
T	25	45	650,61	10,94
1º R		48	582,51	8,65
2º R		45	626,61	8,51
T	50	90	617,22	9,63
1º R		96	586,69	9,80
2º R		90	641,77	8,98
T	75	135	635,30	10,18
1º R		145	638,24	10,37
2º R		135		
T	90	162	712,76	10,32
1º R		174	722,13	10,07
2º R		162	1584,27	20,03
		Médias	726,78	13,02

Tabela 7.166 – Resultados das média de F_z e M_z

4º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	635,12	28,91
1º R		01	646,42	11,40
2º R		01	2130,60	14,93
T	25	07	595,13	12,76
1º R		04	779,58	10,71
2º R		02	2181,01	53,65
T	50	14	820,12	14,80
1º R		08	648,97	8,97
2º R		04	2183,67	17,34
T	75	20	2278,80	55,60
1º R		11	1342,34	13,78
2º R		07	583,26	10,06
T	90	24	776,73	13,54
1º R		14	757,65	17,61
2º R		08		53,65
		Médias	1246,97	17,29

Tabela 7.167 – Resultados das média de F_z e M_z

8º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	$F_{z(máx)}$ (N)	$M_{z\ (máx)}$ (Nm)
T	1	01	589,66	10,08
1º R		01	573,39	12,77
2º R		01	2181,68	9,19
T	25	01	589,66	10,08
1º R		01	573,39	12,77
2º R		04	2494,63	12,17
T	50	02	645,84	11,10
1º R		02	577,48	13,13
2º R		08	916,33	10,07
T	75	02	645,84	11,10
1º R		03	592,91	13,44
2º R		11	1012,77	11,25
T	90	03	599,91	11,58
1º R		04	604,08	13,64
2º R		14	2123,88	18,70
		Médias	981,43	18,12

Tabela 7.168 – Resultados das média de F_z e M_z

3º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	487,85	8,54
1º R		01	665,89	16,16
2º R		01	683,73	17,16
T	25	14	724,97	14,48
1º R		15	758,78	16,01
2º R		17	724,96	14,48
T	50	28	781,26	14,99
1º R		30	781,26	14,99
2º R		34	748,80	15,57
T	75	41	756,06	15,71
1º R		45	593,28	8,76
2º R		51	555,66	19,01
T	90	50	756,06	15,71
1º R		54	593,28	8,76
2º R		61	555,66	19,01
		Médias	677,83	14,62

Tabela 7.169 – Resultados das média de F_z e M_z

7º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	723,53	16,94
1º R		01	830,94	25,55
2º R		01		
T	25	06	2181,01	18,27
1º R		05	2181,01	18,28
2º R		14		
T	50	12	812,915	21,18
1º R		10	812,92	21,18
2º R		28		
T	75	17	806,92	21,33
1º R		16	806,92	21,33
2º R		41		
T	90	20	1040,74	23,03
1º R		19	1040,74	23,02
2º R		49		
		Médias	1123,76	21,01

Tabela 7.170 – Resultados das média de F_z e M_z

2º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	737,09	19,25
1º R		01	722,59	19,24
2º R		01	737,09	19,25
T	25	01	737,09	19,25
1º R		01	722,59	19,24
2º R		01	737,09	19,25
T	50	01	737,09	19,25
1º R		01	722,59	19,24
2º R		02	1544,72	19,38
T	75	01	737,09	19,25
1º R		02	762,12	19,29
2º R		03	1526,48	19,39
T	90	01	737,09	19,25
1º R		02	762,12	19,29
2º R		04	1526,48	19,39
		Médias	896,621	19,28

Tabela 7.171 – Resultados das média de F_z e M_z

10º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	670,87	16,78
1º R		01	689,05	10,06
2º R		01	724,05	11,96
T	25	05	690,14	11,71
1º R		07	690,14	11,71
2º R		05	717,24	29,11
T	50	10	779,12	20,05
1º R		14	931,25	11,78
2º R		10	678,13	24,55
T	75	15	802,41	11,18
1º R		20	932,11	11,61
2º R		16	753,59	16,07
T	90	18	1455,87	16,21
1º R		23	932,11	11,61
2º R		19	932,11	11,61
		Médias	825,21	15,07

As Tab. a seguir correspondem ao resultados detalhados dos erros de circularidade e cilindricidade (Tab. 7.172 a 7.179), rugosidades R_a e R_z (Tab. 7.180 a 7.163) e força F_z (Tab. 7.188 a 7.195) para os testes da **oitava** matriz de planejamento com os confrontos do número de paradas **(3 mm x total)** e do sistema lubri-refrigerante **(Seco x MQF)** da **Etapa 2**.

Tabela 7.172 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

1º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	23,71	26,80	27,36	17,65	24,83	24,07	29,43
1º R	1	01	103,26	116,17	127,48	114,30	62,88	104,82	129,03
2º R		01	25,60	39,26	32,19	40,73	45,96	36,75	49,78
T		07	25,05	32,40	30,00	51,17	39/73	34,66	51,68
1º R	25	04	98,68	101,32	78,50	82,40	70,62	86,30	101,32
2º R		02	57,62	50,28	25,53	23,83	55,88	42,63	57,62
T		14	37,80	25,72	33,02	42,86	44,61	36,80	45,33
1º R	50	08	83,13	64,77	81,40	66,38	88,87	76,91	88,87
2º R		04	22,35	18,51	25,02	35,58	35,45	27,38	36,04
T		20	50,91	33,73	27,09	40,21	51,24	40,64	53,34
1º R	75	11	28,02	27,83	22,69	26,90	25,88	26,26	30,54
2º R		07	38,75	51,81	47,35	48,78	31,70	43,68	54,53
T		24	123,00	113,00	77,35	86,65	91,61	98,32	123,05
1º R	90	14	42,94	45,28	42,92	46,42	44,10	44,33	47,55
2º R		08	68,35	61,59	29,70	67,20	64,80	58,33	68,35
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								52,13	64,43

Tabela 7.173 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

11º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	96,63	91,67	97,79	96,65	107,16	97,98	107,76
1º R	1	01	54,55	52,80	34,56	40,18	38,28	44,07	49,93
2º R		01	102,09	101,42	77,69	77,57	73,83	86,52	102,71
T		75	40,01	67,53	49,25	78,92	92,70	65,68	92,85
1º R	25	10	49,87	41,11	49,91	48,18	38,28	45,47	49,93
2º R		25	55,74	46,83	54,18	46,17	47,23	50,03	55,74
T		150	52,25	65,18	76,63	66,95	74,82	67,17	76,67
1º R	50	20	87,07	69,69	87,78	35,13	39,47	63,83	159,21
2º R		50	53,85	53,39	79,08	76,28	62,86	65,09	80,49
T		225	52,25	65,18	76,63	66,95	74,82	67,17	76,67
1º R	75	29	98,76	93,37	71,78	24,04	37,69	65,13	152,03
2º R		76	72,86	61,63	72,91	67,21	73,05	69,53	73,05
T		270	65,44	63,73	70,24	66,62	105,98	74,40	105,98
1º R	90	35	49,01	67,67	60,55	65,82	47,01	58,01	141,45
2º R		91	91,69	83,88	60,88	49,89	91,87	75,64	91,87
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								66,38	94,42

Tabela 7.174 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

6º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	84,41	64,22	54,97	68,32	81,31	70,65	85,77
1º R	1	01	27,72	12,20	27,55	26,17	20,50	22,83	27,72
2º R		01	37,88	24,64	24,32	8,46	29,96	25,05	39,95
T		01	84,41	64,22	54,97	68,32	81,31	70,65	85,77
1º R	25	01	27,72	12,20	27,55	26,17	20,50	22,83	27,72
2º R		01	37,88	24,64	24,32	8,46	29,96	25,05	39,95
T		02	95,63	59,40	48,53	79,40	88,18	74,23	95,63
1º R	50	02	27,72	12,20	27,55	26,17	20,50	22,83	27,72
2º R		02	42,00	34,71	26,45	24,52	28,31	31,20	42,37
T		03	117,30	103,43	131,14	102,57	138,35	118,56	138,75
1º R	75	03	30,82	30,17	12,92	20,15	22,98	23,41	32,29
2º R		03	39,33	36,07	22,91	26,30	39,50	32,82	42,13
T		04	117,30	103,43	131,14	102,57	138,35	118,56	138,75
1º R	90	04	30,82	30,17	12,92	20,15	22,98	23,41	32,29
2º R		04	39,33	36,07	22,91	26,30	39,50	32,82	42,13
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								47,66	59,93

Tabela 7.175 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

8º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	43,98	54,16	53,23	54,36	58,18	52,78	58,26
1º R	1	01	28,99	34,90	40,42	35,26	39,08	35,73	48,65
2º R		01	97,92	63,93	65,64	64,43	63,16	71,02	97,92
T		01	43,98	54,16	53,23	54,36	58,18	52,78	58,26
1º R	25	01	28,99	34,90	40,42	35,26	39,08	35,73	48,65
2º R		04	82,68	25,50	60,02	91,52	130,96	78,14	130,96
T		02	20,31	20,72	24,91	22,88	22,11	22,19	25,53
1º R	50	02	23,40	22,37	23,56	23,60	20,99	22,78	24,33
2º R		08	101,31	79,96	92,23	80,29	75,05	85,77	101,80
T		02	20,31	20,72	24,91	22,88	22,11	22,19	25,53
1º R	75	03	10,07	11,70	13,39	10,81	12,98	11,79	15,27
2º R		11	87,15	75,21	99,43	97,20	68,38	85,47	99,52
T		03	82,68	25,50	60,02	91,52	130,96	78,14	130,96
1º R	90	04	49,28	46,41	43,48	47,45	46,61	46,65	49,94
2º R		14	98,52	86,03	82,13	65,19	73,40	81,05	98,55
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								52,15	67,61

Tabela 7.176 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

5º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	56,75	29,02	81,48	27,23	45,38	47,97	81,67
1º R	1	01	31,46	44,37	44,27	42,63	37,33	40,01	44,87
2º R		01	83,15	30,02	83,48	39,19	41,93	55,55	83,55
T		06	53,66	45,77	37,00	32,65	57,17	45,25	57,17
1º R	25	09	72,60	68,99	66,92	74,34	79,38	72,45	81,43
2º R		05	53,66	45,77	37,00	32,65	57,17	45,25	57,17
T		12	25,01	27,39	25,61	30,52	33,83	44,48	33,83
1º R	50	18	69,10	60,88	41,43	65,72	60,70	59,57	69.97
2º R		10	76,31	30,25	10,10	45,62	60,10	44,48	76,31
T		17	42,70	36,58	27,78	25,48	19,90	30,49	43,38
1º R	75	26	89,66	35,55	90,65	92,42	67,51	75,16	96,04
2º R		16	42,70	36,58	27,78	25,48	19,90	30,49	43,38
T		20	98,82	75,81	78,58	65,16	72,01	78,08	98,55
1º R	90	32	98,82	75,81	78,58	65,16	72,01	78,08	98,55
2º R		20	98,82	75,81	78,58	65,16	72,01	78,08	98,55
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								55,02	74,07

Tabela 7.177 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

7º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	40,56	23,07	29,30	40,49	40,12	34,71	40,74
1º R	1	01	35,63	35,03	43,57	23,75	28,06	33,21	43,57
2º R		01	35,63	35,03	43,57	23,75	28,06	33,21	43,57
T		06	40,63	32,64	45,40	50,88	58,44	45,60	58,69
1º R	25	05	29,41	24,70	18,60	27,26	27,38	25,47	29,97
2º R		14	29,41	24,70	18,60	27,26	27,38	25,47	29,97
T		12	45,92	49,34	47,01	43,41	49,68	47,07	49,68
1º R	50	10	22,76	23,83	14,35	23,61	23,52	21,61	23,96
2º R		28	22,76	23,83	14,35	23,61	23,52	21,61	23,96
T		17	49,50	70,17	48,24	71,04	78,89	63,57	79,01
1º R	75	16	35,42	35,88	27,04	44,94	49,32	38,52	49,72
2º R		41	35,42	35,88	27,04	44,94	49,32	38,52	49,72
T		20	90,43	113,59	112,52	91,03	63,47	94,21	114,20
1º R	90	19	21,40	19,35	16,32	17,33	21,66	19,21	21,78
2º R		49	21,40	19,35	16,32	17,33	21,66	19,21	21,78
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								42,32	51,13

