



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



Daniel Forni

**CUSTOS DE LAJES FORMADAS POR VIGOTAS
TRELIÇADAS CONSIDERANDO A PRODUÇÃO,
O TRANSPORTE, A MONTAGEM E A CONCRETAGEM**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Área de concentração: **Engenharia das Estruturas**

ORIENTADORA: Profa. Dra. Maria Cristina Vidigal de Lima

CO-ORIENTADORA: Profa. Dra. Vanessa Cristina de Castilho

UBERLÂNDIA, 24 DE OUTUBRO DE 2005.

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UFU / Setor de Catalogação e Classificação

F727c Forni, Daniel, 1980-

Custos de lajes formadas por vigotas treliçadas considerando a produção, o transporte, a montagem e a concretagem / Daniel Forni.
- Uberlândia, 2005.

141f. : il.

Orientador: Maria Cristina Vidigal de Lima.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Inclui bibliografia.

1. Lajes - Teses. I. Lima, Maria Cristina Vidigal de. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU:

624.073(043.3)



ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA Nº: 015/05

CANDIDATO: Daniel Forni

ORIENTADORA: Prof.^a Dr.^a Maria Cristina Vidigal de Lima

CO-ORIENTADORA: Prof.^a Dr.^a Vanessa Cristina de Castilho

TÍTULO: "Análise dos custos de lajes pré-fabricadas considerando a produção das vigotas, o transporte, a montagem e a concretagem"

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Engenharia das Estruturas

LINHA DE PESQUISA: Comportamento Estrutural

DATA: 24 de outubro de 2005

LOCAL: Sala de Reuniões da FECIV

HORÁRIO DE INÍCIO E TÉRMINO DA DEFESA: 10:30h às 14:00h

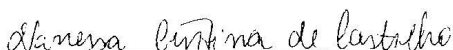
Após avaliação do documento escrito, da exposição oral e das respostas às arguições, os membros da Banca Examinadora decidem que o candidato foi:

☒ APROVADO

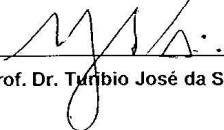
☐ REPROVADO

Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata, que é assinada pelos membros da Banca Examinadora:


Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria Cristina Vidigal de Lima


Co-orientadora: Prof.^a Dr.^a Vanessa Cristina de Castilho


Membro: Prof. Dr. Daniel de Lima Araújo


Membro: Prof. Dr. Túlio José da Silva

Uberlândia, 24 de outubro de 2005.

Forni, D. *Custos de lajes formadas por vigotas treliçadas considerando a produção, o transporte, a montagem e a concretagem*. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2005. 141 p.

RESUMO

A utilização de lajes formadas por elementos pré-fabricados em estruturas de edifícios, principalmente as vigotas treliçadas, torna-se cada vez mais difundida no mercado brasileiro. Este trabalho tem como objetivo analisar os custos envolvidos no processo de produção de vigotas treliçadas, no transporte, na montagem e na concretagem de lajes pré-fabricadas. A função custo obtida foi analisada em alguns exemplos de cálculo de lajes uni e bidirecionais com várias dimensões. O custo de algumas lajes foi também avaliado pelo método de minimização de gradiente reduzido genérico (GRG) para lajes com material de enchimento de lajota cerâmica e EPS. As variáveis de projeto consideradas para a minimização da função custo foram a altura e a resistência da capa de concreto. Nas lajes com EPS, a distância entre as vigotas treliçadas (intereixo) também foi uma variável otimizada. Foi observada uma economia em torno de 4% no custo final das lajes com enchimento cerâmico e próximo a 8% para enchimento de EPS. Nestas lajes (EPS), obteve-se maiores valores para o intereixo, o que resulta em menor volume de concreto e menor número de vigotas treliçadas. Foi considerada a variação de mais ou menos 40% no custo do concreto e da armadura a fim de avaliar o efeito destes insumos no custo final. Nas lajes com enchimento cerâmico o aumento e a diminuição no custo final das lajes foi em torno de 12%. Nas lajes com EPS, em virtude do intereixo ser uma variável do processo de otimização, os custos finais alteraram próximo a 8% para variações no preço do concreto e de 6 a 11% para variações no preço da armadura.

Palavras-Chave: Lajes pré-fabricadas; vigotas treliçadas; custo; minimização.

Forni, D. *Lattice-reinforced joist slabs cost considering production, transport, assembly and casting*. Master Degree (Thesis), Faculty of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2005. 141 p.

