

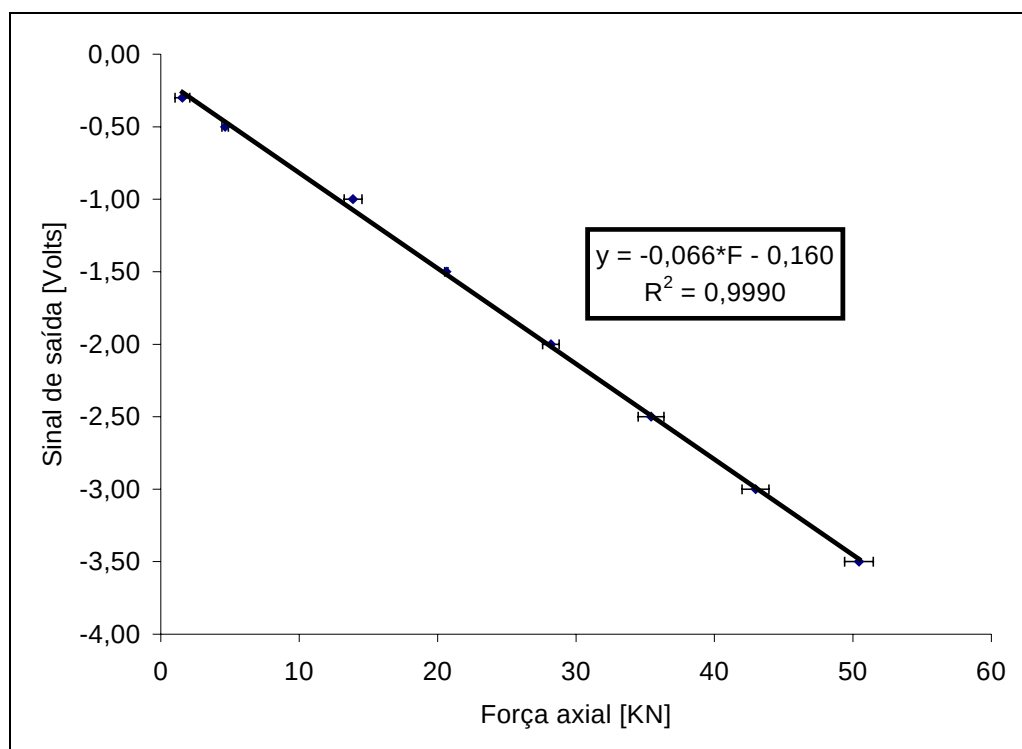


Figura 4.2: Curva de calibração do sinal de saída da força axial, enviado para o cartão de controle PID da força axial.

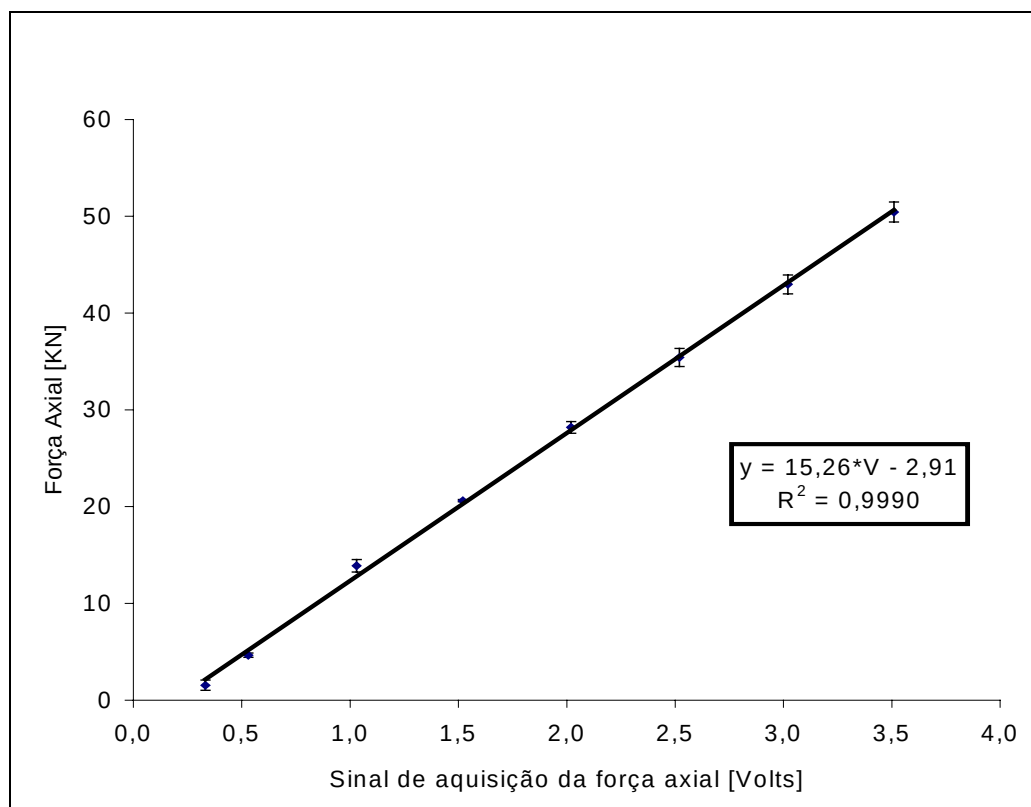


Figura 4.3: Curva de calibração da aquisição da força axial, advindo do cartão condicionador de sinal da força (circuito subtrator).

4.3 Calibração da velocidade de rotação

Da mesma forma que na calibração da força axial, para a calibração da velocidade de rotação foi necessário calibrar dois sinais. O primeiro, referente ao sinal de aquisição da velocidade de rotação, advindo do cartão lógico de condicionamento de sinal da velocidade de rotação (conversor de frequência em tensão). O segundo sinal é o sinal de referência que é enviado para o cartão PID de controle da velocidade de rotação.