Tabela 7.178 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

2º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	132,38	124,60	56,63	69,70	63,02	89,266	132,47
1º R	1	01	149,34	149,06	145,42	107,45	68,88	124,03	149,34
2º R		01	52,00	43,69	29,39	31,99	38,46	39,106	54,52
T		01	132,38	124,60	56,63	69,70	63,02	89,266	132,47
1º R	25	01	149,34	149,06	145,42	107,45	68,88	124,03	149,34
2º R		01	52,00	43,69	29,39	31,99	38,46	39,106	54,52
T		01	132,38	124,60	56,63	69,70	63,02	89,266	132,47
1º R	50	01	149,34	149,06	145,42	107,45	68,88	124,03	149,34
2º R		02	36,89	34,95	39,74	42,85	41,91	39,268	43,69
T		01	132,38	124,60	56,63	69,70	63,02	89,266	132,47
1º R	75	02	156,86	145,19	145,46	142,61	86,90	135,404	156,08
2º R		03	24,05	26,71	25,24	24,60	17,94	23,708	26,76
T		01	132,38	124,60	56,63	69,70	63,02	89,266	132,47
1º R	90	02	24,05	26,71	25,24	24,60	17,94	23,708	26,76
2º R		04	38,39	44,18	45,88	53,10	38,01	43,912	53,64
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								70,67	88,07

Tabela 7.179 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

12º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	38,07	32,28	42,46	31,89	42,10	37,36	42,46
1º R	1	01	51,20	28,30	16,28	21,98	55,55	34,66	55,55
2º R		01	79,10	65,82	20,58	32,52	36,66	46,94	79,10
T		01	38,07	32,28	42,46	31,89	42,10	37,36	42,46
1º R	25	01	51,20	28,30	16,28	21,98	55,55	34,66	55,55
2º R		01	79,10	65,82	20,58	32,52	36,66	46,94	79,10
T		02	44,95	36,82	48,45	21,67	48,21	40,02	48,45
1º R	50	02	51,20	28,30	16,28	21,98	55,55	34,66	55,55
2º R		02	55,12	48,40	43,38	46,23	58,61	50,35	58,61
T		02	44,95	36,82	48,45	21,67	48,21	40,02	48,45
1º R	75	03	57,98	45,95	32,46	39,95	50,84	45,44	57,98
2º R		02	55,12	48,40	43,38	46,23	58,61	50,35	58,61
T		03	87,43	45,96	45,88	69,80	103,16	70,45	103,24
1º R	90	04	94,15	80,16	25,61	28,82	93,76	64,50	94,15
2º R		03	57,04	48,97	34,32	33,44	51,78	45,11	57,10
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								45,25	62,42

Tabela 7.180 – Resultados das médias de R_a e R_z

1º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T	1	01	2,7	3,8	4,1	2,50	18	26	29	24,33
1º R		01	4,9	3,6	2,7	3,17	33	25	25	27,67
2º R		01	4,0	4,5	2,6	3,17	26	27	22	25,00
T	25	07	7,8	4,8	5,6	6,53	41	31	31	34,33
1º R		04	4,0	3,9	4,0	3,97	27	22	32	27,00
2º R		02	3,3	4,3	3,4	3,20	20	28	24	24,00
T	50	14	7,1	6,5	5,6	9,20	3,6	33	40	25,53
1º R		08	4,4	4,8	4,1	5,73	31	32	26	29,67
2º R		04	3,1	3,8	3,1	3,63	21	21	19	20,33
T	75	20	2,8	3,4	2,3	8,73	19	22	17	19,33
1º R		11	4,4	4,8	4,1	6,73	31	32	26	29,67
2º R		07	4,5	4,3	4,3	5,27	33	32	34	33,00
T	90	24	7,1	6,5	5,6	12,53	36	33	40	36,33
1º R		14	3,9	3,2	5,7	7,03	30	21	42	31,00
2º R		08	3,6	3,1	3,4	4,90	23	19	25	22,33
					Média geral	5,75			Média geral	27,30

Tabela 7.181 – Resultados das médias de R_a e R_z

11º ensaio			Rugosidade							
			R_a			(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T	1	01	0,94	3,1	3,0	2,35	8,4	24	21	17,80
1º R		01	6,6	6,8	4,0	5,80	37	28	30	31,67
2º R		01	0,94	3,1	3,0	2,35	8,4	24	21	17,80
T	25	75	3,5	5,4	4,8	4,57	23	38	30	30,33
1º R		10	3,6	5,1	4,9	4,53	20	31	32	27,67
2º R		25	4,4	4,8	5,6	4,93	28	30	35	31,00
T	50	150	5,2	5,2	4,8	5,07	29	36	31	32,00
1º R		20	3,7	3,9	4,1	3,90	23	24	25	24,00
2º R		50	4,4	4,8	5,6	4,93	28	30	35	31,00
T	75	225	4,3	5,1	4,7	4,70	26	35	35	32,00
1º R		29	4,4	4,8	5,6	4,93	28	30	35	31,00
2º R		76	3,5	5,4	4,8	4,57	23	38	30	30,33
T	90	270	4,0	3,9	4,7	4,20	26	21	30	25,67
1º R		35	3,6	3,0	4,3	3,63	19	18	30	22,33
2º R		91	3,5	5,4	4,8	4,57	23	38	30	30,33
					Média geral	4,34			Média geral	27,67

Tabela 7.182 – Resultados das médias de R_a e R_z

6º ensaio			Rugosidade							
			R_a			(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T	1	01	1,3	1,4	1,6	1,43	22	35	29	28,67
1º R		01	1,4	1,2	1,6	1,40	28	23	21	24,00
2º R		01	1,6	1,7	0,6	1,30	29	23	7,6	19,87
T	25	01	1,3	1,4	1,6	1,43	22	35	29	28,67
1º R		01	1,4	1,2	1,6	1,40	28	23	21	24,00
2º R		01	1,6	1,7	0,6	1,30	29	23	7,6	19,87
T	50	02	1,8	1,5	1,6	1,63	35	28	28	30,33
1º R		02	1,4	1,4	1,4	1,40	29	55	23	35,66
2º R		02	1,5	1,7	1,4	1,53	20	23	23	22,00
T	75	03	1,3	1,5	1,4	1,40	21	28	23	24,00
1º R		03	1,3	1,3	1,4	1,33	25	24	20	23,00
2º R		03	1,4	1,3	1,4	1,37	20	24	20	21,33
T	90	04	1,3	1,5	1,4	1,40	21	28	23	24,00
1º R		04	1,3	1,3	1,4	1,33	25	24	20	23,00
2º R		04	1,4	1,3	1,4	1,37	20	24	20	21,33
					Média geral	1,40			Média geral	24,65

Tabela 7.183 – Resultados das médias de R_a e R_z

8º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	2,1	2,7	2,7	2,50	19	19	21	19,67
1º R	1	01	2,7	3,3	2,8	2,93	24	29	18	23,67
2º R		01	2,7	3,3	2,8	2,93	24	29	18	23,67
T		01	2,1	2,7	2,7	2,50	19	19	21	19,67
1º R	25	01	2,7	3,3	2,8	2,93	24	29	18	23,67
2º R		04	2,7	3,3	2,8	2,93	24	29	18	23,67
T		02	3,2	2,6	3,2	3,00	19	19	19	19,00
1º R	50	02	2,9	2,7	3,8	3,13	22	19	28	23,00
2º R		08	2,7	3,3	2,8	2,93	24	29	18	23,67
T		02	3,2	2,6	3,2	3,00	19	19	19	19,00
1º R	75	03	2,3	3,1	3,6	3,00	25	27	27	26,33
2º R		11	2,3	3,1	3,6	3,00	25	27	27	26,33
T		03	2,8	3,1	3,6	3,17	23	27	27	25,67
1º R	90	04	2,5	3,0	2,7	2,73	18	20	18	18,67
2º R		14	2,5	3,0	2,7	2,73	18	20	18	18,67
					Média geral	2,90			Média geral	22,29

Tabela 7.184 – Resultados das médias de R_a e R_z

5º ensaio			Rugosidade							
			R_a			(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T	1	01	1,9	2,0	1,7	1,87	29	28	27	28,00
1º R		01	1,6	1,2	1,7	1,50	37	19	26	27,33
2º R		01	1,5	1,9	1,8	1,73	31	35	25	30,33
T	25	06	2,0	0,6	1,9	1,50	44	13	33	30,00
1º R		09	2,1	2,2	1,8	2,03	39	41	28	36,00
2º R		05	1,7	1,9	0,61	1,40	27	31	7,6	21,87
T	50	12	2,2	1,4	2,0	1,87	41	17	30	29,33
1º R		18	2,0	2,0	1,9	1,97	38	34	35	35,67
2º R		10	1,9	1,9	2,0	1,93	37	25	30	30,67
T	75	17	5,3	3,9	3,9	4,37	35	29	23	29,00
1º R		26	2,4	2,3	1,6	2,10	41	34	22	32,33
2º R		16	1,8	1,8	1,0	1,53	25	33	7,5	21,83
T	90	20	1,6	1,5	1,5	1,53	29	40	29	32,67
1º R		32	1,2	1,7	1,5	1,47	25	29	23	25,67
2º R		20	1,8	1,8	1,0	1,53	25	33	7,5	21,83
					Média geral	1,89			Média geral	28,84

Tabela 7.185 – Resultados das médias de R_a e R_z

7º ensaio			Rugosidade							
			R_a			(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	(µm)
T	1	01	4,7	6,2	4,9	5,27	33	36	30	33,00
1º R		01	3,4	4,0	4,8	4,07	24	25	31	26,67
2º R		01	4,7	6,2	4,9	5,27	33	36	30	33,00
T	25	06	4,2	3,6	3,9	3,90	32	22	23	25,67
1º R		05	3,7	3,6	3,3	3,53	30	21	22	24,33
2º R		14	4,2	3,6	3,9	3,90	32	22	23	25,67
T	50	12	5,1	5,4	4,8	5,10	25	32	41	32,67
1º R		10	4,1	3,9	5,6	4,53	28	27	36	30,33
2º R		28	5,1	5,4	4,8	5,10	25	32	41	32,67
T	75	17	4,9	4,5	4,5	4,63	33	28	31	30,67
1º R		16	4,7	3,3	4,7	4,23	28	21	26	25,00
2º R		41	4,9	4,5	4,5	4,63	33	28	31	30,67
T	90	20	5,5	5,7	4,4	5,20	33	38	25	32,00
1º R		19	3,7	3,7	4,2	3,87	24	24	33	27,00
2º R		49	5,5	5,7	4,4	5,20	33	38	25	32,00
					Média geral	4,56			Média geral	29,42

Tabela 7.186 – Resultados das médias de R_a e R_z

2º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	3,7	4,1	3,3	3,70	22	22	29	24,33
1º R	1	01	1,0	2,2	2,6	1,93	13	21	19	17,67
2º R		01	3,2	2,7	3,1	3,00	22	22	20	21,33
T		01	3,7	4,1	3,3	3,70	22	22	29	24,33
1º R	25	01	1,0	2,2	2,6	1,93	13	21	19	17,67
2º R		01	3,2	2,7	3,1	3,00	22	22	20	21,33
T		01	3,7	4,1	3,3	3,70	22	22	29	24,33
1º R	50	01	1,0	2,2	2,6	1,9	13	21	19	17,67
2º R		02	3,2	2,7	3,1	3,00	22	22	20	21,33
T		01	3,7	4,1	3,3	3,70	22	22	29	24,33
1º R	75	02	3,2	3,1	3,1	3,13	23	24	25	24,00
2º R		03	3,4	3,1	3,2	3,23	26	22	18	22,00
T		01	3,7	4,1	3,3	3,70	22	22	29	24,33
1º R	90	02	3,2	3,1	3,1	3,13	23	24	25	24,00
2º R		04	3,4	3,1	3,2	3,23	26	22	18	22,00
					Média geral	3,07			Média geral	22,04