ABSTRACT

The use of slabs formed by prefabricated elements in structures of pavements becomes more and more spread in the Brazilian market, mainly lattice reinforced joists. This work purposes to analyze the costs involved in the production process of lattice reinforced joists, during transport, assembly and slab casting. The cost _expression obtained was analyzed in some numerical examples of concrete slabs (one and two-way) with several dimensions. The cost was also evaluated by the method of optimization of generic gradient (GRG) for ceramic and EPS infill blocks. The design variables considered for cost minimization were the height and the resistance of the concrete layer. For slabs with EPS the distance between lattice reinforcement joists was also considered. The final cost of slabs with ceramic blocks had an economy around 4%, which was close to 8% for slabs formed with EPS. In these slabs (EPS), larger values for the distance between lattices reinforcement joists were obtained, which resulted in smaller concrete volume and smaller number of lattice joists. The variation of more or less 40% was considered in the cost of the concrete and the reinforcement in order to evaluate their effect in the final cost. In slabs with ceramic blocks, around 12% of increase and decrease in the final cost was observed. The final cost of slabs with EPS (which distance between lattices reinforcement joists was optimized) was close to 8% for variations in the price of the concrete and from 6 to 11% for variations in the price of the reinforcement.

Keywords: Precast slabs; lattice reinforcement joists; cost; optimization.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	11
1.2. OBJETIVOS.....	12
1.2.1. Objetivo Geral.....	12
1.2.2. Objetivos Específicos.....	12
1.3. JUSTIFICATIVAS.....	13
1.4. SUMÁRIO ESTRUTURADO	14
2. COMPOSIÇÕES DE CUSTOS EXISTENTES NA LITERATURA NACIONAL.....	16
2.1. INTRODUÇÃO.....	16
2.2. COMPOSIÇÕES DE CUSTO OBTIDOS NA LITERATURA TÉCNICA.....	23
2.2.1. Di Pietro (1993).....	23
2.2.2. Bocchile (2003).....	26
2.2.3. Sítio da PUMA.....	28
2.2.4. Revista Cotação de Material (2003).....	35
2.2.5. Revista PINI Construção Mercado (2004)	38
2.2.6. Castilho (2003).....	39
3. PROCESSO PRODUTIVO, TRANSPORTE, MONTAGEM E CONCRETAGEM....	43
3.1. O PROCESSO PRODUTIVO DAS VIGOTAS TRELIÇADAS	43
3.1.1. Leitos de Concretagem e Aplicação de Desmoldante	43
3.1.2. Lançamento e Nivelamento de Concreto.....	46
3.1.3. Armadura adicional, estribo de ponta e a treliça metálica.....	47
3.1.4. Cura e Desforma.....	50
3.2. O PROCESSO DE TRANSPORTE DAS VIGOTAS.....	51
3.3. O PROCESSO DE MONTAGEM DAS VIGOTAS <i>IN LOCO</i>	52
4. PROPOSTA PARA A FUNÇÃO CUSTO.....	59
4.1. INTRODUÇÃO.....	59
4.2. FUNÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO	60
4.2.1. Obtenção dos Custos de Produção de uma Vigota Pré-Fabricada.....	60
4.2.1.1. Variáveis Quantitativas (Q_i)	60
4.2.1.2. Preços Variáveis dos Insumos (P_i).....	61
4.2.1.3. Variáveis Auxiliares	61
4.2.1.4. Determinação dos Valores dos Quantitativos e dos Insumos	62
4.2.2. Classificação e Forma de Composição dos Custos Administrativos	66
4.2.3. Obtenção da Função Custo do Processo Produtivo	69