Na calibração da velocidade de rotação foram utilizados um multímetro portátil para medir o sinal advindo do cartão lógico de processamento de sinal e um osciloscópio digital para medição da frequência de pulsação enviada pelo sensor de velocidade de rotação. Abaixo segue o procedimento utilizado para calibração da velocidade de rotação:

1. Instalação do osciloscópio capturando, em paralelo com o cartão de condicionamento de sinal da velocidade de rotação, o sinal advindo do sensor indutivo de medição de frequência;
2. Envio de um sinal de referência para o cartão PID de 0 Volts;
3. Medição da frequência do sinal do sensor de rotação pelo osciloscópio;
4. Medição do valor do sinal de aquisição da velocidade de rotação pela placa de aquisição de dados e pelo multímetro portátil;
5. Cálculo da velocidade de rotação em RPM para a frequência medida pelo osciloscópio, dado pela seguinte equação: $N = 60 \cdot f / n$, sendo N a velocidade de rotação [RPM], f a frequência [Hz] e n o número de dentes da roda dentada, que nesse caso é igual a 6;
6. Incremento do sinal de referência de 0,5 em 0,5 Volts até uma saída final de 9,5 Volts com repetição dos passos de 3 a 5 para cada incremento de tensão;
7. Para uma melhor confiabilidade dos resultados, os passos de 2 a 6 foram repetidos 3 vezes;
8. Plotagem das curvas de calibração do sinal de aquisição da velocidade de rotação e do sinal de saída de referência em função da velocidade de rotação;

Após a execução do procedimento acima descrito foram obtidas as curvas de calibração da velocidade de rotação (Figuras 4.4 e 4.5) e as respectivas equações de calibração, as quais foram inseridas no programa de controle. Em ambas as curvas, o valor do coeficiente de correlação foi superior a 0,99, indicando uma elevada linearidade. Também, pode ser visto um reduzido desvio padrão indicando boa precisão e repetibilidade. As equações obtidas são:

- Sinal de saída da vel. de rotação: $V \text{ [Volts]} = -0,0014 \cdot N \text{ [RPM]} - 0,542$; (4.4)
- Aquisição da vel. de rotação: $N \text{ [RPM]} = 988,23 \cdot V \text{ [Volts]} - 22,32$. (4.5)

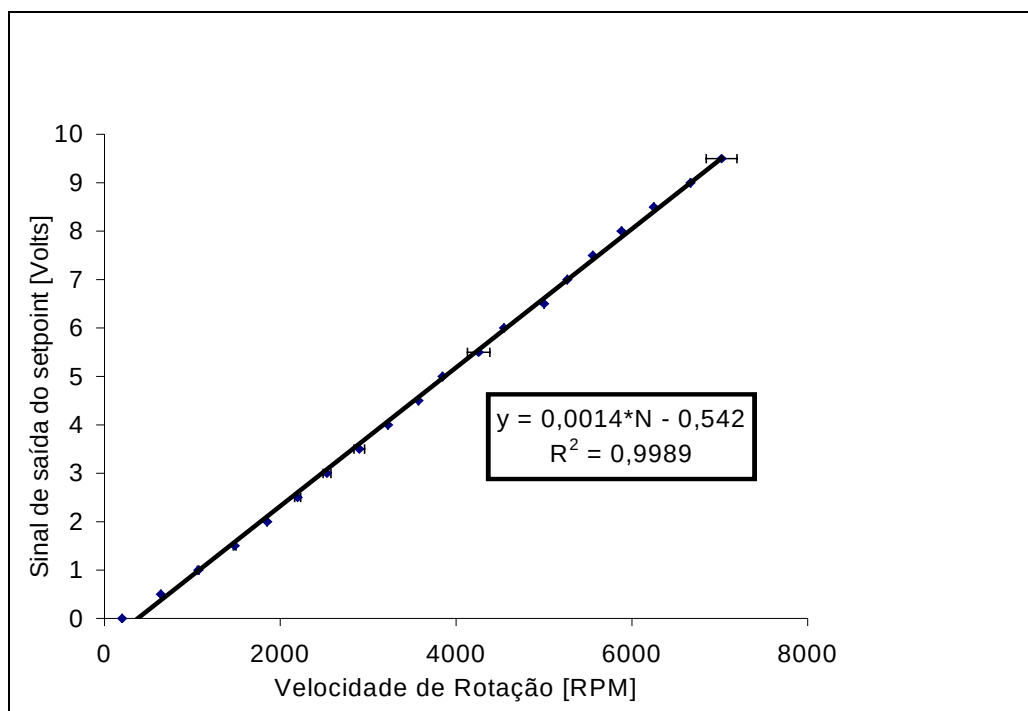


Figura 4.4: Curva de calibração do sinal de saída da velocidade de rotação, enviado para o cartão de controle PID.

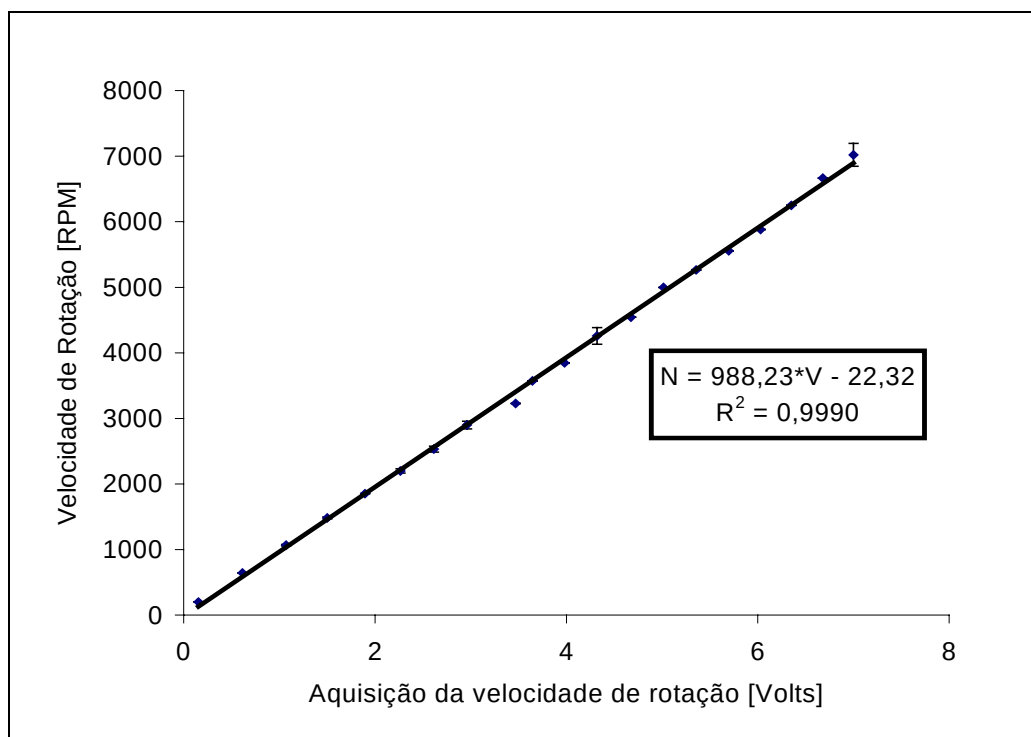


Figura 4.5: Curva de calibração da aquisição da velocidade de rotação, advindo do cartão condicionador de sinal da velocidade de rotação (conversor de frequência em tensão).

4.4 Estimativa do torque

Devido às características geométricas do equipamento não foi possível alojar no mesmo um torquímetro capaz de medir com precisão o valor do torque resistivo proveniente do atrito entre o pino e a peça. Desta forma, preferiu-se utilizar a equação de torque fornecida pelo fabricante do motor hidráulico (Mannesmann Rexroth, www.Bosch.com.br), para fazer uma estimativa do valor do torque. A equação é dada por:

$$T [N*m] = V_g * \Delta P * \eta_{mh} / 2\pi; (4.6);$$

Onde:

V_g : Cilindrada do motor hidráulico [cm^3], que para o motor em questão é de 10,3 cm^3 ;

ΔP : Diferença de pressão entre a entrada e saída do motor hidráulico, dada em MPa;

η_{mh} : Rendimento mecânico do motor hidráulico.