Tabela 7.187 – Resultados das médias de R_a e R_z

12º ensaio			Rugosidade							
			R_a			(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T	1	01	3,3	5,1	3,2	3,87	23	33	24	26,67
1º R		01	3,1	2,4	3,3	2,93	21	14	22	19,00
2º R		01	3,3	5,1	3,2	3,87	23	33	24	26,67
T	25	01	3,3	5,1	3,2	3,87	23	33	24	26,66
1º R		01	3,1	2,4	3,3	2,93	21	14	22	19,00
2º R		01	3,3	5,1	3,2	3,87	23	33	24	26,67
T	50	02	3,3	3,3	3,2	3,27	26	26	29	27,00
1º R		02	3,1	2,4	3,3	2,93	21	14	22	19,00
2º R		02	3,3	3,3	3,2	3,27	26	26	29	27,00
T	75	02	3,3	3,3	3,2	3,27	26	26	29	27,00
1º R		03	3,7	3,2	3,1	3,33	22	25	22	23,00
2º R		02	3,3	3,3	3,2	3,27	26	26	29	27,00
T	90	03	3,7	3,4	4,1	3,73	27	22	24	24,33
1º R		04	2,9	3,9	2,2	3,00	23	27	20	23,33
2º R		03	3,7	3,4	4,1	3,73	27	22	24	24,33
					Média geral	3,41			Média geral	24,44

Tabela 7.188 – Resultados das média de F_z e M_z

1º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	510,50	13,38
1º R		01	522,64	13,50
2º R		01	557,72	15,00
T	25	07	738,98	17,73
1º R		04		
2º R		02		
T	50	14	582,45	15,52
1º R		08	597,63	14,98
2º R		04		
T	75	20		
1º R		11		
2º R		07		
T	90	24	601,46	15,08
1º R		14	616,73	15,39
2º R		08	738,99	17,73
		Médias	607,46	15,37

Tabela 7.189 – Resultados das média de F_z e M_z

11º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	603,36	9,97
1º R		01	574,66	9,57
2º R		01	1671,20	11,32
T	25	75	551,87	10,86
1º R		10	666,96	10,92
2º R		25	622,57	10,32
T	50	150	596,12	11,40
1º R		20	666,96	10,92
2º R		50	2017,60	12,07
T	75	225	557,81	11,10
1º R		29	666,96	10,92
2º R		76	2138,48	13,59
T	90	270	624,58	11,70
1º R		35	622,57	10,32
2º R		91	536,76	10,26
		Médias	874,56	11,02

Tabela 7.190 – Resultados das média de F_z e M_z

6º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	996,72	19,03
1º R		01	1094,30	18,63
2º R		01	557,29	13,88
T	25	01	996,72	19,03
1º R		01	1094,30	18,63
2º R		01	557,29	13,88
T	50	02	604,67	14,38
1º R		02	604,67	14,38
2º R		02	604,67	14,38
T	75	03	612,96	14,74
1º R		03	612,96	14,74
2º R		03	612,96	14,74
T	90	04	842,68	19,08
1º R		04	1105,30	19,06
2º R		04	711,70	16,04
		Médias	773,95	16,31

Tabela 7.191 – Resultados das média de F_z e M_z

8º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	589,66	10,08
1º R		01	573,39	12,77
2º R		01	2181,68	9,19
T	25	01	589,66	10,08
1º R		01	573,39	12,77
2º R		04	2494,63	12,17
T	50	02	645,84	11,10
1º R		02	577,48	13,13
2º R		08	916,33	10,07
T	75	02	645,84	11,10
1º R		03	592,91	13,44
2º R		11	1012,77	11,25
T	90	03	599,91	11,58
1º R		04	604,08	13,64
2º R		14	2123,88	18,70
		Médias	981,43	18,12

Tabela 7.192 – Resultados das média de F_z e M_z

5º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	843,68	18,93
1º R		01	732,47	18,86
2º R		01	714,38	18,92
T	25	08		
1º R		07		
2º R		11		
T	50	16		
1º R		14		
2º R		32		
T	75	24	1167,76	19,13
1º R		20		
2º R		34		
T	90	40		
1º R		34	1692,89	19,20
2º R		41		
		Médias	1030,23	19,01

Tabela 7.193 – Resultados das média de F_z e M_z

7º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	723,53	16,94
1º R		01	830,94	25,55
2º R		01		
T	25	06	2181,01	18,27
1º R		05	2181,01	18,28
2º R		14		
T	50	12	812,915	21,18
1º R		10	812,92	21,18
2º R		28		
T	75	17	806,92	21,33
1º R		16	806,92	21,33
2º R		41		
T	90	20	1040,74	23,03
1º R		19	1040,74	23,02
2º R		49		
		Médias	1123,76	21,01

As Tab. a seguir correspondem ao resultados detalhados dos erros de circularidade e cilindricidade (Tab. 7.196 a 7.203), rugosidades R_a e R_z (Tab. 7.204 a 7.211) e força F_z (Tab. 7.112 a 7.219) para os testes da **nona** matriz de planejamento com os confrontos do número de paradas **(3 mm x 1 mm)** e do sistema lubri-refrigerante **(Seco x jorro)** da **Etapa 2**.

Tabela 7.194 – Resultados das média de F_z e M_z

2º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	737,09	19,25
1º R		01	722,59	19,24
2º R		01	737,09	19,25
T	25	01	737,09	19,25
1º R		01	722,59	19,24
2º R		01	737,09	19,25
T	50	01	737,09	19,25
1º R		01	722,59	19,24
2º R		02	1544,72	19,38
T	75	01	737,09	19,25
1º R		02	762,12	19,29
2º R		03	1526,48	19,39
T	90	01	737,09	19,25
1º R		02	762,12	19,29
2º R		04	1526,48	19,39
		Médias	896,621	19,28

Tabela 7.195 – Resultados das média de F_z e M_z

12º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	739,53	17,79
1º R		01	778,28	19,21
2º R		01	2180,90	17,52
T	25	01	739,53	17,79
1º R		01	778,28	19,21
2º R		01	2180,90	17,52
T	50	02	783,74	19,60
1º R		02	783,74	19,60
2º R		02	2181,84	18,55
T	75	02	783,74	19,60
1º R		03	748,67	20,20
2º R		02	2181,84	18,55
T	90	03	748,67	20,20
1º R		04	845,22	22,30
2º R		03	748,67	20,20
		Médias	1146,9	27,45

Tabela 7.196 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

1º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	23,71	26,80	27,36	17,65	24,83	24,07	29,43
1º R	1	01	103,26	116,17	127,48	114,30	62,88	104,82	129,03
2º R		01	25,60	39,26	32,19	40,73	45,96	36,75	49,78
T		07	25,05	32,40	30,00	51,17	39/73	34,66	51,68
1º R	25	04	98,68	101,32	78,50	82,40	70,62	86,30	101,32
2º R		02	57,62	50,28	25,53	23,83	55,88	42,63	57,62
T		14	37,80	25,72	33,02	42,86	44,61	36,80	45,33
1º R	50	08	83,13	64,77	81,40	66,38	88,87	76,91	88,87
2º R		04	22,35	18,51	25,02	35,58	35,45	27,38	36,04
T		20	50,91	33,73	27,09	40,21	51,24	40,64	53,34
1º R	75	11	28,02	27,83	22,69	26,90	25,88	26,26	30,54
2º R		07	38,75	51,81	47,35	48,78	31,70	43,68	54,53
T		24	123,00	113,00	77,35	86,65	91,61	98,32	123,05
1º R	90	14	42,94	45,28	42,92	46,42	44,10	44,33	47,55
2º R		08	68,35	61,59	29,70	67,20	64,80	58,33	68,35
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								52,13	64,43

Tabela 7.197 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

21º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	40,76	37,18	19,29	28,14	29,40	30,95	40,88
1º R	1	01	55,72	55,76	33,36	20,88	45,78	42,30	55,77
2º R		01	66,29	56,61	65,88	60,84	74,26	64,78	74,33
T		16	74,51	81,43	85,10	69,38	42,34	70,55	85,73
1º R	25	28	48,68	60,25	56,06	22,61	31,99	43,92	60,84
2º R		76	68,74	77,11	73,68	71,45	77,84	73,76	82,99
T		32	47,65	59,25	25,64	34,12	59,28	45,19	59,32
1º R	50	56	37,58	27,07	30,89	39,65	41,62	35,36	41,62
2º R		152	54,04	71,19	53,38	50,36	58,16	57,43	71,97
T		47	48,74	31,27	48,64	36,74	46,73	42,42	48,81
1º R	75	83	26,93	33,52	27,66	26,76	30,11	28,99	33,53
2º R		229	54,04	71,19	53,38	50,36	58,16	57,43	71,97
T		56	37,58	27,07	30,89	39,65	41,62	35,36	41,62
1º R	90	99	63,34	58,03	37,95	54,43	63,27	55,40	63,34
2º R		275	106,51	113,69	38,21	108,15	36,91	80,69	114,89
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								50,97	63,17

Tabela 7.198 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

4º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	18,70	19,11	26,97	23,33	26,98	23,02	27,57
1º R	1	01	18,05	13,03	16,66	14,89	20,93	16,71	20,94
2º R		01	70,98	81,63	134,39	118,89	119,62	105,10	135,78
T		02	14,08	12,72	11,07	8,30	14,62	12,16	14,84
1º R	25	02	19,10	14,23	18,75	18,09	17,08	17,45	21,08
2º R		02	13,95	9,77	14,90	10,71	15,01	12,87	15,76
T		04	49,50	45,04	40,06	46,78	26,75	41,63	49,56
1º R	50	04	21,51	14,62	15,03	20,98	13,12	17,05	21,72
2º R		04	7,86	8,89	13,73	12,30	9,45	10,45	13,87
T		04	39,43	37,80	37,23	40,12	30,71	37,06	40,35
1º R	75	06	75,88	43,84	53,26	49,82	78,24	60,21	78,24
2º R		06	55,34	56,25	53,58	52,56	50,92	53,73	57,15
T		05	60,45	62,05	68,85	63,34	64,08	63,75	70,09
1º R	90	07	75,88	43,84	53,26	49,82	78,24	60,21	78,24
2º R		07	20,44	8,37	16,25	17,20	17,27	15,91	20,44
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								36,49	44,38

Tabela 7.199 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

20º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	69,39	66,91	91,97	79,63	89,80	79,54	92,00
1º R	1	01	53,61	70,61	63,71	68,21	47,33	60,69	70,61
2º R		01	86,44	47,72	63,68	53,94	86,28	67,61	8649
T		02	72,19	73,55	74,76	53,54	60,76	66,96	74,78
1º R	25	02	68,91	41,11	49,41	59,11	56,20	54,95	56,22
2º R		02	51,85	55,82	63,02	47,49	66,14	56,86	66,14
T		03	122,95	124,33	126,36	103,62	106,13	116,68	126,52
1º R	50	03	84,39	65,58	36,72	67,32	82,16	67,23	85,79
2º R		03	74,41	64,92	49,49	73,37	75,81	67,60	91,63
T		03	122,95	124,33	126,36	103,62	106,13	116,68	126,52
1º R	75	03	84,39	65,58	36,72	67,32	82,16	67,23	85,79
2º R		03	74,41	64,92	49,49	73,37	75,81	67,60	91,63
T		03	122,95	124,33	126,36	103,62	106,13	116,68	126,52
1º R	90	03	84,39	65,58	36,72	67,32	82,16	67,23	85,79
2º R		03	74,41	64,92	49,49	73,37	75,81	67,60	91,63
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								76,08	661,37

Tabela 7.200 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

3º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	40,94	41,12	19,69	25,28	12,99	28,00	42,23
1º R	1	01	43,44	44,48	34,19	42,95	45,16	42,04	45,27
2º R		01	48,97	33,78	48,28	45,08	39,33	43,09	49,84
T		14	63,72	49,50	30,97	47,99	55,35	49,51	63,72
1º R	25	15	18,62	14,62	16,91	18,25	14,23	16,53	18,62
2º R		17	48,97	33,78	48,28	45,08	39,33	43,09	49,84
T		28	70,85	32,02	74,65	85,14	13,78	55,29	187,61
1º R	50	30	17,72	16,08	14.66	21,16	21,28	19,06	22,89
2º R		34	48,97	33,78	48,28	45,08	39,33	43,09	49,84
T		41	39,49	27,43	32,21	42,70	45,74	37,51	46,56
1º R	75	45	53,31	42,45	48,89	31,79	25,25	40,34	54,85
2º R		51	48,97	33,78	48,28	45,08	39,33	43,09	49,84
T		50	25,98	34,07	42,04	38,91	42,44	36,69	42,44
1º R	90	54	53,31	42,45	48,89	31,79	25,25	40,34	54,85
2º R		61	70,13	84,33	72,25	68,92	44,75	68,08	96,63
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								39,71	59,64