4.3. FUNÇÃO DE TRANSPORTE.....	70
4.3.1. Obtenção da Função de Transporte da Vigota Pré-Fabricada	72
4.4. FUNÇÃO DE MONTAGEM E CONCRETAGEM DA LAJE	73
4.4.1. Obtenção dos Custos de Montagem e Concretagem	73
4.4.1.1. Variáveis Quantitativas (Q_i)	73
4.4.1.2. Preços Variáveis dos Insumos (P_i).....	73
4.4.1.3. Variáveis Auxiliares	74
4.4.1.4. Determinação dos Quantitativos e dos Insumos	74
4.4.1.5. Obtenção da Função Custo do Processo de Montagem e Concretagem das Lajes Pré-Fabricadas	76
4.5. A FUNÇÃO CUSTO.....	76
5. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DA FUNÇÃO CUSTO.....	78
5.1. COMPOSIÇÃO DETALHADA DOS CUSTOS DAS LAJES L101 E L102.....	78
5.1.1. Composição de Custos da Laje L101	79
5.1.1.1. Vigota Treliçada e Materiais	79
5.1.1.2. Transporte das Vigotas Treliçadas e Materiais.....	84
5.1.1.3. Montagem e Concretagem da Laje Pré-fabricada.....	84
5.1.2. Composição de Custos da Laje L102	87
5.1.3. Comparação dos Custos das Lajes L101 e L102.....	89
5.2. CÁLCULO E COMPARAÇÃO DOS CUSTOS DE QUATRO GRUPOS DE LAJES	90
5.2.1. Lajes Unidirecionais.....	90
5.2.1.1. Lajes Grupo 1	91
5.2.1.2. Lajes Grupo 2	95
5.2.1.3. Lajes Grupo 3	98
5.2.1.4. Lajes Grupo 4	101
5.2.2. Lajes Bidirecionais.....	104
5.2.3. Lajes Unidirecionais x Bidirecionais.....	107
6. OTIMIZAÇÃO DA FUNÇÃO CUSTO.....	110
6.1. INTRODUÇÃO AO PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO.....	110
6.2. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DO GRADIENTE REDUZIDO GENERALIZADO	111
6.3. MINIMIZAÇÃO DA FUNÇÃO CUSTO UTILIZANDO O GRG.....	115
6.4. APLICAÇÕES DO MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO GRG.....	117
6.5. ESTUDO DA VARIAÇÃO DOS PREÇOS DOS INSUMOS.....	125
7. CONCLUSÕES.....	136
7.1. CONCLUSÕES.....	136
7.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	138
8. BIBLIOGRAFIA.....	139

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Planilha de custos para vigotas e lajes pré-fabricadas.	22
Tabela 2.1 - Planilha de investimentos iniciais [DI PIETRO (1993)].	24
Tabela 2.2 - Custos com folha de pagamento [DI PIETRO (1993)].	24
Tabela 2.3 - Outros custos [DI PIETRO (1993)].	24
Tabela 2.4 - Custo de matéria-prima para fabricação [DI PIETRO (1993)].	25
Tabela 2.5 - Custo dos blocos cerâmicos [DI PIETRO (1993)].	25
Tabela 2.6 - Despesas Variáveis [DI PIETRO (1993)].	25
Tabela 2.7 - Custos fixos, custos variáveis e custos totais [DI PIETRO (1993)].	25
Tabela 2.8 - Comparação entre lajes [DI PIETRO (1993)].	26
Tabela 2.9 - Relação de materiais e custos da vigota em R\$/m [Bocchile (2003)].	26
Tabela 2.10 - Relação de quantitativos dos custos até a obtenção do custo final em R\$/m ² [Bocchile (2003)].	27
Tabela 2.11 - Relação de custos e preços finais de venda em R\$/m ² [Bocchile (2003)].	28
Tabela 2.12 - Relação de materiais utilizados.	29
Tabela 2.13 - Tabela em peso/m e o preço/kg [PUMA (2002)].	30
Tabela 2.14 - Tabela de rendimento/m de vigotas sem os adicionais [PUMA (2002)].	30
Tabela 2.15 - Preços finais das vigotas/m [PUMA (2002)].	30
Tabela 2.16 - Preço/m ² do material de enchimento com lajota cerâmica [PUMA (2002)].	31
Tabela 2.17 - Preço/m ² do material de enchimento com EPS [PUMA (2002)].	31
Tabela 2.18 - Preço da laje com Lajota Cerâmica em R\$/m ² [PUMA (2002)].	31
Tabela 2.19 - Preço da laje com EPS em R\$/m ² [PUMA (2002)].	32
Tabela 2.20 - Valores das despesas fixas mensais em R\$/m ² [PUMA (2002)].	32
Tabela 2.21 - Preços de lajes, em R\$/m ² , com lajota cerâmica [PUMA (2002)].	33
Tabela 2.22 - Preços de lajes, em R\$/m ² , com EPS [PUMA (2002)].	33
Tabela 2.23 - Percentuais de despesas variáveis [PUMA (2002)].	33
Tabela 2.24 - Preço final de venda da laje, em R\$/m ² da LT 12 [PUMA (2002)].	34
Tabela 2.25 - Preço final de venda da laje, em R\$/m ² da LT 16 [PUMA (2002)].	34
Tabela 2.26 - Preço final de venda da laje, em R\$/m ² da LT 20 [PUMA (2002)].	34
Tabela 2.27 - Preço final de venda da laje, em R\$/m ² da LT 25 [PUMA (2002)].	34
Tabela 2.28 - Preço final de venda da laje, em R\$/m ² da LT 30 [PUMA (2002)].	35
Tabela 2.29 - Preço final de venda da laje, em R\$/m ² da LT 35 [PUMA (2002)].	35