Para estimar o valor do torque foi preciso determinar duas variáveis, que são a pressão do fluido hidráulico na entrada do motor hidráulico e a pressão do mesmo fluido na saída do motor hidráulico.

O valor da pressão do fluido de entrada foi obtido pelo alojamento de um sensor de pressão do tipo membrana na linha de entrada de fluido, logo após a válvula limitadora de pressão, sendo regulada para uma pressão de 31,5 MPa. Terminada a regulação da válvula limitadora de pressão, foram feitas várias medidas da pressão de entrada para diferentes velocidades de rotação e diferentes torques resistivos. Foi observado que o valor da pressão de entrada era praticamente constante e igual à 31,5 MPa, sendo que a variação desse valor foi inferior a 2%.

Após realizada a verificação da pressão de fluido da linha de entrada, o sensor foi recolocado na linha de saída, onde indicava de forma direta o valor da pressão de saída do fluido para os diferentes torques resistivos.

Ao invés de obter o rendimento mecânico hidráulico do motor, preferiu-se apenas subtrair do valor do torque resistivo o valor da diferença de pressão necessária para o motor girar em vazio (valor referente às perdas mecânicas), a qual era de 5,95 MPa. Tal simplificação implica em um erro na leitura do torque, fazendo com que seu valor possa ser usado apenas a título comparativo. Desta forma, a equação 1, ficou em função apenas da pressão de saída do fluido hidráulico, sendo dada por:

$$T \text{ [N*m]} = 41,9 - 1,94 \cdot P_s; \text{ (4.7)}$$

Onde:

P_s : Pressão de saída do fluido hidráulico dada, em MPa.

A equação acima pode ser rescrita para a leitura do sensor em Volts, bastando utilizar a relação de conversão fornecida pelo fabricante do sensor (1 Volt = 3,5 MPa). Desta forma, tem-se:

$$T \text{ [N*m]} = 41,9 - 0,554 \cdot V; \text{ (4.8)}$$

Onde:

V: Leitura do sensor de pressão alojado na linha de saída do fluido hidráulico dado em Volts.

Capítulo V

Procedimento para Realização dos Ensaios de Validação do Equipamento

5.1 Materiais utilizados

A primeira etapa para a definição do procedimento experimental para realização dos ensaios de validação do equipamento foi a definição dos materiais a serem utilizados. Devido ao fato de não se pretender nesta fase do projeto determinar a efetividade do processo quanto da união de ligas metálicas complexas, optou-se por utilizar tanto para o pino de queima, quanto para a chapa de reparo, o aço carbono ABNT 1020.

Para preparação das amostras foram adquiridas barras circulares de aço carbono de diâmetro 3/8" e 1/2" (9,35 mm e 12,7 mm) e chapas de aço carbono de espessura de 1 1/2" (38,1 mm), sendo realizada análise metalográfica, tanto da chapa quanto da barra circular de menor diâmetro, para verificação da microestrutura das amostras antes da realização dos ensaios. A análise de composição química de ambos os materiais foi realizada no Centro de Pesquisas da PETROBRAS – CENPES (tabela 5.1).

Através da análise de composição química, percebe-se que tanto o material da chapa de reparo, quanto o do pino, têm composição típica de aço ABNT 1020.

No caso do material da chapa de reparo, percebe-se uma microestrutura típica de aço laminado, ou seja, com "bandas" de ferrita e perlita. Já para o material do pino tem-se uma microestrutura nitidamente mais refinada, com presença de perlita e ferrita.

Tabela 5.1: Composição química dos materiais utilizados na confecção das amostras (porcentagem em peso)

Material	C	S	P	Si	Mn	Cr	Ni	Mo + V
Chapa Aço Carbono, esp. = 1 1/2"	0,21	0,011	0,022	0,22	1,17	0,01	0,02	< 0,01
Barra de Aço Carbono, D = 3/8" (Pino)	0,18	0,012	0,019	0,20	0,71	0,01	0,03	< 0,01

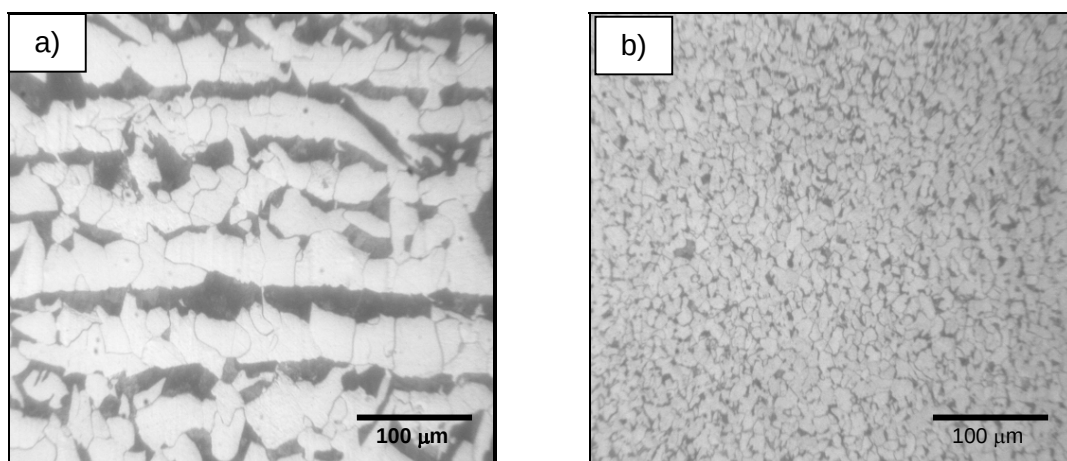


Figura 5.1: Microestrutura do material utilizado para a confecção de: a) chapa de reparo, b) pino de queima.

5.2 Geometrias de furos e pinos empregadas

Foram utilizadas quatro geometrias diferentes de pino, nas quais variaram o ângulo de ponta (118° e 180°) e o diâmetro dos pinos (9,35, 12 e 12,7 mm). A Figura 5.2 mostra as quatro geometrias utilizadas nos ensaios de validação do equipamento.

Todas as chapas de reparo possuíam as mesmas dimensões básicas (50x50x38,1 mm), diferenciando-se apenas pela geometria dos furos. Também foram utilizadas quatro geometrias de furos (conforme pode ser visto pela Figura 5.3), diferenciando-se uns dos outros pelo diâmetro do furo (11, 12 e 14,3 mm) e ângulo de fundo (118° e 180°).