Tabela 7.201 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

19º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	93,36	86,23	81,25	56,75	86,01	80,72	93,40
1º R	1	01	29,35	17,77	16,67	25,56	26,83	23,24	29,45
2º R		01	40,28	35,50	34,77	20,55	40,10	34,24	40,87
T		11	97,68	58,70	78,43	53,02	97,06	76,98	97,68
1º R	25	09	48,32	46,04	37,45	39,68	46,49	43,59	48,32
2º R		09	84,75	70,03	64,72	33,84	73,92	65,45	84,75
T		22	24,68	18,95	18,95	22,48	20,69	21,15	25,05
1º R	50	18	28,09	35,93	24,54	44,21	44,22	35,40	44,22
2º R		18	81,67	59,21	87,46	54,31	84,13	73,36	87,50
T		34	49,58	50,54	47,62	28,18	50,54	45,29	50,56
1º R	75	26	34,60	36,83	34,91	33,66	38,27	35,65	38,37
2º R		26	47,14	46,78	43,54	34,96	31,81	40,85	47,27
T		41	76,24	65,12	49,51	68,43	58,04	63,47	76,24
1º R	90	31	34,60	36,83	34,91	33,66	38,27	35,65	38,37
2º R		31	47,14	46,78	43,54	34,96	31,81	40,85	47,27
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								47,73	56,62

Tabela 7.202 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

2º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	132,38	124,60	56,63	69,70	63,02	89,266	132,47
1º R	1	01	149,34	149,06	145,42	107,45	68,88	124,03	149,34
2º R		01	52,00	43,69	29,39	31,99	38,46	39,106	54,52
T		01	132,38	124,60	56,63	69,70	63,02	89,266	132,47
1º R	25	01	149,34	149,06	145,42	107,45	68,88	124,03	149,34
2º R		01	52,00	43,69	29,39	31,99	38,46	39,106	54,52
T		01	132,38	124,60	56,63	69,70	63,02	89,266	132,47
1º R	50	01	149,34	149,06	145,42	107,45	68,88	124,03	149,34
2º R		02	36,89	34,95	39,74	42,85	41,91	39,268	43,69
T		01	132,38	124,60	56,63	69,70	63,02	89,266	132,47
1º R	75	02	156,86	145,19	145,46	142,61	86,90	135,404	156,08
2º R		03	24,05	26,71	25,24	24,60	17,94	23,708	26,76
T		01	132,38	124,60	56,63	69,70	63,02	89,266	132,47
1º R	90	02	24,05	26,71	25,24	24,60	17,94	23,708	26,76
2º R		04	38,39	44,18	45,88	53,10	38,01	43,912	53,64
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								70,67	88,07

Tabela 7.203 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

22º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	38,27	29,70	31,26	31,02	38,21	33,69	38,37
1º R	1	01	89,86	86,21	43,87	35,83	27,02	56,56	90,00
2º R		01	38,68	31,05	36,42	39,50	44,93	38,12	45,04
T		01	38,27	29,70	31,26	31,02	38,21	33,69	38,37
1º R	25	02	36,30	32,93	23,42	19,84	36,37	29,77	36,40
2º R		02	90,94	82,10	76,83	63,76	90,96	80,92	90,97
T		02	40,12	35,80	35,26	38,09	44,98	38,85	49,13
1º R	50	03	25,93	26,19	34,50	33,93	33,82	30,87	34,50
2º R		03	71,89	71,84	33,12	28,99	71,10	55,39	72,05
T		03	38,66	31,98	17,10	34,58	36,25	31,71	38,81
1º R	75	05	43,02	46,85	19,29	28,14	24,40	32,34	63,17
2º R		05	76,90	92,56	34,72	46,16	91,19	68,31	92,66
T		04	50,36	58,06	54,00	49,78	40,72	50,58	58,14
1º R	90	05	43,02	46,85	19,29	28,14	24,40	32,34	63,17
2º R		05	76,90	92,56	34,72	46,16	91,19	68,31	92,66
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								45,43	60,23

Tabela 7.204 – Resultados das médias de R_a e R_z

1º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	2,7	3,8	4,1	2,50	18	26	29	24,33
1º R	1	01	4,9	3,6	2,7	3,17	33	25	25	27,67
2º R		01	4,0	4,5	2,6	3,17	26	27	22	25,00
T		07	7,8	4,8	5,6	6,53	41	31	31	34,33
1º R	25	04	4,0	3,9	4,0	3,97	27	22	32	27,00
2º R		02	3,3	4,3	3,4	3,20	20	28	24	24,00
T		14	7,1	6,5	5,6	9,20	3,6	33	40	25,53
1º R	50	08	4,4	4,8	4,1	5,73	31	32	26	29,67
2º R		04	3,1	3,8	3,1	3,63	21	21	19	20,33
T		20	2,8	3,4	2,3	8,73	19	22	17	19,33
1º R	75	11	4,4	4,8	4,1	6,73	31	32	26	29,67
2º R		07	4,5	4,3	4,3	5,27	33	32	34	33,00
T		24	7,1	6,5	5,6	12,53	36	33	40	36,33
1º R	90	14	3,9	3,2	5,7	7,03	30	21	42	31,00
2º R		08	3,6	3,1	3,4	4,90	23	19	25	22,33
					Média geral	5,75			Média geral	27,30

Tabela 7.205 – Resultados das médias de R_a e R_z

21º ensaio		Rugosidade								
		R_a				Média	R_z			Média
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	(µm)	1	2	3	(µm)
T		01	2,3	3,0	4,2	3,17	17	26	23	22,00
1º R	1	01	1,7	2,3	2,4	2,13	16	18	17	17,00
2º R		01	3,9	2,5	2,2	2,87	22	17	14	17,67
T		16	2,7	1,8	5,8	3,43	16	15	34	21,67
1º R	25	28	4,3	4,6	3,1	4,00	25	30	23	26,00
2º R		76	5,0	5,4	5,3	5,23	32	36	33	33,67
T		32	4,6	5,6	6,1	5,43	29	35	41	35,00
1º R	50	56	3,8	4,4	3,3	3,83	22	27	21	23,33
2º R		152	5,6	5,3	7,0	5,97	32	31	46	36,33
T		47	6,7	5,2	6,0	5,97	42	32	40	38,00
1º R	75	83	4,7	3,7	3,7	4,03	25	22	25	24,00
2º R		229	8,2	6,2	6,5	6,97	46	33	40	39,67
T		56	6,7	5,2	6,0	5,97	42	32	40	38,00
1º R	90	99	4,8	4,6	6,4	5,27	30	35	43	36,00
2º R		275	7,6	9,8	4,3	7,23	50	56	31	45,67
					Média geral	4,77			Média geral	30,27

Tabela 7.206 – Resultados das médias de R_a e R_z

4º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			Média
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	2,4	3,8	5,3	3,83	22	29	45	32,00
1º R	1	01	2,7	3,1	2,8	2,87	18	17	19	18,00
2º R		01	2,5	3,4	2,1	2,67	21	21	17	19,67
T		01	2,4	3,8	5,3	3,83	22	29	45	32,00
1º R	25	02	3,2	3,6	2,7	3,17	13	27	29	23,00
2º R		02	3,2	3,2	3,1	3,17	22	27	20	23,00
T		02	2,4	3,8	5,3	3,83	13	27	29	23,00
1º R	50	04	4,2	4,4	5,2	4,60	24	35	33	30,67
2º R		04	2,0	2,4	3,5	2,63	17	18	27	20,67
T		04	3,0	3,6	3,1	3,23	24	22	22	22,67
1º R	75	06	3,0	2,0	3,5	2,83	19	16	20	18,33
2º R		06	3,2	2,6	4,0	3,27	27	19	29	25,00
T		05	4,1	2,6	2,3	3,00	30	19	30	26,33
1º R	90	07	3,0	2,0	3,5	2,83	19	16	20	18,33
2º R		07	2,6	2,3	3,3	2,73	19	17	28	21,33
					Média geral	3,23			Média geral	23,60

Tabela 7.207 – Resultados das médias de R_a e R_z

20º ensaio		Rugosidade								
		R_a				Média	R_z			Média
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	(µm)	1	2	3	(µm)
T		01	2,4	3,8	3,4	3,20	18	24	27	23,00
1º R	1	01	3,0	3,8	3,6	3,47	19	25	26	23,33
2º R		01	1,8	3,6	3,5	2,97	16	24	23	21,00
T		01	2,4	3,8	3,4	3,20	18	24	27	23,00
1º R	25	01	3,0	3,8	3,6	3,47	19	25	26	23,33
2º R		01	1,8	3,6	3,5	2,97	16	24	23	21,00
T		02	3,1	3,5	3,5	3,37	24	21	22	22,33
1º R	50	02	3,9	3,1	3,5	3,50	31	20	22	24,33
2º R		02	3,2	3,1	4,8	3,70	25	20	26	23,67
T		02	3,1	3,5	3,5	3,37	24	21	22	22,33
1º R	75	02	3,9	3,1	3,5	3,50	31	20	22	24,33
2º R		02	3,2	3,1	4,8	3,70	25	20	26	23,67
T		03	4,5	4,8	3,7	4,33	34	32	25	30,33
1º R	90	03	5,0	4,4	3,7	4,37	29	35	25	29,67
2º R		03	3,6	3,6	3,1	3,43	26	27	20	24,33
					Média geral	3,50			Média geral	23,98

Tabela 7.208 – Resultados das médias de R_a e R_z

3º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	1,9	1,7	1,6	1,73	23	29	21	24,33
1º R	1	01	1,3	1,6	1,7	1,53	26	35	36	32,33
2º R		01	2,3	3,1	2,4	2,60	14	19	19	17,33
T		14	1,7	1,7	2,0	1,80	33	32	33	32,67
1º R	25	15	2,9	2,1	2,0	2,33	48	42	36	42,00
2º R		17	2,3	3,1	2,4	2,60	14	19	19	17,33
T		28	2,0	2,1	1,8	1,97	25	33	25	27,67
1º R	50	30	2,6	2,1	1,2	1,97	41	25	18	28,00
2º R		34	2,3	3,1	2,4	2,60	14	19	19	17,33
T		41	1,9	2,0	1,8	1,90	29	26	23	26,00
1º R	75	45	3,9	3,6	4,6	4,03	25	26	35	28,67
2º R		51	5,1	4,9	4,4	4,80	28	31	26	28,33
T		50	1,4	1,9	2,1	1,80	22	30	29	27,00
1º R	90	54	1,9	1,8	1,6	1,77	32	35	31	32,67
2º R		61	5,1	4,9	4,4	4,80	28	31	26	28,33
					Média geral	2,56			Média geral	27,33

Tabela 7.209 – Resultados das médias de R_a e R_z

19º ensaio		Rugosidade								
		R_a				Média	R_z			Média
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	(µm)	1	2	3	(µm)
T		01	3,1	3,0	4,0	3,37	23	24	26	24,33
1º R	1	01	4,1	3,2	2,5	3,27	24	21	19	21,33
2º R		01	2,1	3,0	3,8	2,97	16	22	21	19,67
T		11	6,0	5,3	4,8	5,37	52	36	31	39,67
1º R	25	09	4,3	3,8	3,7	3,93	33	30	27	30,00
2º R		09	6,2	5,7	5,6	5,83	39	42	37	39,33
T		22	3,3	3,9	4,3	3,83	21	23	27	23,67
1º R	50	18	4,7	4,7	5,0	4,80	29	26	46	33,67
2º R		18	4,6	4,7	5,0	4,77	29	26	46	33,67
T		34	5,4	5,0	4,7	5,03	32	30	34	32,00
1º R	75	26	5,1	5,8	7,2	6,03	33	37	43	37,67
2º R		26	5,5	4,9	4,6	5,00	35	40	29	34,67
T		41	7,4	7,1	6,9	7,13	40	39	37	38,67
1º R	90	31	5,1	5,8	7,2	6,03	33	37	43	37,67
2º R		31	5,5	4,9	4,6	5,00	35	40	29	34,67
					Média geral	4,82			Média geral	32,05