Tabela 2.30 - Preço total em R\$/m ² de laje de fôrro para as alturas relacionadas [COTAÇÃO DE MATERIAIS (2003)].....	36
Tabela 2.31 - Preço total em R\$/m ² de laje de piso para as alturas relacionadas [COTAÇÃO DE MATERIAIS (2003)].....	36
Tabela 2.32 - Preço total em R\$/m ² de laje de fôrro para as alturas relacionadas [COTAÇÃO DE MATERIAIS (2004)].....	37
Tabela 2.33 - Preço total em R\$/m ² de laje de piso para as alturas relacionadas [COTAÇÃO DE MATERIAIS (2004)].....	37
Tabela 2.34 - Preço total em R\$/m ² de laje de forro [REVISTA CONSTRUÇÃO E MERCADO (2004)].	38
Tabela 2.35 - Preço total em R\$/m ² de laje de piso [REVISTA CONSTRUÇÃO E MERCADO (2004)].	39
Tabela 2.36 - Materiais, mão-de-obra e equipamentos.....	40
Tabela 2.37 - Custos de matéria-prima.	40
Tabela 2.38 - Custos adicionais.	40
Tabela 2.39 - Descrição dos custos de montagem.....	41
Tabela 2.40 - Descrição dos custos com concreto de capa.....	41
Tabela 2.41 - Descrição dos custos com armadura complementar.....	41
Tabela 2.42 - Quadro resumo dos valores médios da função custo e variáveis.....	42
Tabela 4.1 - Cálculo dos quantitativos e dos custos da vigota treliçada.....	62
Tabela 4.2 - Cálculo dos quantitativos e dos custos da laje.....	63
Tabela 4.3 - Características de fios e barras – NBR 7480 (1996).	64
Tabela 4.4 - Dimensões padronizadas dos elementos de enchimento da NBR 14859-1(2002).....	65
Tabela 4.5 - Planilha de coleta e controle de custos administrativos mensais/anuais.	68
Tabela 4.6 - Valores dos quantitativos e dos custos para a montagem e concretagem da laje.....	75
Tabela 4.7 - Área mínima e quantidade de armadura de distribuição preconizada na NBR 14859-1(2002).	75
Tabela 5.1 - Preço do aditivo plastificante Viapol e do desmoldante.....	80
Tabela 5.2 - Preço das armaduras adicionais.....	80
Tabela 5.3 - Quantitativos e preços da vigota – Laje L101.....	81
Tabela 5.4 - Composição dos insumos referente à produção da vigota – Laje L101.	81

Tabela 5.5 - Material de enchimento e coxinho – Laje L101.....	82
Tabela 5.6 - Percentual de impostos.....	82
Tabela 5.7 - Composições dos insumos da vigota - Laje L101.....	82
Tabela 5.8 - Planilha de coleta e controle de custos administrativos mensais/anuais.....	83
Tabela 5.9 - Preço do frete, total de carga, capacidade de carga e quantidades de viagens.....	84
Tabela 5.10 - Custos de transporte.....	84
Tabela 5.11 - Variação dos preços em função do aumento do f_{ck}	85
Tabela 5.12 - Quantitativos e preços referentes à montagem e concretagem da laje L101.....	85
Tabela 5.13 - Composições dos custos finais da laje L101.....	86
Tabela 5.14 - Custo das etapas de produção, transporte e montagem – Laje L101.....	86
Tabela 5.15 - Porcentagens dos insumos – Laje L101.....	87
Tabela 5.16 - Quantitativos e preços da vigota – Laje L102.....	87
Tabela 5.17 - Composição dos insumos referentes à produção da vigota – Laje L102.....	88
Tabela 5.18 - Material de enchimento, coxinhos e outros dados – Laje L102.....	88
Tabela 5.19 - Composições dos insumos das vigotas – Laje L102.....	88
Tabela 5.20 - Quantitativos e preços referentes à montagem e concretagem da laje L102.....	89
Tabela 5.21 - Custos das etapas de produção, transporte e montagem – Laje L102.....	89
Tabela 5.22 – Percentuais e custos finais (R\$/m ²) das lajes L101 e L102.....	90
Tabela 5.23 - Alturas, cargas atuantes e variações dos vãos para os grupos de lajes.....	90
Tabela 5.24 - Características do grupo 1.....	91
Tabela 5.25 - Custos referentes ao grupo 1.....	92
Tabela 5.26 - Funções obtidas das linhas de tendências para o grupo 1.....	94
Tabela 5.27 - Diferenças (%) entre Função Custo e Simplificada – Unidirecionais.....	94
Tabela 5.28 - Características do grupo 2.....	95
Tabela 5.29 - Custos referentes ao grupo 2.....	96
Tabela 5.30 - Funções obtidas das linhas de tendências grupo 2.....	97
Tabela 5.31 - Diferenças (%) entre Função Custo e Simplificada – Unidirecionais.....	97
Tabela 5.32 - Características do grupo 3.....	98
Tabela 5.33 - Custos referentes ao grupo 3.....	99
Tabela 5.34 - Funções das linhas de tendências do grupo 3.....	100
Tabela 5.35 - Diferenças (%) entre Função Custo e Simplificada – Unidirecionais.....	101
Tabela 5.36 - Características do grupo 4.....	102
Tabela 5.37 - Custos referentes ao grupo 4.....	102