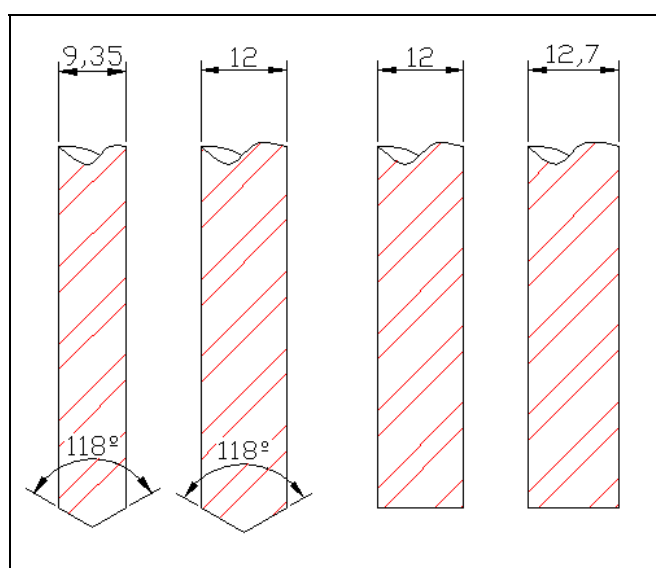


Figura 5.2: Geometria dos pinos utilizados durante os ensaios de validação do equipamento.

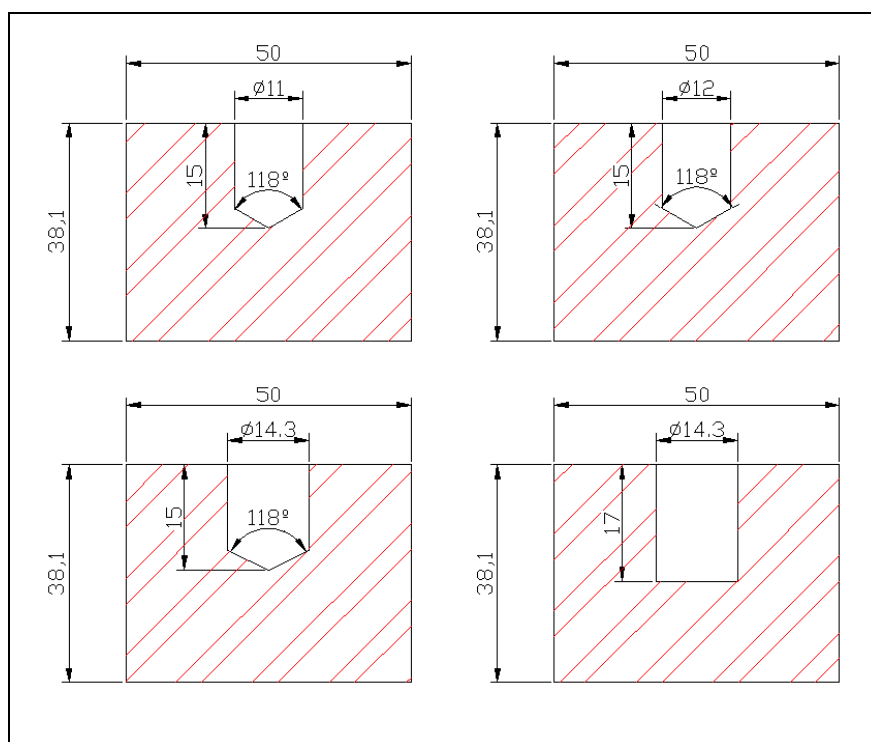


Figura 5.3: Diferentes geometrias das chapas de reparo usadas nos ensaios de validação.

Vale ressaltar, que por se tratar de ensaios de validação do equipamento e não de análise precisa do processo, achou-se por bem não fazer medições precisas dos ângulos de ponta e diâmetros dos pinos como também dos da chapas de reparo, proporcionando maior agilidade no desenvolvimento dos ensaios de validação.

5.3 Parâmetros de processo utilizados

Ao todo foram realizados 20 ensaios, ao longo dos quais variou-se o número de estágios empregados, velocidade de rotação, força axial, comprimento de queima, além das diferentes geometrias de pino de queima e chapa de reparo, mencionadas no item 5.2.

Nesta etapa do projeto buscava-se estabelecer os limites de operação do equipamento, como também observar o comportamento do processo em diferentes faixas de trabalho. Nesta etapa, buscou-se também, fazer a regulagem manual das válvulas limitadoras de pressão e da vazão máxima da válvula direcional proporcional de controle da força axial.

Desta forma, os parâmetros utilizados foram definidos ao longo dos ensaios, tendo em vista a evolução dos mesmos. A tabela 5.2 ilustra todos os parâmetros utilizados ao longo dos 20 ensaios.

Tabela 5.2: Parâmetros utilizados na realização dos ensaios de validação

Ensaio	Nº Est.	Força Axial [N]	Vel. Rotação [rpm]	Comp. Queima [mm]	Diâm. Pino [mm]	Diâm. Furo [mm]	Âng. De Ponta
1	1	3000	5000	8	9,35	12	118°
2	1	3000	5000	6	9,35	11	118°
3	1	5000	5000	6	9,35	11	118°
4	1	5000	5000	6	9,35	11	118°
5	1	8000	5000	10	9,35	11	118°
6	1	5000	5000	10	9,35	11	118°
7	2	3000/5000	6500/5000	5/10	9,35	11	118°
8	1	3000	6000	10	9,35	11	118°
9	1	20000	5000	8	12	14,3	118°
10	1	25000	5000	12	12	14,3	118°
11	1	25000	5000	12	12	14,3	118°
12	1	25000	5000	10	12	14,3	118°
13	2	4000/25000	5000/5000	4/8	12	14,3	118°
14	2	4000/25000	5000/5000	4/12	12	14,3	118°
15	2	4000/25000	5000/5000	4/12	12	14,3	118°
16	2	4000/25000	4000/4000	4/12	12	14,3	118°
17	1	25000	5000	12	12	14,3	118°
18	1	25000	5000	12	12	14,3	180°
19	1	25000	5000	12	12	14,3	180°
20	1	25000	5000	12	12,7	14,3	180°

5.4 Análise da qualidade da região de reparo

Durante a realização dos ensaios os valores da força axial, velocidade de rotação e comprimento de queima eram obtidos e armazenados sendo que, ao término do ensaio os mesmos eram exportados para realização futura de uma análise mais detalhada. Além da observação dessas variáveis, foi necessário, para um melhor estudo do processo como um todo, uma análise mais apurada das condições da região de reparo.