Tabela 7.210 – Resultados das médias de R_a e R_z

2º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	3,7	4,1	3,3	3,70	22	22	29	24,33
1º R	1	01	1,0	2,2	2,6	1,93	13	21	19	17,67
2º R		01	3,2	2,7	3,1	3,00	22	22	20	21,33
T		01	3,7	4,1	3,3	3,70	22	22	29	24,33
1º R	25	01	1,0	2,2	2,6	1,93	13	21	19	17,67
2º R		01	3,2	2,7	3,1	3,00	22	22	20	21,33
T		01	3,7	4,1	3,3	3,70	22	22	29	24,33
1º R	50	01	1,0	2,2	2,6	1,9	13	21	19	17,67
2º R		02	3,2	2,7	3,1	3,00	22	22	20	21,33
T		01	3,7	4,1	3,3	3,70	22	22	29	24,33
1º R	75	02	3,2	3,1	3,1	3,13	23	24	25	24,00
2º R		03	3,4	3,1	3,2	3,23	26	22	18	22,00
T		01	3,7	4,1	3,3	3,70	22	22	29	24,33
1º R	90	02	3,2	3,1	3,1	3,13	23	24	25	24,00
2º R		04	3,4	3,1	3,2	3,23	26	22	18	22,00
					Média geral	3,07			Média geral	22,04

Tabela 7.211 – Resultados das médias de R_a e R_z

22º ensaio		Rugosidade								
		R_a				Média	R_z			Média
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	(µm)	1	2	3	(µm)
T		01	2,2	1,6	3,1	2,30	15	15	22	17,33
1º R	1	01	3,7	3,6	2,6	3,30	24	27	18	23,00
2º R		01	2,7	4,4	3,8	3,63	21	28	28	25,67
T		01	2,2	1,6	3,1	2,30	15	15	22	17,33
1º R	25	02	3,0	2,5	3,9	3,13	19	17	27	21,00
2º R		02	2,7	4,4	3,8	3,63	21	28	28	25,67
T		02	3,1	5,0	3,5	3,87	20	36	21	25,67
1º R	50	03	3,3	4,6	3,5	3,80	27	33	28	29,33
2º R		03	3,9	5,9	2,8	4,20	22	39	25	28,67
T		03	4,3	2,5	3,0	3,27	28	18	23	23,00
1º R	75	05	1,9	4,2	2,9	3,00	12	23	23	19,33
2º R		05	2,6	4,3	3,4	3,43	17	31	29	25,66
T		04	1,6	3,0	1,3	1,97	16	30	14	20,00
1º R	90	05	1,9	4,2	2,9	3,00	12	23	23	19,33
2º R		05	2,6	4,3	3,4	3,43	17	31	29	25,67
					Média geral	3,22			Média geral	23,11

Tabela 7.212 – Resultados das média de F_z e M_z

1º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	510,50	13,38
1º R		01	522,64	13,50
2º R		01	557,72	15,00
T	25	07	738,98	17,73
1º R		04		
2º R		02		
T	50	14	582,45	15,52
1º R		08	597,63	14,98
2º R		04		
T	75	20		
1º R		11		
2º R		07		
T	90	24	601,46	15,08
1º R		14	616,73	15,39
2º R		08	738,99	17,73
		Médias	607,46	15,37

Tabela 7.213 – Resultados das média de F_z e M_z

21º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	759,02	7,14
1º R		01	980,99	9,22
2º R		01	871,04	8,19
T	25	16	816,48	7,68
1º R		28	1014,08	9,54
2º R		76	1039,85	
T	50	32		
1º R		56	1057,45	9,94
2º R		152	1068,63	10,05
T	75	47	935,42	8,80
1º R		83	1171,57	11,01
2º R		229	1038,03	9,78
T	90	56		
1º R		99	1182.15	11,12
2º R		275	1145,87	10,78
		Médias	977,51	9,063

Tabela 7.214 – Resultados das média de F_z e M_z

4º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	635,12	28,91
1º R		01	646,42	11,40
2º R		01	2130,60	14,93
T	25	07	595,13	12,76
1º R		04	779,58	10,71
2º R		02	2181,01	53,65
T	50	14	820,12	14,80
1º R		08	648,97	8,97
2º R		04	2183,67	17,34
T	75	20	2278,80	55,60
1º R		11	1342,34	13,78
2º R		07	583,26	10,06
T	90	24	776,73	13,54
1º R		14	757,65	17,61
2º R		08		53,65
		Médias	1193,26	17,29

Tabela 7.215 – Resultados das média de F_z e M_z

20º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	1245,41	11,71
1º R		01	1256,19	11,81
2º R		01	1340,89	12,61
T	25	01	1514,62	11,81
1º R		01	1256,19	11,71
2º R		01	1340,89	12,61
T	50	02	1514,62	14,24
1º R		02	1435,70	13,50
2º R		02	1395,30	13,12
T	75	02	1514,62	14,24
1º R		02	1435,70	13,12
2º R		02	1395,30	14,24
T	90	03		
1º R		03	1515,16	14,25
2º R		03	2085,51	19,61
		Médias	1446,15	23,56

Tabela 7.216 – Resultados das média de F_z e M_z

3º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	487,85	8,54
1º R		01	665,89	16,16
2º R		01	683,73	17,16
T	25	14	724,97	14,48
1º R		15	758,78	16,01
2º R		17	724,96	14,48
T	50	28	781,26	14,99
1º R		30	781,26	14,99
2º R		34	748,80	15,57
T	75	41	756,06	15,71
1º R		45	593,28	8,76
2º R		51	555,66	19,01
T	90	50	756,06	15,71
1º R		54	593,28	8,76
2º R		61	555,66	19,01
		Médias	677,83	14,62

Tabela 7.217 – Resultados das média de F_z e M_z

19º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	1145,88	10,79
1º R		01	1134,63	10,67
2º R		01	1939,26	18,23
T	25	11	1585,09	14,90
1º R		09	1018,78	9,58
2º R		09		
T	50	22	1768,28	16,62
1º R		18		
2º R		18		
T	75	34	1684,07	15,84
1º R		26	982,56	9,24
2º R		26	2096,16	19,71
T	90	41	1842,91	17,33
1º R		31		
2º R		31		
		Médias	1519,762	14,29

Tabela 7.218 – Resultados das média de F_z e M_z

2º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	737,09	19,25
1º R		01	722,59	19,24
2º R		01	737,09	19,25
T	25	01	737,09	19,25
1º R		01	722,59	19,24
2º R		01	737,09	19,25
T	50	01	737,09	19,25
1º R		01	722,59	19,24
2º R		02	1544,72	19,38
T	75	01	737,09	19,25
1º R		02	762,12	19,29
2º R		03	1526,48	19,39
T	90	01	737,09	19,25
1º R		02	762,12	19,29
2º R		04	1526,48	19,39
		Médias	896,62	19,28

Tabela 7.219 – Resultados das média de F_z e M_z

22º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	1268,68	11,93
1º R		01	1379,07	12,97
2º R		01	1268,68	11,93
T	25	01	1268,68	11,93
1º R		02	1303,31	12,26
2º R		02		
T	50	02	1303,31	12,25
1º R		03		
2º R		03		
T	75	03		
1º R		05		
2º R		05		
T	90	04		
1º R		05	1244,75	11,70
2º R		05		
		Médias	1298,62	20,79

As Tab. a seguir correspondem ao resultados detalhados dos erros de circularidade e cilindricidade (Tab. 7.220 a 7.227), rugosidades R_a e R_z (Tab. 7.228 a 7.235) e força F_z (Tab. 7.236 a 7.243) para os testes da **décima** matriz de planejamento com os confrontos do número de paradas **(3 mm x 1 mm)** e do sistema lubri-refrigerante **(Seco x MQF)** da **Etapa 2**.

Tabela 7.220 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

1º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	23,71	26,80	27,36	17,65	24,83	24,07	29,43
1º R	1	01	103,26	116,17	127,48	114,30	62,88	104,82	129,03
2º R		01	25,60	39,26	32,19	40,73	45,96	36,75	49,78
T		07	25,05	32,40	30,00	51,17	39/73	34,66	51,68
1º R	25	04	98,68	101,32	78,50	82,40	70,62	86,30	101,32
2º R		02	57,62	50,28	25,53	23,83	55,88	42,63	57,62
T		14	37,80	25,72	33,02	42,86	44,61	36,80	45,33
1º R	50	08	83,13	64,77	81,40	66,38	88,87	76,91	88,87
2º R		04	22,35	18,51	25,02	35,58	35,45	27,38	36,04
T		20	50,91	33,73	27,09	40,21	51,24	40,64	53,34
1º R	75	11	28,02	27,83	22,69	26,90	25,88	26,26	30,54
2º R		07	38,75	51,81	47,35	48,78	31,70	43,68	54,53
T		24	123,00	113,00	77,35	86,65	91,61	98,32	123,05
1º R	90	14	42,94	45,28	42,92	46,42	44,10	44,33	47,55
2º R		08	68,35	61,59	29,70	67,20	64,80	58,33	68,35
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								52,13	64,43

Tabela 7.221 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

23º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	37,96	40,48	41,71	42,89	36,35	39,88	43,60
1º R	1	01	55,32	25,54	52,22	42,51	34,05	41,93	60,01
2º R		01	58,28	58,81	52,74	31,70	62,11	52,73	62,26
T		27	43,09	37,84	43,26	42,58	30,56	39,47	43,45
1º R	25	64	63,94	54.59	51,63	58,88	47,47	55,48	66,30
2º R		35	39,16	37,85	35,10	16,92	24,50	30,71	39,16
T		54	52,98	59,21	45,47	60,03	63,22	56,18	68,10
1º R	50	128	93,08	87,17	80,23	83,48	90,82	86,96	94,13
2º R		70	50,77	33,16	28,61	48,29	24,12	36,99	50,82
T		81	58,90	46,18	35,25	43,25	37,66	44,25	59,36
1º R	75	191	92,30	112,90	78,03	109,50	70,46	92,64	113,09
2º R		104	63,83	54,85	35,77	33,63	63,85	50,39	63,89
T		97	52,87	52,22	40,47	56,14	41,01	48,542	56,46
1º R	90	230	40,77	40,99	28,66	38,61	40,85	37,98	40,99
2º R		125	34,50	34,37	23,11	30,13	34,42	31,31	34,51
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								49,70	59,74

Tabela 7.222 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

6º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	84,41	64,22	54,97	68,32	81,31	70,65	85,77
1º R	1	01	27,72	12,20	27,55	26,17	20,50	22,83	27,72
2º R		01	37,88	24,64	24,32	8,46	29,96	25,05	39,95
T		01	84,41	64,22	54,97	68,32	81,31	70,65	85,77
1º R	25	01	27,72	12,20	27,55	26,17	20,50	22,83	27,72
2º R		01	37,88	24,64	24,32	8,46	29,96	25,05	39,95
T		02	95,63	59,40	48,53	79,40	88,18	74,23	95,63
1º R	50	02	27,72	12,20	27,55	26,17	20,50	22,83	27,72
2º R		02	42,00	34,71	26,45	24,52	28,31	31,20	42,37
T		03	117,30	103,43	131,14	102,57	138,35	118,56	138,75
1º R	75	03	30,82	30,17	12,92	20,15	22,98	23,41	32,29
2º R		03	39,33	36,07	22,91	26,30	39,50	32,82	42,13
T		04	117,30	103,43	131,14	102,57	138,35	118,56	138,75
1º R	90	04	30,82	30,17	12,92	20,15	22,98	23,41	32,29
2º R		04	39,33	36,07	22,91	26,30	39,50	32,82	42,13
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								47,66	59,93

Tabela 7.223 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

20º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	69,39	66,91	91,97	79,63	89,80	79,54	92,00
1º R	1	01	53,61	70,61	63,71	68,21	47,33	60,69	70,61
2º R		01	86,44	47,72	63,68	53,94	86,28	67,61	8649
T		02	72,19	73,55	74,76	53,54	60,76	66,96	74,78
1º R	25	02	68,91	41,11	49,41	59,11	56,20	54,95	56,22
2º R		02	51,85	55,82	63,02	47,49	66,14	56,86	66,14
T		03	122,95	124,33	126,36	103,62	106,13	116,68	126,52
1º R	50	03	84,39	65,58	36,72	67,32	82,16	67,23	85,79
2º R		03	74,41	64,92	49,49	73,37	75,81	67,60	91,63
T		03	122,95	124,33	126,36	103,62	106,13	116,68	126,52
1º R	75	03	84,39	65,58	36,72	67,32	82,16	67,23	85,79
2º R		03	74,41	64,92	49,49	73,37	75,81	67,60	91,63
T		03	122,95	124,33	126,36	103,62	106,13	116,68	126,52
1º R	90	03	84,39	65,58	36,72	67,32	82,16	67,23	85,79
2º R		03	74,41	64,92	49,49	73,37	75,81	67,60	91,63
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								76,08	661,37