Tabela 5.38 - Funções das linhas de tendência para o grupo 4.....	103
Tabela 5.39 - Diferenças (%) entre Função Custo e Simplificada – Unidirecionais.	104
Tabela 5.40 - Alturas, cargas atuantes e vãos para grupos de lajes bidirecionais.....	104
Tabela 5.41 - Características das lajes armadas em duas direções.	105
Tabela 5.42 - Custos das lajes bidirecionais.	106
Tabela 5.43 - Equações das linhas de tendências das lajes bidirecionais.	106
Tabela 5.44 - Diferenças (%) entre Função Custo e Simplificada – Bidirecionais.	107
Tabela 5.45 - Comparativos de custos entre lajes unidirecionais e bidirecionais.....	108
Tabela 5.46 - Diferenças de custos entre as lajes de mesma área calculadas como armadas em uma e em duas direções.	109
Tabela 6.1 - Valores obtidos aplicando a NBR 6118 (1978, 2003) e o GRG2 – Lajota cerâmica.	118
Tabela 6.2 - Valores obtidos aplicando a NBR 6118 (1978, 2003) e o GRG2 - EPS.	119
Tabela 6.3 – Dados complementares para a laje L530.	122
Tabela 6.4 – Custos dos insumos NBR 6118 (1978).	123
Tabela 6.5 – Diferenças de custos para cada etapa.	125
Tabela 6.6 - Variações dos preços do concreto e da armadura para a L509.....	125
Tabela 6.7 - Variações dos preços do concreto e da armadura para a L516.....	126
Tabela 6.8 - Variações dos preços do concreto e da armadura para a L530.....	126
Tabela 6.9 - Variações dos preços do concreto e da armadura para a L509.....	127
Tabela 6.10 - Variações dos preços do concreto e da armadura para a L516.....	127
Tabela 6.11 - Variações dos preços do concreto e da armadura para a L530.....	128
Tabela 6.12 - Variações relativas do concreto e armadura para cerâmica - NBR 6118 (2003).	130
Tabela 6.13 - Variações relativas do concreto e da armadura para EPS - NBR 6118 (2003).	130
Tabela 6.14 - Variações relativas do concreto e da armadura para cerâmica (GRG2).	135
Tabela 6.15 - Variações relativas do concreto e da armadura para EPS (GRG2).	135