A verificação das condições da região de reparo foi feita em quatro etapas distintas. A primeira etapa consistia em se fazer uma corte transversal na chapa de reparo, longitudinal ao pino, e realizar uma inspeção visual para verificar se houve ou não preenchimento do furo pelo

material do pino. Em caso positivo, prosseguia-se com a segunda etapa. Na segunda etapa era feita uma macrografia da seção transversal da peça, na qual observa-se a ocorrência ou não de ligação metálica entre o material do pino e do furo. Na terceira etapa era realizada a análise microestrutural da região de reparo, na qual era observada a microestrutura do material adicionado, como também a microestrutura da interface entre a chapa de reparo e pino de queima. As micrografias da interface foram feitas em microscópio óptico, enquanto que a microestrutura do pino foi realizada via microscopia eletrônica de varredura.

A quarta e última etapa consistia em fazer uma avaliação das propriedades mecânicas da região de reparo, tendo por base o levantamento de perfis de microdureza. Para a realização dos ensaios de microdureza foi utilizado o penetrador Vickers com carga de 50 gf, sendo a carga aplicada durante um período de 15 segundos. Para cada amostra foram realizados dois perfis de microdureza: o primeiro vertical e o segundo horizontal. O perfil vertical teve seu primeiro ponto a 4 mm abaixo do fundo da região de reparo (Figura 5.4), e o último ponto do perfil vertical era situado 12 mm acima do fundo da região de reparo. Para cada ponto duas outras medidas de microdureza eram realizadas: uma situada 0,5 mm à direita e outra 0,5 mm à esquerda, obtendo-se assim uma média e um desvio padrão para cada ponto do perfil vertical.

Com relação ao perfil de microdureza horizontal, o mesmo foi realizado 6 mm acima do fundo da região de reparo, sendo o ponto inicial a 2 mm à esquerda da interface entre o pino e o furo e o ponto final a 12 mm à direita da mesma interface. Da mesma forma que no perfil vertical, foram realizados para cada posição duas medidas, uma primeira medida 0,5 mm acima da medida inicial e uma segunda 0,5 mm abaixo, obtendo, assim, para cada ponto uma média e o respectivo desvio padrão.

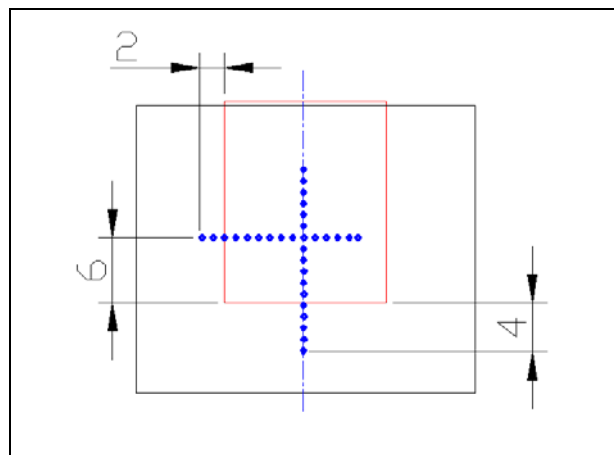


Figura 5.4: Posicionamento das linhas de perfil de microdureza.

Capítulo VI

Resultados e Discussões

6.1 Aquisição de dados

Para a realização do ensaio de queima do pino número 1, aplicou-se uma força axial suposta relativamente baixa, tendo em vista os limites operacionais do equipamento. O gráfico da figura 6.1 mostra o comportamento das variáveis ao longo do tempo. Observa-se, contudo, que o ensaio foi interrompido antes que atingisse o comprimento total de queima. Isto se deve ao fato de que o motor hidráulico travou no meio do ensaio. Além do travamento do motor hidráulico, esse ensaio apresentou um outro problema que foi a elevada folga radial (1,32 mm) entre o pino de queima e o furo. Isso fez com que não houvesse o perfeito preenchimento do furo pelo material do pino. Com o intuito de diminuir a elevada folga radial, passou-se a utilizar para os ensaios subsequentes furos da chapa de reparo com diâmetro de 11 mm.

Para sanar o problema do motor hidráulico, decidiu-se inicialmente trabalhar no sistema de controle do mesmo. Para isto, uma série de alterações nos valores dos parâmetros direcional, proporcional e integral do PID foi realizada, visando diminuir o tempo de resposta do sistema de controle e, por consequência, evitar o travamento do motor hidráulico. Ao longo desta etapa foram realizados ao todo sete ensaios (tabela 6.1), sendo que o ganho de força axial obtido foi bastante reduzido (valor máximo de força axial sem o travamento do motor hidráulico = 5000 N), indicando que o ideal seria trabalhar na regulação da válvula limitadora de pressão do motor hidráulico.

Como pode ser observado na tabela 6.1, apenas os ensaios 2, 4 e 6 obtiveram sucesso, sendo que os gráficos das figuras 6.2, 6.3 e 6.4 indicam o comportamento das variáveis de controle ao longo do tempo. Para essas três amostras foram feitas o corte transversal e análise metalográfica das mesmas, conforme será mencionado no item 6.2 desse capítulo.