Tabela 7.224 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

5º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	56,75	29,02	81,48	27,23	45,38	47,97	81,67
1º R	1	01	31,46	44,37	44,27	42,63	37,33	40,01	44,87
2º R		01	83,15	30,02	83,48	39,19	41,93	55,55	83,55
T		06	53,66	45,77	37,00	32,65	57,17	45,25	57,17
1º R	25	09	72,60	68,99	66,92	74,34	79,38	72,45	81,43
2º R		05	53,66	45,77	37,00	32,65	57,17	45,25	57,17
T		12	25,01	27,39	25,61	30,52	33,83	44,48	33,83
1º R	50	18	69,10	60,88	41,43	65,72	60,70	59,57	69.97
2º R		10	76,31	30,25	10,10	45,62	60,10	44,48	76,31
T		17	42,70	36,58	27,78	25,48	19,90	30,49	43,38
1º R	75	26	89,66	35,55	90,65	92,42	67,51	75,16	96,04
2º R		16	42,70	36,58	27,78	25,48	19,90	30,49	43,38
T		20	98,82	75,81	78,58	65,16	72,01	78,08	98,55
1º R	90	32	98,82	75,81	78,58	65,16	72,01	78,08	98,55
2º R		20	98,82	75,81	78,58	65,16	72,01	78,08	98,55
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								55,02	74,07

Tabela 7.225 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

19º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	93,36	86,23	81,25	56,75	86,01	80,72	93,40
1º R	1	01	29,35	17,77	16,67	25,56	26,83	23,24	29,45
2º R		01	40,28	35,50	34,77	20,55	40,10	34,24	40,87
T		11	97,68	58,70	78,43	53,02	97,06	76,98	97,68
1º R	25	09	48,32	46,04	37,45	39,68	46,49	43,59	48,32
2º R		09	84,75	70,03	64,72	33,84	73,92	65,45	84,75
T		22	24,68	18,95	18,95	22,48	20,69	21,15	25,05
1º R	50	18	28,09	35,93	24,54	44,21	44,22	35,40	44,22
2º R		18	81,67	59,21	87,46	54,31	84,13	73,36	87,50
T		34	49,58	50,54	47,62	28,18	50,54	45,29	50,56
1º R	75	26	34,60	36,83	34,91	33,66	38,27	35,65	38,37
2º R		26	47,14	46,78	43,54	34,96	31,81	40,85	47,27
T		41	76,24	65,12	49,51	68,43	58,04	63,47	76,24
1º R	90	31	34,60	36,83	34,91	33,66	38,27	35,65	38,37
2º R		31	47,14	46,78	43,54	34,96	31,81	40,85	47,27
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								47,73	56,62

Tabela 7.226– Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

2º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	132,38	124,60	56,63	69,70	63,02	89,266	132,47
1º R	1	01	149,34	149,06	145,42	107,45	68,88	124,03	149,34
2º R		01	52,00	43,69	29,39	31,99	38,46	39,106	54,52
T		01	132,38	124,60	56,63	69,70	63,02	89,266	132,47
1º R	25	01	149,34	149,06	145,42	107,45	68,88	124,03	149,34
2º R		01	52,00	43,69	29,39	31,99	38,46	39,106	54,52
T		01	132,38	124,60	56,63	69,70	63,02	89,266	132,47
1º R	50	01	149,34	149,06	145,42	107,45	68,88	124,03	149,34
2º R		02	36,89	34,95	39,74	42,85	41,91	39,268	43,69
T		01	132,38	124,60	56,63	69,70	63,02	89,266	132,47
1º R	75	02	156,86	145,19	145,46	142,61	86,90	135,404	156,08
2º R		03	24,05	26,71	25,24	24,60	17,94	23,708	26,76
T		01	132,38	124,60	56,63	69,70	63,02	89,266	132,47
1º R	90	02	24,05	26,71	25,24	24,60	17,94	23,708	26,76
2º R		04	38,39	44,18	45,88	53,10	38,01	43,912	53,64
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								70,67	88,07

Tabela 7.227– Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

24º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	64,96	45,08	33,41	24,94	28,48	39,37	64,96
1º R	1	01	31,93	39,21	20,20	40,48	43,52	35,07	43,55
2º R		01	38,71	28,47	28,09	33,26	31,43	31,99	43,72
T		02	97,37	44,90	103,36	106,79	93,12	89,11	106,80
1º R	25	02	47,20	39,39	34,74	26,54	34,71	36,52	47,20
2º R		02	46,29	33,38	27,99	39,73	42,05	37,89	46,35
T		03	81,08	48,78	61,99	75,54	89,16	71,31	89,21
1º R	50	03	58,06	39,61	25,15	22,40	45,29	38,10	58,18
2º R		03	119,48	51,28	119,65	58,66	66,19	83,05	128,05
T		03	81,08	48,78	61,99	75,54	89,16	71,31	89,21
1º R	75	03	58,06	39,61	25,15	22,40	45,29	38,10	58,18
2º R		03	81,08	48,78	61,99	75,54	89,16	71,31	89,21
T		03	81,08	48,78	61,99	75,54	89,16	71,31	89,21
1º R	90	03	58,06	39,61	25,15	22,40	45,29	38,10	58,18
2º R		03	81,08	48,78	61,99	75,54	89,16	71,31	89,21
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								54,92	73,42

Tabela 7.228 – Resultados das médias de R_a e R_z

1º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	2,7	3,8	4,1	2,50	18	26	29	24,33
1º R	1	01	4,9	3,6	2,7	3,17	33	25	25	27,67
2º R		01	4,0	4,5	2,6	3,17	26	27	22	25,00
T		07	7,8	4,8	5,6	6,53	41	31	31	34,33
1º R	25	04	4,0	3,9	4,0	3,97	27	22	32	27,00
2º R		02	3,3	4,3	3,4	3,20	20	28	24	24,00
T		14	7,1	6,5	5,6	9,20	3,6	33	40	25,53
1º R	50	08	4,4	4,8	4,1	5,73	31	32	26	29,67
2º R		04	3,1	3,8	3,1	3,63	21	21	19	20,33
T		20	2,8	3,4	2,3	8,73	19	22	17	19,33
1º R	75	11	4,4	4,8	4,1	6,73	31	32	26	29,67
2º R		07	4,5	4,3	4,3	5,27	33	32	34	33,00
T		24	7,1	6,5	5,6	12,53	36	33	40	36,33
1º R	90	14	3,9	3,2	5,7	7,03	30	21	42	31,00
2º R		08	3,6	3,1	3,4	4,90	23	19	25	22,33
					Média geral	5,75			Média geral	27,30

Tabela 7.229 – Resultados das médias de R_a e R_z

23º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	4,2	4,1	3,5	3,93	26	29	32	29
1º R	1	01	2,8	4,1	4,1	3,67	25	35	32	30,67
2º R		01	4,0	3,8	2,2	3,33	24	27	16	22,33
T		27	4,4	5,2	4,5	4,70	27	33	34	31,33
1º R	25	64	4,3	5,8	5,4	5,17	28	37	42	35,67
2º R		35	4,2	3,7	4,2	4,03	27	26	23	25,33
T		54	3,7	4,2	3,4	3,77	26	33	21	26,67
1º R	50	128	4,3	4,9	5,5	4,90	31	32	34	32,33
2º R		70	4,1	3,7	4,3	4,03	28	22	27	25,67
T		81	4,5	5,2	3,9	4,53	32	36	27	31,67
1º R	75	191	4,2	6,4	5,9	5,50	29	51	40	40,00
2º R		104	5,1	4,2	3,7	4,33	30	28	23	27,00
T		97	6,6	4,4	4,9	5,30	54	45	38	45,67
1º R	90	230	3,9	6,3	3,9	4,70	25	43	29	32,33
2º R		125	4,1	3,7	4,3	4,03	28	22	27	25,67
					Média geral	4,39			Média geral	30,78

Tabela 7.230 – Resultados das médias de R_a e R_z

6º ensaio			Rugosidade							
			R_a			(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T	1	01	1,3	1,4	1,6	1,43	22	35	29	28,67
1º R		01	1,4	1,2	1,6	1,40	28	23	21	24,00
2º R		01	1,6	1,7	0,6	1,30	29	23	7,6	19,87
T	25	01	1,3	1,4	1,6	1,43	22	35	29	28,67
1º R		01	1,4	1,2	1,6	1,40	28	23	21	24,00
2º R		01	1,6	1,7	0,6	1,30	29	23	7,6	19,87
T	50	02	1,8	1,5	1,6	1,63	35	28	28	30,33
1º R		02	1,4	1,4	1,4	1,40	29	55	23	35,66
2º R		02	1,5	1,7	1,4	1,53	20	23	23	22,00
T	75	03	1,3	1,5	1,4	1,40	21	28	23	24,00
1º R		03	1,3	1,3	1,4	1,33	25	24	20	23,00
2º R		03	1,4	1,3	1,4	1,37	20	24	20	21,33
T	90	04	1,3	1,5	1,4	1,40	21	28	23	24,00
1º R		04	1,3	1,3	1,4	1,33	25	24	20	23,00
2º R		04	1,4	1,3	1,4	1,37	20	24	20	21,33
					Média geral	1,40			Média geral	24,65

Tabela 7.231 – Resultados das médias de R_a e R_z

20º ensaio		Rugosidade								
			R_a			Média	R_z			Média
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	(µm)	1	2	3	(µm)
T		01	2,4	3,8	3,4	3,20	18	24	27	23,00
1º R	1	01	3,0	3,8	3,6	3,47	19	25	26	23,33
2º R		01	1,8	3,6	3,5	2,97	16	24	23	21,00
T		01	2,4	3,8	3,4	3,20	18	24	27	23,00
1º R	25	01	3,0	3,8	3,6	3,47	19	25	26	23,33
2º R		01	1,8	3,6	3,5	2,97	16	24	23	21,00
T		02	3,1	3,5	3,5	3,37	24	21	22	22,33
1º R	50	02	3,9	3,1	3,5	3,50	31	20	22	24,33
2º R		02	3,2	3,1	4,8	3,70	25	20	26	23,67
T		02	3,1	3,5	3,5	3,37	24	21	22	22,33
1º R	75	02	3,9	3,1	3,5	3,50	31	20	22	24,33
2º R		02	3,2	3,1	4,8	3,70	25	20	26	23,67
T		03	4,5	4,8	3,7	4,33	34	32	25	30,33
1º R	90	03	5,0	4,4	3,7	4,37	29	35	25	29,67
2º R		03	3,6	3,6	3,1	3,43	26	27	20	24,33
					Média geral	3,50			Média geral	23,98

Tabela 7.232 – Resultados das médias de R_a e R_z

5º ensaio			Rugosidade							
			R_a			(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T	1	01	1,9	2,0	1,7	1,87	29	28	27	28,00
1º R		01	1,6	1,2	1,7	1,50	37	19	26	27,33
2º R		01	1,5	1,9	1,8	1,73	31	35	25	30,33
T	25	06	2,0	0,6	1,9	1,50	44	13	33	30,00
1º R		09	2,1	2,2	1,8	2,03	39	41	28	36,00
2º R		05	1,7	1,9	0,61	1,40	27	31	7,6	21,87
T	50	12	2,2	1,4	2,0	1,87	41	17	30	29,33
1º R		18	2,0	2,0	1,9	1,97	38	34	35	35,67
2º R		10	1,9	1,9	2,0	1,93	37	25	30	30,67
T	75	17	5,3	3,9	3,9	4,37	35	29	23	29,00
1º R		26	2,4	2,3	1,6	2,10	41	34	22	32,33
2º R		16	1,8	1,8	1,0	1,53	25	33	7,5	21,83
T	90	20	1,6	1,5	1,5	1,53	29	40	29	32,67
1º R		32	1,2	1,7	1,5	1,47	25	29	23	25,67
2º R		20	1,8	1,8	1,0	1,53	25	33	7,5	21,83
					Média geral	1,89			Média geral	28,84