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Composição de custos na produção industrial e na produção manufaturada [EL DEBS (2000)].	13
Figura 2.1 - Lajota Cerâmica [SÍTIO ACERTAR - Acesso: em 17 jun. 2005].....	17
Figura 2.2 - Lajota de EPS [SÍTIO LAJEPOR - Acesso: em 17 jun. 2005].....	17
Figura 2.3 - Canaletas cerâmicas – Coxinhos [SÍTIO KILAJE - Acesso: em 17 jun. 2005].	18
Figura 2.4 - Canaleta de EPS – Coxinhos [SÍTIO ACERTAR - Acesso: em 17 jun. 2005].	18
Figura 2.5 - Composição de custos pelo programa computacional UAU!	19
Figura 2.6 - Composição de custos utilizando o programa computacional da DYS – Sistema de orçamento de obras.....	20
Figura 2.7 - Inserção de novos insumos.	21
Figura 2.8 - Vão teórico da vigota de 5,64m.	28
Figura 3.1 - Seção transversal de fôrma para vigotas treliçadas.....	43
Figura 3.2- Base de apoio para os leitos de concretagem [MEDITERRÂNEA (1994)].	44
Figura 3.3 - Pátios de concretagem para a produção das vigotas [PUMA (2002)].	45
Figura 3.4 - Aplicação do desmoldante em fôrmas devidamente posicionadas, limpas e secas [PUMA (2002)].	46
Figura 3.5 - Lançamento e nivelamento do concreto sobre as fôrmas [PUMA (2002)].....	47
Figura 3.6 - Posicionamento da armadura adicional no concreto [PUMA (2002)].	47
Figura 3.7 - Ilustração de uma vigota armada com o “estribo de ponta”.	48
Figura 3.8 - Treliças de aço tipo CA-60 soldada por eletrofusão.	48
Figura 3.9 - Corte das treliças de aço tipo CA-60 soldadas por eletrofusão.....	49
Figura 3.10 - Posicionamento da treliça metálica no concreto [PUMA (2002)].	49
Figura 3.11 - Adequação da treliça metálica no concreto [PUMA (2002)]......	50
Figura 3.12 - Desforma das vigotas já concretadas [PUMA (2002)].	50
Figura 3.13 - Armazenamento das vigotas [PUMA (2002)].....	51
Figura 3.14 - Desenho esquemático de transporte [MEDITERRÂNEA (1994)].	52
Figura 3.15 - Forma de apoio das vigotas treliçadas.	53
Figura 3.16 - Regulagem da altura de cada linha de escoramento.	53
Figura 3.17 - Colocação do material de enchimento (EPS).....	54
Figura 3.18 - Detalhe do encaixe do material de enchimento com a vigota.	54

Figura 3.19 - Montagem das ferragens transversais às das vigotas na laje.	55
Figura 3.20 - Colocação das armaduras adicionais.....	55
Figura 3.21 – Componentes da laje utilizando material de enchimento cerâmico.	56
Figura 3.22 - Componentes da laje utilizando material de enchimento – EPS	56
Figura 3.23 - Colocação de eletrodutos, tubulações de hidráulica e caixas de luz.	57
Figura 3.24 - Detalhe da colocação da tela de distribuição na capa da laje.....	57
Figura 3.25 - Concretagem da laje pré-moldada.....	58
Figura 4.1 - Elementos de enchimento da NBR 14859-1(2002).	65
Figura 4.2 - Variação dos custos em função da variação do volume de produção.	66
Figura 4.3 - Fluxograma da composição de custos do processo produtivo.	70
Figura 4.4 - Fluxograma da composição de custos do processo de Transporte.....	72
Figura 4.5 - Variáveis relacionadas às dimensões do coxinho.	74
Figura 4.6 - Fluxograma da composição de custos do processo de Montagem e Concretagem.	76
Figura 5.1 - Planta arquitetônica genérica.	78
Figura 5.2 - Armaduras obtidas no dimensionamento da L101.....	79
Figura 5.3 - Armaduras obtidas no dimensionamento da L102.....	79
Figura 5.4 - Percentuais de representatividade.	93
Figura 5.5 - Linhas de tendência para o Grupo 1.....	93
Figura 5.6 - Percentuais de representatividade.	96
Figura 5.7 - Linhas de tendência para o Grupo 2.....	97
Figura 5.8 - Percentuais de representatividade.	100
Figura 5.9 - Linhas de tendência para o Grupo 3.....	100
Figura 5.10 - Percentuais de representatividade.	103
Figura 5.11 - Linhas de tendência para o Grupo 4.....	103
Figura 5.12 - Linhas de tendência	106
Figura 6.1 - Algoritmo típico de minimização.	110
Figura 6.2 - Parâmetros referentes ao EPS.	116
Figura 6.3 - Parâmetros referentes ao EPS.	117
Figura 6.4 - Comparações de custos – Lajota Cerâmica.....	120
Figura 6.5 - Comparações de custos – EPS.	120
Figura 6.6 - Análise dos percentuais dos insumos (GRG2) L509 – Cerâmica.	131
Figura 6.7 - Análise dos percentuais dos insumos (GRG2) L516 – Cerâmica.	131

Figura 6.8 - Análise dos percentuais dos insumos (GRG2) L530 – Cerâmica.	132
Figura 6.9 - Análise dos percentuais dos insumos (GRG2) L509 – EPS.	133
Figura 6.10 - Análise dos percentuais dos insumos (GRG2) L516 – EPS.	133
Figura 6.11 - Análise dos percentuais dos insumos (GRG2) L530 – EPS.	134

LISTA DE ABREVIATURAS

EPS = Espuma de Poliuretano Expandido (Isopor).

R\$/m = Reais por metro linear.

R\$/m² = Reais por metro quadrado.

R\$/kg = Reais por quilo.

peso/m = Peso por metro.

preço/kg = Preço por quilo.