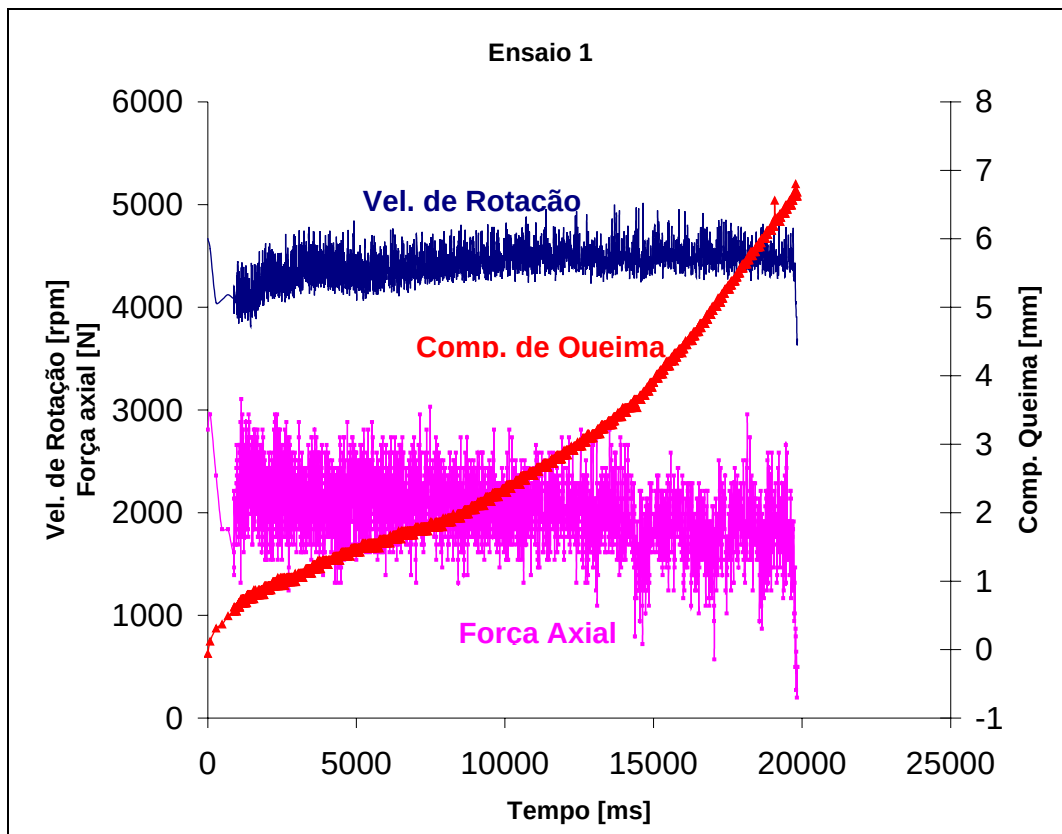


Figura 6.1: Dados adquiridos durante a execução do ensaio Nº 1, com os seguintes parâmetros de teste: a) Diâmetro do pino = 9,35 mm, b) Diâmetro do furo = 12 mm, c) Vel. de rotação = 5000 rpm, d) Força axial = 3000 N, e) Profundidade de queima = 8 mm, f) ângulo de ponta = 118°.

Pela análise do gráfico da figura 6.4, observa-se que a velocidade de rotação ficou com um valor sempre abaixo do estabelecido, isso pode ser explicado pelo fato de que na realização desse ensaio alterou-se o valor da constante proporcional, diferencial e integral do cartão de controle PID da velocidade de rotação, fato que alterou o ganho do cartão, fazendo com que houvesse um erro em regime permanente entre o valor de referência e o valor real da velocidade de rotação. No entanto, como foi visto nos ensaio 7 e 8, a alteração de tal parâmetro não trouxe nenhum grande benefício ao comportamento do sistema. Desta forma, optou-se pela regulagem novamente da constante proporcional do cartão PID em seu valor inicial. Sendo o mesmo procedimento adotado tanto para os valores da constante integral quanto para os da constante diferencial.

Os demais ensaios dessa etapa não foram concluídos, pois o motor hidráulico travou, como pode ser visto na tabela 6.1. Desta forma, nenhuma conclusão mais significativa pode ser obtida desses ensaios.

Tabela 6.1: Parâmetros de processo utilizados nos ensaios de 2 a 8.

Ensaio	N.º Est.	Força [N]	Rotação [rpm]	Comp. [mm]	Diâm. Pino [mm]	Diâm. Furo [mm]	Âng. de Ponta	Teste
2	1	3000	5000	6	9,35	11	118º	Concluído
3	1	5000	5000	6	9,35	11	118º	Motor Travou
4	1	5000	5000	6	9,35	11	118º	Concluído
5	1	8000	5000	10	9,35	11	118º	Motor travou
6	1	5000	5000	10	9,35	11	118º	Concluído
7	2	3000/5000	6500/5000	5/10	9,35	11	118º	Motor travou
8	1	3000	6000	10	9,35	11	118º	Motor travou

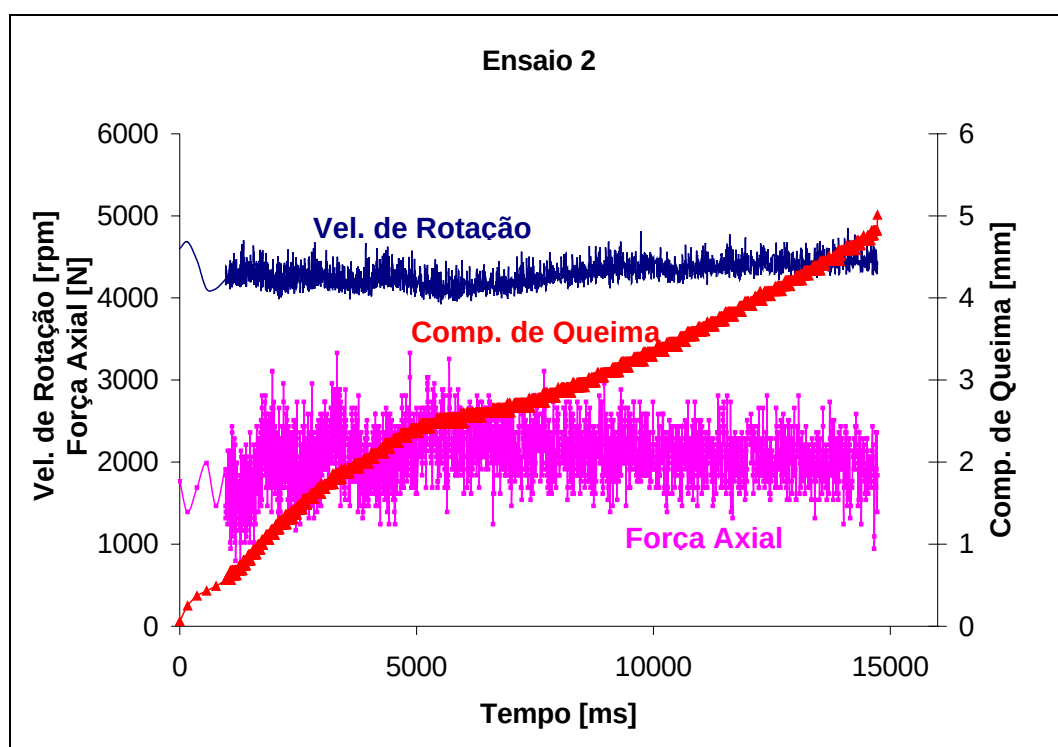


Figura 6.2: Dados adquiridos durante o ensaio 2, cujos parâmetros de teste são descritos na tabela 6.1.