Tabela 7.233 – Resultados das médias de R_a e R_z

19º ensaio		Rugosidade								
			R_a			Média	R_z			Média
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	(µm)	1	2	3	(µm)
T		01	3,1	3,0	4,0	3,37	23	24	26	24,33
1º R	1	01	4,1	3,2	2,5	3,27	24	21	19	21,33
2º R		01	2,1	3,0	3,8	2,97	16	22	21	19,67
T		11	6,0	5,3	4,8	5,37	52	36	31	39,67
1º R	25	09	4,3	3,8	3,7	3,93	33	30	27	30,00
2º R		09	6,2	5,7	5,6	5,83	39	42	37	39,33
T		22	3,3	3,9	4,3	3,83	21	23	27	23,67
1º R	50	18	4,7	4,7	5,0	4,80	29	26	46	33,67
2º R		18	4,6	4,7	5,0	4,77	29	26	46	33,67
T		34	5,4	5,0	4,7	5,03	32	30	34	32,00
1º R	75	26	5,1	5,8	7,2	6,03	33	37	43	37,67
2º R		26	5,5	4,9	4,6	5,00	35	40	29	34,67
T		41	7,4	7,1	6,9	7,13	40	39	37	38,67
1º R	90	31	5,1	5,8	7,2	6,03	33	37	43	37,67
2º R		31	5,5	4,9	4,6	5,00	35	40	29	34,67
					Média geral	4,82			Média geral	32,05

Tabela 7.234 – Resultados das médias de R_a e R_z

2º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	3,7	4,1	3,3	3,70	22	22	29	24,33
1º R	1	01	1,0	2,2	2,6	1,93	13	21	19	17,67
2º R		01	3,2	2,7	3,1	3,00	22	22	20	21,33
T		01	3,7	4,1	3,3	3,70	22	22	29	24,33
1º R	25	01	1,0	2,2	2,6	1,93	13	21	19	17,67
2º R		01	3,2	2,7	3,1	3,00	22	22	20	21,33
T		01	3,7	4,1	3,3	3,70	22	22	29	24,33
1º R	50	01	1,0	2,2	2,6	1,9	13	21	19	17,67
2º R		02	3,2	2,7	3,1	3,00	22	22	20	21,33
T		01	3,7	4,1	3,3	3,70	22	22	29	24,33
1º R	75	02	3,2	3,1	3,1	3,13	23	24	25	24,00
2º R		03	3,4	3,1	3,2	3,23	26	22	18	22,00
T		01	3,7	4,1	3,3	3,70	22	22	29	24,33
1º R	90	02	3,2	3,1	3,1	3,13	23	24	25	24,00
2º R		04	3,4	3,1	3,2	3,23	26	22	18	22,00
					Média geral	3,07			Média geral	22,04

Tabela 7.235 – Resultados das médias de R_a e R_z

24º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	R_z			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	3,9	2,6	3,1	3,20	28	19	25	24,00
1º R	1	01	3,2	4,1	6,0	4,43	25	28	43	32,00
2º R		01	3,2	3,0	3,3	3,17	20	22	24	22,00
T		02	4,4	3,4	3,4	3,73	48	25	31	34,67
1º R	25	02	4,6	3,9	3,4	3,97	33	24	22	26,33
2º R		02	4,4	4,1	4,8	4,43	27	35	35	32,33
T		03	3,1	4,6	2,8	3,50	23	31	20	24,67
1º R	50	03	3,8	4,3	4,1	4,07	30	32	29	30,33
2º R		03	4,4	4,1	4,8	4,43	27	35	35	32,33
T		03	3,1	4,6	2,8	3,50	23	31	20	24,67
1º R	75	03	3,8	4,3	4,1	4,07	30	32	29	30,33
2º R		03	4,4	4,1	4,8	4,43	27	35	35	32,33
T		03	3,1	4,6	2,8	3,50	23	31	20	24,67
1º R	90	03	3,8	4,3	4,1	4,07	30	32	29	30,33
2º R		03	4,4	4,1	4,8	4,43	27	35	35	32,33
					Média geral	3,9			Média geral	28,89

Tabela 7.236 – Resultados das média de F_z e M_z

1º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	510,50	13,38
1º R		01	522,64	13,50
2º R		01	557,72	15,00
T	25	07	738,98	17,73
1º R		04		
2º R		02		
T	50	14	582,45	15,52
1º R		08	597,63	14,98
2º R		04		
T	75	20		
1º R		11		
2º R		07		
T	90	24	601,46	15,08
1º R		14	616,73	15,39
2º R		08	738,99	17,73
		Médias	607,46	15,37

Tabela 7.237 – Resultados das média de F_z e M_z

23º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	909,74	8,55
1º R		01	275,12	2,58
2º R		01	893,06	8,4
T	25	27	936,03	8,80
1º R		64	1453,91	13,67
2º R		35	904,43	8,50
T	50	54	1360,34	3,49
1º R		128	1556,51	14,64
2º R		70	893,06	8,40
T	75	81	344,90	3,24
1º R		191	1590,48	14,95
2º R		104	884,79	8,32
T	90	97	1569,85	14,76
1º R		230	1600,42	15,44
2º R		125	884,79	8,32
		Médias	1070,50	9,47

Tabela 7.238 – Resultados das média de F_z e M_z

6º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	996,72	19,03
1º R		01	1094,30	18,63
2º R		01	557,29	13,88
T	25	01	996,72	19,03
1º R		01	1094,30	18,63
2º R		01	557,29	13,88
T	50	02	604,67	14,38
1º R		02	604,67	14,38
2º R		02	604,67	14,38
T	75	03	612,96	14,74
1º R		03	612,96	14,74
2º R		03	612,96	14,74
T	90	04	842,68	19,08
1º R		04	1105,30	19,06
2º R		04	711,70	16,04
		Médias	773,95	16,31

Tabela 7.239 – Resultados das média de F_z e M_z

20º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	1245,41	11,71
1º R		01	1256,19	11,81
2º R		01	1340,89	12,61
T	25	01	1514,62	11,81
1º R		01	1256,19	11,71
2º R		01	1340,89	12,61
T	50	02	1514,62	14,24
1º R		02	1435,70	13,50
2º R		02	1395,30	13,12
T	75	02	1514,62	14,24
1º R		02	1435,70	13,12
2º R		02	1395,30	14,24
T	90	03		
1º R		03	1515,16	14,25
2º R		03	2085,51	19,61
		Médias	1446,15	23,56

Tabela 7.240 – Resultados das média de F_z e M_z

5º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	843,68	18,93
1º R		01	732,47	18,86
2º R		01	714,38	18,92
T	25	08		
1º R		07		
2º R		11		
T	50	16		
1º R		14		
2º R		32		
T	75	24	1167,76	19,13
1º R		20		
2º R		34		
T	90	40		
1º R		34	1692,89	19,20
2º R		41		
		Médias	1030,23	19,01

Tabela 7.241 – Resultados das média de F_z e M_z

19º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	1145,88	10,79
1º R		01	1134,63	10,67
2º R		01	1939,26	18,23
T	25	11	1585,09	14,90
1º R		09	1018,78	9,58
2º R		09		
T	50	22	1768,28	16,62
1º R		18		
2º R		18		
T	75	34	1684,07	15,84
1º R		26	982,56	9,24
2º R		26	2096,16	19,71
T	90	41	1842,91	17,33
1º R		31		
2º R		31		
		Médias	1519,762	14,291

Tabela 7.242 – Resultados das média de F_z e M_z

2º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	737,09	19,25
1º R		01	722,59	19,24
2º R		01	737,09	19,25
T	25	01	737,09	19,25
1º R		01	722,59	19,24
2º R		01	737,09	19,25
T	50	01	737,09	19,25
1º R		01	722,59	19,24
2º R		02	1544,72	19,38
T	75	01	737,09	19,25
1º R		02	762,12	19,29
2º R		03	1526,48	19,39
T	90	01	737,09	19,25
1º R		02	762,12	19,29
2º R		04	1526,48	19,39
		Médias	896,621	19,28

Tabela 7.243 – Resultados das média de F_z e M_z

24º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	1029,81	9,68
1º R		01	1970,27	18,53
2º R		01	674,85	6,34
T	25	02	1030,54	9,69
1º R		02	1970,27	18,53
2º R		02	792,20	7,45
T	50	03	1201,73	11,30
1º R		03		
2º R		03	792,20	7,45
T	75	03	1201,73	11,30
1º R		03		
2º R		03	792,20	7,45
T	90	03	1201,73	11,30
1º R		03		
2º R		03		
		Médias	1145,58	25,34

As Tab. a seguir correspondem ao resultados detalhados dos erros de circularidade e cilindricidade (Tab. 7.244), rugosidades R_a e R_z (Tab. 7.245) e força F_z (Tab. 7.246) para os testes da **décima** matriz de planejamento com os confrontos do número de paradas **(0 x 3)** e do sistema lubri-refrigerante **(Seco x MQF)** para construção do gráfico 4.13 da **Etapa 1**.

Tabela 7.244 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

6º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	113,39	94,19	26,24	64,60	92,45	78,174	113,72
1º R	1	01	33,07	33,07	25,65	15,70	30,16	27,53	33,24
2º R		01	15,45	21,89	21,04	12,61	16,65	17,528	21,91
T		02	113,39	94,19	26,24	64,60	92,45	78,174	113,72
1º R	25	02	41,01	41,52	20,57	23,04	17,71	28,77	42,62
2º R		02	65,95	63,53	19,59	20,50	58,29	45,572	66,23
T		02	113,39	94,19	26,24	64,60	92,45	78,174	113,72
1º R	50	02	41,01	41,52	20,57	23,04	17,71	28,77	42,62
2º R		03	65,95	63,53	19,59	20,50	58,29	45,572	66,23
T		04	113,39	94,19	26,24	64,60	92,45	78,174	113,72
1º R	75	02	41,01	41,52	20,57	23,04	17,71	28,77	42,62
2º R		04	65,95	63,53	19,59	20,50	58,29	45,572	66,23
T		04	113,39	94,19	26,24	64,60	92,45	78,174	113,72
1º R	90	02	41,01	41,52	20,57	23,04	17,71	28,77	42,62
2º R		04	65,95	63,53	19,59	20,50	58,29	45,572	66,23
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								48,8864	70,61

Tabela 7.245 – Resultados das médias de R_a e R_z

6º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	$R_{z(DIN)}$			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	3,1	5,2	3,5	3,93	32	29	42	34,33
1º R	1	01	4,8	4,3	4,7	4,60	35	29	33	32,33
2º R		01	3,3	4,6	3,5	3,80	29	40	36	35,00
T		02	3,5	3,7	5,8	4,33	24	42	45	37,00
1º R	25	02	4,5	3,8	4,3	4,20	38	45	24	35,67
2º R		02	4,2	4,7	4,4	4,43	24	28	29	27,00
T		02	3,5	3,7	5,8	4,33	24	42	45	37,00
1º R	50	02	5,8	5,4	4,3	5,17	36	35	34	35,00
2º R		03	3,6	4,7	3,9	4,07	28	27	32	29,00
T		04	4,9	4,1	4,7	4,57	21	41	27	29,67
1º R	75	02	5,8	5,4	4,3	5,17	36	35	34	35,00
2º R		04	3,6	4,7	3,9	4,07	28	27	32	29,00
T		04	4,9	4,1	4,7	4,57	21	41	27	29,67
1º R	90	02	5,8	5,4	4,3	5,167	36	35	34	35,00
2º R		04	3,6	4,7	3,9	4,07	28	27	32	29,00
					Média geral	4,43			Média geral	32,65

Tabela 7.246 – Resultados das média de F_z

6º ensaio	Esforço de Usinagem		
Corrida	% desgaste	Furo nº	F_z (N)
T		01	1509,02
1º R	1	01	1519,44
2º R		01	1346,19
T		02	1528,16
1º R	25	02	1528,16
2º R		02	1377,60
T		02	1528,16
1º R	50	02	1528,16
2º R		03	1507,37
T		04	1568,35
1º R	75	02	1528,16
2º R		04	1493,22
T		04	1568,35
1º R	90	02	1528,16
2º R		04	1493,22
		Média	1503,45

As Tab. a seguir correspondem ao resultados detalhados dos erros de circularidade e cilindricidade (Tab. 7.247), rugosidades R_a e R_z (Tab. 7.248) e força F_z (Tab. 7.249) para os testes da **décima** matriz de planejamento com os confrontos do número de paradas **(0 x 3)** e do sistema lubri-refrigerante **(Seco x MQF)** para construção do gráfico 4.20 da **Etapa 2**.