R\$/m³.km = Reais por metro cúbico por quilômetro rodado.

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Segundo El Debs (2000), a construção civil tem sido considerada uma indústria atrasada quando comparada a outros ramos industriais. A razão disto está no fato dela apresentar, de uma maneira geral, baixa produtividade, grande desperdício de materiais, morosidade e baixo controle de qualidade.

O fator custo é de primordial importância, já que estes elementos assumem uma produção de ritmo industrial. Ao estudar os custos dos processos que envolvem os elementos pré-fabricados, estudam-se maneiras de aprimorar o controle e a composição dos mesmos, com o objetivo de reduzi-los. Um dos elementos que tem sido amplamente utilizado no mercado brasileiro é a laje treliçada.

A laje treliçada surgiu inicialmente com o intuito de suprir algumas desvantagens (elevado peso-próprio) que a laje fabricada in loco, ou laje maciça, apresenta.

Esta concepção de laje com vigotas pré-fabricadas nasceu na Europa, visando apresentar melhor relação custo x benefício e maior competitividade frente à laje maciça.

Hoje, utiliza-se a laje treliçada com grande sucesso na construção civil no mundo todo, devido ao fato de possibilitar adequabilidade a inúmeras situações e superar grandes vãos, além de reduzir a mão-de-obra, gerando maior rapidez e limpeza na montagem.

Ao utilizar a laje treliçada, verificam-se as seguintes vantagens em termos de montagem:

- a) obtém-se custos menores frente a laje maciça;
- b) menor peso-próprio da laje;

c) faz-se um menor uso de escoras em sua montagem.

Todas estas características fazem da laje pré-fabricada um elemento de grande importância e larga utilização em edificações. O estudo e o domínio dos custos envolvidos nas diversas etapas de execução de uma laje formada por vigotas treliçadas são fundamentais para empresas e construtoras que pretendem se manter neste mercado competitivo e de concorrência acirrada.

O cálculo é feito como laje nervurada, onde segundo o item 13.2.4.2 a) prescreve que para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras menor ou igual a 65 cm, pode ser dispensada a verificação da flexão da mesa, e para a verificação do cisalhamento da região das nervuras, permite-se a consideração dos critérios de laje.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

O principal objetivo deste trabalho é a análise dos custos das lajes formadas por vigotas treliçadas de concreto armado, levando-se em conta, de uma forma mais criteriosa, todas as etapas envolvidas desde a produção até a montagem e concretagem das lajes.

1.2.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos podem ser agrupados em:

- a) Elaborar uma função custo envolvendo as variáveis mais significativas. Propor, a partir desta função custo, funções simplificadas deduzidas da função geral, por meio do traçado e análise de linhas de tendência;
- b) Minimizar a função custo por meio da aplicação de método de otimização.
- c) Analisar de forma comparativa os custos de diversas lajes calculadas segundo as normas vigentes.

1.3. JUSTIFICATIVAS

Atualmente o emprego da pré-moldagem está diretamente relacionado com a industrialização e a racionalização da execução das estruturas de concreto. Segundo El Debs (2000), industrializa-se a construção com o emprego, de forma racional e mecanizada, de materiais, meios de transporte e técnicas construtivas, para se conseguir uma maior produtividade.

A industrialização apresenta viabilidade econômica quando o custo dos elementos, constituídos pela soma dos custos fixos e custos variáveis, resulta em um custo menor que o custo correspondente à produção com manufatura. De acordo com El Debs (2000), isso ocorre a partir de um determinado número de elementos, conforme ilustra a Figura 1.1.

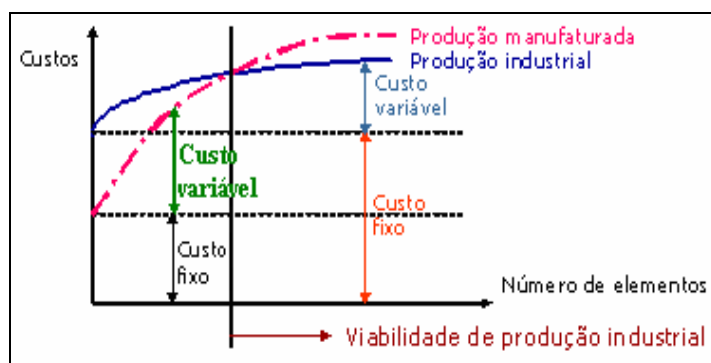


Figura 1.1 - Composição de custos na produção industrial e na produção manufaturada [EL DEBS (2000)].