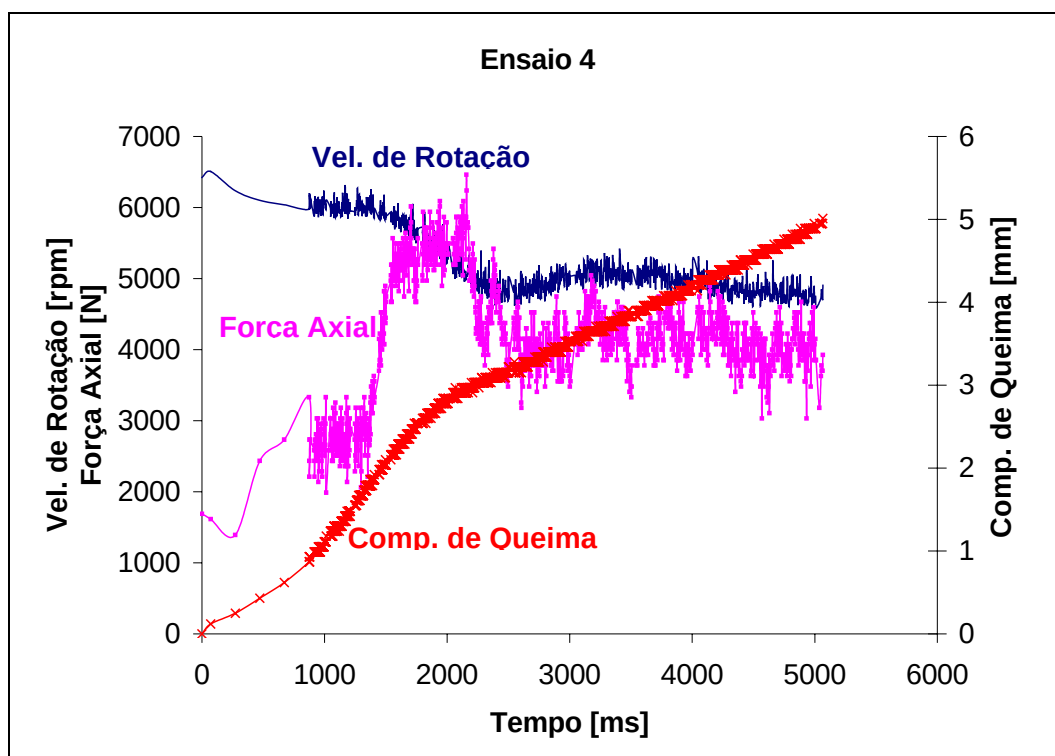


Figura 6.3: Dados adquiridos durante o ensaio 4, cujos parâmetros de teste são descritos na tabela 6.1.

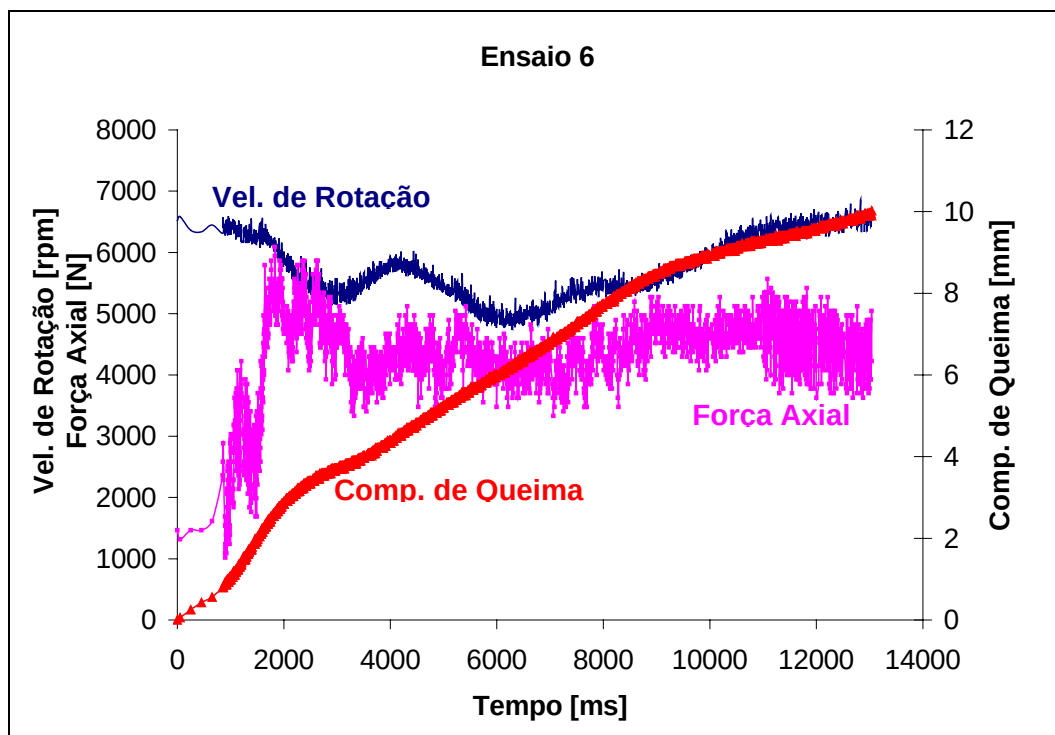


Figura 6.4: Dados adquiridos durante o ensaio 6, cujos parâmetros de teste são descritos na tabela 6.1.

Tendo visto que a alteração dos parâmetros de controle do cartão PID não acarretou na solução do problema do motor hidráulico, partiu-se para a segunda hipótese do problema, que era alterar a regulação da válvula limitadora de pressão. Para determinação do valor da pressão regulada na válvula, posicionou-se o sensor de pressão utilizado para calibração do torque na linha de entrada do motor hidráulico. Ao ligar o motor hidráulico, obteve-se uma leitura de pressão de 80,5 bar. Esta pressão estava aquém do limite operacional do equipamento (350 bar). Com isto optou-se em regular a pressão da válvula para o valor de 315 bar, aumentando-se a capacidade de torque do motor de aproximadamente 4 vezes.

Após a realização do ajuste da válvula limitadora de pressão, posicionou-se o sensor de pressão na linha de saída de fluido do motor hidráulico, e passou-se a monitorar o torque conforme descrito no item 4.4, passando essa a ser uma variável a mais a ser analisada nos ensaios subsequentes.

Com o intuito de verificar as novas condições de operação do motor hidráulico, realizou-se o ensaio número 10, no qual utilizaram-se os seguintes parâmetros: Velocidade de rotação = 5000 rpm, Força axial = 25.000 N, Comp. de queima = 8 mm, Diâm. pino = 12 mm, Diâm. furo = 14.3 mm e ângulo de ponta = 118°. Durante a realização desse ensaio, o motor hidráulico funcionou perfeitamente, indicando que o problema realmente era devido ao baixo torque advindo de uma baixa pressão na linha de entrada de fluido. Não foi possível salvar os dados adquiridos durante esse ensaio devido à problemas técnicos no sistema operacional da CPU.

A próxima etapa do trabalho foi a realização dos ensaios de número 10 ao 20, cujos parâmetros de teste, características geométricas das amostras e principais observações durante a execução do ensaio são descritas na tabela 6.2.

Realizaram-se inicialmente os ensaios 10, 11 e 12. Como pode ser visto na tabela 6.2, os três ensaios falharam, sendo que o motivo da falha, neste caso, não foi consequência de nenhum problema operacional do equipamento, e sim devido ao ajuste dos parâmetros de teste. A partir desse ponto, passou-se a dar uma ênfase maior no processo visto que, todos os problemas anteriormente observados no equipamento foram solucionados.

Ao analisar os pinos de queima dos ensaios 10, 11 e 12, observou-se que todo o material plastificado encontrava-se aderido aos mesmos e que, nenhum material foi aderido às partes laterais do furo da chapa de reparo, não havendo, portando, nenhum preenchimento do furo. Tal fato indicou que para aqueles valores de velocidade de rotação e força axial a folga radial utilizada (1,15 mm) foi excessiva. Dessa forma, resolveu-se: variar as condições de referência, passando a fazer o ensaio em dois estágios (ensaios 13, 14, 15 e 16); variar a folga radial (ensaio 20); e ainda variar a geometria de ponta tanto do pino de queima, quanto do furo da chapa de reparo (ensaios 18, 19 e 20).