Tabela 7.247 – Resultados das médias dos erros de circularidade e cilindricidade

6º ensaio			Circularidade (µm)						Cilindr.
Corrida	% desg.	Furo nº	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Média	(µm)
T		01	44,60	64,19	43,39	33,58	69,17	50,99	70,59
1º R	1	01	50,20	48,38	63,93	25,65	32,67	44,17	84,12
2º R		01	60,57	57,57	61,60	63,91	69,99	62,73	69,99
T		02	64,17	87,44	89,11	50,26	49,57	68,11	89,49
1º R	25	02	66,32	78,82	74,82	18,58	25,73	52,85	78,94
2º R		02	60,57	57,57	61,60	63,91	69,99	62,73	69,99
T		03	29,24	49,84	39,47	54,24	64,71	47,50	64,73
1º R	50	03	41,82	17,51	31,45	35,08	45,33	34,24	45,48
2º R		03	116,70	146,70	141,27	128,93	148,90	136,50	150,00
T		03	29,24	49,84	39,47	54,24	64,71	47,50	64,73
1º R	75	03	41,82	17,51	31,45	35,08	45,33	34,24	45,48
2º R		03	116,70	146,70	141,27	128,93	148,90	136,50	150,00
T		03	29,24	49,84	39,47	54,24	64,71	47,50	64,73
1º R	90	03	41,82	17,51	31,45	35,08	45,33	34,24	45,48
2º R		03	116,70	146,70	141,27	128,93	148,90	136,50	150,00
Médias respectivas de circularidade e cilindricidade entre as corridas								66,42	82,92

Tabela 7.248 – Resultados das médias de R_a e R_z

6º ensaio		Rugosidade								
		R_a				(µm)	$R_{z(DIN)}$			(µm)
Corrida	% desg.	Furo nº	1	2	3	Média	1	2	3	Média
T		01	2,3	3,9	3,6	3,27	21	28	27	25,33
1º R	1	01	3,0	3,7	3,2	3,30	21	25	23	23,00
2º R		01	5,8	5,2	4,0	5,00	35	29	24	29,33
T		02	4,1	3,5	3,1	3,57	29	20	19	22,67
1º R	25	02	5,3	4,0	3,9	4,40	31	26	26	27,67
2º R		02	5,8	5,2	4,0	5,00	35	29	24	29,33
T		03	3,0	3,6	2,9	3,17	33	27	17	25,67
1º R	50	03	6,0	7,0	4,4	5,80	33	31	32	32,00
2º R		03	5,8	5,2	4,0	5,00	35	29	24	29,33
T		03	3,0	3,6	2,9	3,17	33	27	17	25,67
1º R	75	03	6,0	7,0	4,4	5,80	33	31	32	32,00
2º R		03	5,8	5,2	4,0	5,00	35	29	24	29,33
T		03	3,0	3,6	2,9	3,17	33	27	17	25,67
1º R	90	03	6,0	7,0	4,4	5,80	33	31	32	32,00
2º R		03	5,8	5,2	4,0	5,00	35	29	24	29,33
					Média geral	4,43			Média geral	28,89

Tabela 7.249 – Resultados das média de F_z e M_z

6º ensaio	Esforço de Usinagem			
Corrida	% desg.	Furo nº	F_z (N)	M_z (Nm)
T	1	01	1833,88	17,25
1º R		01	2149,26	20,22
2º R		01	1965,20	18,48
T	25	02		
1º R		02	2260,85	21,27
2º R		02	2000,82	18,82
T	50	03		
1º R		03	944,65	8,89
2º R		03		
T	75	03		
1º R		03	944,65	8,89
2º R		03		
T	90	03		
1º R		03	944,65	8,89
2º R		03		
		Médias	1630,50	15,34

Tab. 7.250 - Resultados da 1ª matriz de planejamento: teste, 1º réplica, 2º réplica e média

1º Matriz de planejamento – Etapa 1 – Recuo: 1 mm

Nº	Nº de paradas	Vc(m/min.)	f(mm/rev.)	fluido	Teste	1º Rep.	2º Rep.	Média
1	0	45	0,20	S	41	29	28	32,70
9	1	45	0,20	J	349	168	279	265,30
4	0	65	0,20	J	5	5	5	5,00
8	1	65	0,20	S	6	8	18	10,70
3	0	45	0,30	J	94	291	293	226,00
7	1	45	0,30	S	49	25	22	32,00
2	0	65	0,30	S	3	3	2	2,70
10	1	65	0,30	J	30	12	11	17,70

Tab. 7.251 - Resultados da 2ª matriz de planejamento: teste, 1º réplica, 2º réplica e média

2º Matriz de planejamento – Etapa 1 – Recuo: 1 mm

Nº	Nº de paradas	Vc(m/min.)	f(mm/rev.)	fluido	Teste	1º Rep.	2º Rep.	Média
1	0	45	0,20	S	41	29	28	32,70
11	1	45	0,20	MQF	389	117	134	213,30
6	0	65	0,20	MQF	06	03	04	4,33
8	1	65	0,20	S	6	8	18	10,70
5	0	45	0,30	MQF	32	27	45	34,67
7	1	45	0,30	S	49	25	22	32,00
2	0	65	0,30	S	3	3	2	2,70
12	1	65	0,30	MQF	3	3	4	3,30

Tab. 7.252 - Resultados da 3ª matriz de planejamento: teste, 1º réplica, 2º réplica e média

3º Matriz de planejamento – Etapa 1 – Recuo: 1 mm

Nº	Nº de paradas	Vc(m/min.)	f(mm/rev.)	fluido	Teste	1º Rep.	2º Rep.	Média
1	0	45	0,20	S	41	29	28	32,70
15	2	45	0,20	J	91	139	293	174,30
4	0	65	0,20	J	5	5	5	5,00
14	2	65	0,20	S	4	4	3	3,70
3	0	45	0,30	J	94	291	293	226,00
13	2	45	0,30	S	27	27	28	27,30
2	0	65	0,30	S	3	3	2	2,70
16	2	65	0,30	J	4	5	4	4,30

Tab. 7.253 - Resultados da 4ª matriz de planejamento: teste, 1º réplica, 2º réplica e média

4º Matriz de planejamento – Etapa 1 – Recuo: 1 mm

Nº	Nº de paradas	Vc(m/min.)	f(mm/rev.)	fluido	Teste	1º Rep.	2º Rep.	Média
1	0	45	0,20	S	41	29	28	32,70
17	2	45	0,20	MQF	37	51	36	41,30
6	0	65	0,20	MQF	06	03	04	4,33
14	2	65	0,20	S	4	4	3	3,70
5	0	45	0,30	MQF	32	27	45	34,67
13	2	45	0,30	S	27	27	28	27,30
2	0	65	0,30	S	3	3	2	2,70
18	2	65	0,30	MQF	2	3	2	2,30

Tab. 7.254 - Resultados da 5ª matriz de planejamento: teste, 1º réplica, 2º réplica e média

5º Matriz de planejamento – Etapa 1 – Recuo: 1 mm

Nº	Nº de paradas	Vc(m/min.)	f(mm/rev.)	fluido	Teste	1º Rep.	2º Rep.	Média
1	0	45	0,20	S	41	29	28	32,70
21	3	45	0,20	J	62	110	305	159,00
4	0	65	0,20	J	5	5	5	5,00
20	3	65	0,20	S	3	3	3	3,00
3	0	45	0,30	J	94	291	293	226,00
19	3	45	0,30	S	45	34	34	37,67
2	0	65	0,30	S	3	3	2	2,70
22	3	65	0,30	J	4	6	6	5,30

Tab. 7.255 - Resultados da 6ª matriz de planejamento: teste, 1º réplica, 2º réplica e média

6º Matriz de planejamento – Etapa 1 – Recuo: 1 mm

Nº	Nº de paradas	Vc(m/min.)	f(mm/rev.)	fluido	Teste	1º Rep.	2º Rep.	Média
1	0	45	0,20	S	41	29	28	32,70
23	3	45	0,20	MQF	108	255	139	167,30
6	0	65	0,20	MQF	06	03	04	4,33
20	3	65	0,20	S	3	3	3	3,00
5	0	45	0,30	MQF	32	27	45	34,67
19	3	45	0,30	S	45	34	34	37,67
2	0	65	0,30	S	3	3	2	2,70
24	3	65	0,30	MQF	3	3	2	2,70

Tab. 7.256 - Resultados da 7ª matriz de planejamento: teste, 1º réplica, 2º réplica e média

7º Matriz de planejamento – Etapa 2 – Nº de paradas: 3

Nº	Recuo (mm)	Vc(m/min.)	f(mm/rev.)	fluido	Teste	1º Rep.	2º Rep.	Média
1	3	45	0,20	S	27	15	09	17,00
9	total	45	0,20	J	180	193	180	184,33
4	3	65	0,20	J	05	08	08	7,00
8	total	65	0,20	S	03	04	15	7,33
3	3	45	0,30	J	55	60	68	61,00
7	total	45	0,30	S	22	21	54	32,33
2	3	65	0,30	S	01	02	04	2,33
10	total	65	0,30	J	20	26	21	22,33

Tab. 7.257 - Resultados da 8ª matriz de planejamento: teste, 1º réplica, 2º réplica e média

8º Matriz de planejamento – Etapa 2 – Nº de paradas: 3

Nº	Recuo (mm)	Vc(m/min.)	f(mm/rev.)	fluido	Teste	1º Rep.	2º Rep.	Média
1	3	45	0,20	S	27	15	09	17,00
11	total	45	0,20	MQF	300	39	101	146,7
6	3	65	0,20	MQF	04	04	04	4,00
8	total	65	0,20	S	03	04	15	7,33
5	3	45	0,30	MQF	22	35	21	26,00
7	total	45	0,30	S	22	21	54	32,33
2	3	65	0,30	S	01	02	04	2,33
12	total	65	0,30	MQF	3	4	3	3,33

Tab. 7.258 - Resultados da 9ª matriz de planejamento: teste, 1º réplica, 2º réplica e média

9º Matriz de planejamento – Etapa 2 – Nº de paradas: 3

Nº	Recuo (mm)	Vc(m/min.)	f(mm/rev.)	fluido	Teste	1º Rep.	2º Rep.	Média
1	3	45	0,20	S	27	15	09	17,00
21	1	45	0,20	J	62	110	305	159,00
4	3	65	0,20	J	05	08	08	7,00
20	1	65	0,20	S	3	3	3	3,00
3	3	45	0,30	J	55	60	68	61,00
19	1	45	0,30	S	45	34	42	40,30
2	3	65	0,30	S	01	02	04	2,33
22	1	65	0,30	J	4	6	6	5,30

Tab. 7.259 - Resultados da 10ª matriz de planejamento: teste, 1º réplica, 2º réplica e média

10º Matriz de planejamento – Etapa 2 – Nº de paradas: 3

Nº	Recuo (mm)	Vc(m/min.)	f(mm/rev.)	fluido	Teste	1º Rep.	2º Rep.	Média
1	3	45	0,20	S	27	15	09	17,00
23	1	45	0,20	MQF	108	255	139	167,30
6	3	65	0,20	MQF	04	04	04	4,00
20	1	65	0,20	S	3	3	3	3,00
5	3	45	0,30	MQF	22	35	21	26,00
19	1	45	0,30	S	45	34	42	40,30
2	3	65	0,30	S	01	02	04	2,33
24	1	65	0,30	MQF	3	3	2	2,70

Tabela 7.260 - Resultados do pré-testes realizados com furação direta

Pré-Teste	Quant. furos	Colapso	Vc	f	Fluido	Medição F_z e M_z	Medição do desgaste
						furos	
1	50		40	0,3	S	10-20-30-40-50	10-20-30-40-50
2	16	sim	50	0,35	S	01-10-16	01-10-16
3	130		50	0,3	J	10-20-30-40-50-70-80-90-100-110-120-150	10-20-30-40-50-70-80-90-100-110-120-150
4	16	sim	60	0,35	S	01-10-16-17	10-16-17
5	05	sim	70	0,35	S	05	05
6	11	sim	70	0,3	J	10-11	10-11
7	56	sim	60	0,3	J	10-20-30-50-56	10-20-30-50-56
8	126		40	0,2	J	18-45-81-126	18-45-81-126
9	300		45	0,2	J	50-100-150-200-250-300	50-100-150-200-250-300
10	30	sim	65	0,3	J	30	30
11	79	sim	45	0,2	S	20-40-70-79	20-40-70-79
12	06	sim	65	0,35	S	06	06