Tabela 6.2: Dados de entrada dos ensaios de número 10 a 20, características geométricas das amostras.

Ensaio	N.º Est.	Força [N]	Rotação [rpm]	Comp. [mm]	d [mm]	D [mm]	Âng. De ponta	Obs.:
10	1	25000	5000	12	12	14,3	118°	Furo sem preenchimento
11	1	25000	5000	12	12	14,3	118°	Furo sem preenchimento
12	1	25000	5000	10	12	14,3	118°	Furo sem preenchimento
13	2	4000/25000	5000/5000	4/8	12	14,3	118°	O.k.!
14	2	4000/25000	5000/5000	4/12	12	14,3	118°	O.k.!
15	2	4000/25000	5000/5000	4/12	12	14,3	118°	O.k.!
16	2	4000/25000	4000/4000	4/12	12	14,3	118°	O.k.!
17	1	25000	5000	12	12	14,3	118°	Furo sem preenchimento
18	1	25000	5000	12	12	14,3	180°	Furo sem preenchimento
19	1	25000	5000	12	12	14,3	180°	Furo sem preenchimento
20	1	25000	5000	12	12,7	14,3	180°	OK!

Em todos os ensaios realizados em dois estágios houve o preenchimento do furo da chapa de reparo pelo material do pino de queima. Contudo, como será visto posteriormente, nesses ensaios, apesar do furo ser quase que totalmente preenchido, não houve formação de ligação metálica entre o material do pino de queima e as paredes laterais do furo, havendo formação de ligação metálica apenas entre o material do pino de queima e o fundo do furo.

Ao analisar os gráficos de dados adquiridos desses ensaios, observou-se que todos possuíam a mesmas características. A figura 6.5 mostra o gráfico de dados adquiridos do ensaio 16. Nesse gráfico, pode-se perceber que ao longo de todo o ensaio a velocidade de rotação permanece praticamente constante oscilando em torno de seu valor de referência (4000 rpm). O torque resistivo, ao contrário, primeiramente atinge um pico de máximo decorrente da aplicação da força axial e posteriormente começa a cair, tal queda pode ser explicada devido ao aumento da temperatura do pino o que levou a uma diminuição do limite de escoamento do material de tal forma que se tivesse um contato visco-plástico. O torque resistivo volta a crescer quando o processo entra no segundo estágio. Esse acréscimo é devido o aumento da força axial.

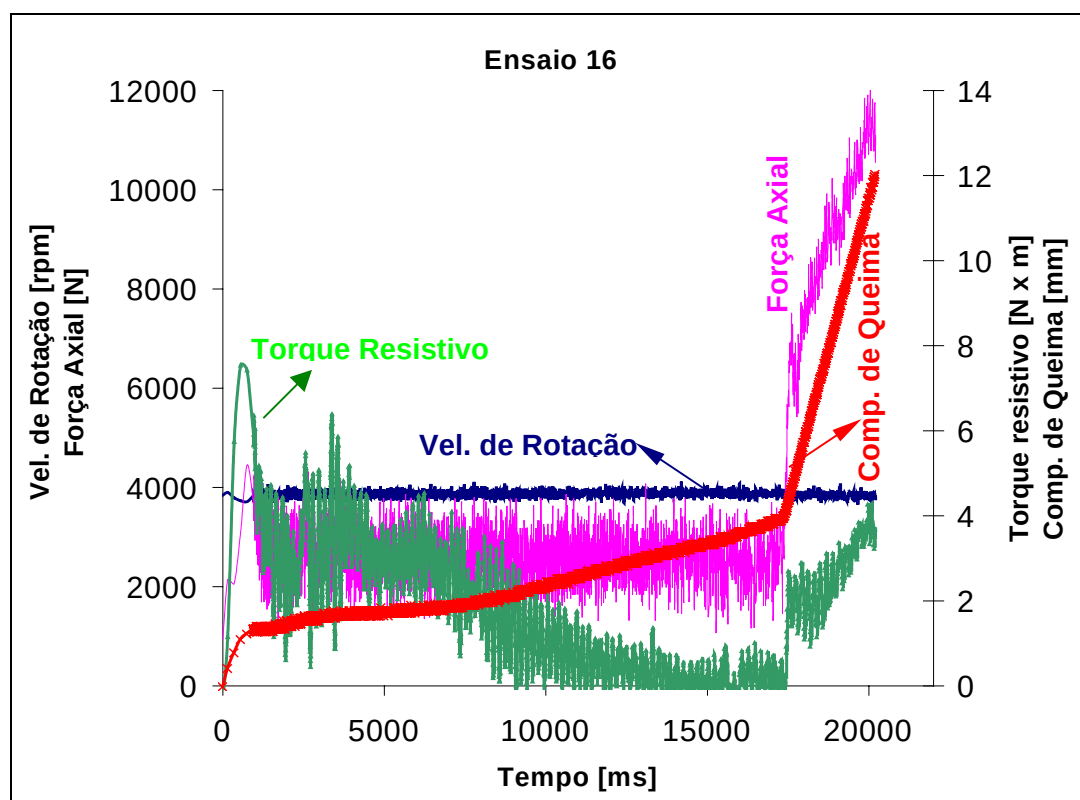


Figura 6.5: Dados adquiridos durante o ensaio 16. Cujos parâmetros de teste são descritos na tabela 6.2.

Outra curva interessante a ser analisada do gráfico da figura 6.5 é a curva do comprimento de queima. Percebe-se inicialmente que se tem uma taxa de queima alta, pois nesse estágio, a área transversal do pino, devido a sua geometria de ponta ser cônica é menor. Posteriormente, a taxa de queima diminui e fica praticamente constante, pois nesse estágio, tanto a força quanto a área transversal do pino continuam constantes. Ao entrar no segundo estágio, a taxa de queima do pino aumenta novamente. Contudo, ao contrário do que se esperava, a mesma estabilizou-se a uma taxa constante antes que a força axial atingisse seu valor de referência. Tal característica se deve ao fato de que o cartão de controle PID da força axial foi regulado para uma vazão máxima de 1,36 L/min o que corresponde a uma velocidade de deslocamento axial máxima de 3 mm/s. Essa velocidade corresponde à máxima taxa de queima que o pino pode atingir e, portanto, inferior à necessária para que a força axial atingisse seu valor de referência. Observa-se, que tal característica se repete ao longo dos ensaios 18, 19 e 20.

Após a realização dos ensaios de número 13 à 16 foi executado o ensaio de número 17, o qual tinha as mesmas características dos ensaios 10, 11 e 12. Assim o resultado do ensaio 17 acompanhou às características daqueles, não havendo preenchimento do furo por parte do