Na Figura 1.1 observa-se a evolução da viabilidade de se produzir vigotas industrialmente. Constata-se que com uma produção industrial têm-se os custos variáveis reduzidos em função da existência de uma linha de produção.

Atualmente, vê-se uma crescente utilização de lajes pré-fabricadas em estruturas de concreto armado. A utilização desses elementos em estruturas de edifícios, principalmente vigotas treliçadas, torna-se cada vez mais difundida no mercado brasileiro.

Desta forma, busca-se, no desenvolvimento deste projeto, levantar os custos de todas as etapas envolvidas na produção e manuseio de elementos pré-fabricados do tipo vigotas treliçadas de concreto armado muito utilizadas em lajes, painéis e muros de contenção. Vale observar que o levantamento de uma função custo permite obter um melhor

conhecimento das etapas envolvidas no processo de produção das vigotas, no transporte e na montagem e concretagem da laje.

Neste contexto, o conhecimento da função custo é de fundamental importância na busca de uma solução devidamente adequada e analisada por meio de ferramentas de otimização. Estudos visando a minimização de custos permitem interagir algumas variáveis de projeto, a fim de buscar uma solução viável economicamente.

No mercado brasileiro existem muitas micro-empresas dedicadas à fabricação de lajes com vigotas pré-moldadas e treliçadas. Poucas delas possuem um engenheiro responsável pelo cálculo, o que torna o problema muito sério, tendo em vista que o mesmo é exigido pelo CREA.

Com a nova norma NBR 6118 (2003) a verificação da flecha em lajes leva em conta, além da deformação lenta, o efeito da fissuração do concreto e conseqüente cálculo da rigidez no estágio II, já que a antiga norma NBR 6118 (1978) permitia esta consideração no Estádio I. Ao observar tabelas fornecidas por alguns fabricantes, constata-se que tais considerações não são feitas. Os fabricantes que utilizam as novas formulações propostas pela NBR 6118 (2003) queixam-se da utilização de outras tabelas baseadas na antiga norma, pelos concorrentes. Ao utilizar a norma antiga, obtêm-se vãos maiores para as mesmas alturas de lajes e armaduras.

Portanto, a busca por uma solução otimizada torna-se muito importante para tentar manter a competitividade da laje treliçada. Busca-se, no desenvolvimento deste trabalho, calcular os custos aplicando a formulação proposta e quantificar a economia que se pode obter aplicando um método de otimização considerando as seguintes variáveis: altura da capa de concreto, resistência característica do concreto e comprimento do entreixo.

1.4. SUMÁRIO ESTRUTURADO

Esta dissertação está dividida em 8 capítulos. Apresenta-se a seguir, sucintamente, o conteúdo dos capítulos.

O capítulo 2 apresenta informações a respeito da bibliografia pesquisada, referente à composição de custos de vigotas treliçadas e das lajes pré-moldadas.

No capítulo 3 são mostrados os procedimentos de produção, de transporte e de montagem das vigotas treliçadas.

O capítulo 4 consiste na descrição da composição de custo das três etapas discriminadas no capítulo anterior. A composição de custos resulta de pesquisas realizadas em sete fábricas em Ribeirão Preto – SP, uma fábrica em Uberlândia – MG, uma fábrica em São José do Rio Preto e uma fábrica em Franca – SP. Dentre estas fábricas encontram-se duas de grande porte, com produção mensal média de 8.000 m² de laje pré-fabricada, quatro de médio porte, com produção mensal média de 5.000 m² de laje pré-fabricada e quatro de pequeno porte, com produção mensal média de 2.000 m² de laje;

No capítulo 5 apresentam-se, após a elaboração de três exemplos numéricos, grupos de lajes com seus respectivos traçados de linhas de tendência, propostas de funções simplificadas baseadas em padronizações de mercado e análises de comparações de custos com lajes armadas em uma e duas direções.

O Capítulo 6 trata da Otimização da Função Custo de lajes formadas por vigotas treliçadas.

As conclusões e sugestões para pesquisas futuras encontram-se descritas no Capítulo 7.

O capítulo 8 contém a bibliografia pesquisada e a citada neste trabalho.

COMPOSIÇÕES DE CUSTOS EXISTENTES NA

LITERATURA NACIONAL

CAPÍTULO 2

2.1. INTRODUÇÃO

De um modo geral, as formulações pesquisadas para a determinação do custo final, tanto da vigota pré-fabricada, como da laje acabada, são expressas pelos fornecedores de forma sucinta e pouco objetiva. Isso se deve ao fato de que, na maioria das vezes, as empresas não expõem plenamente as formas de composição dos seus custos, pois se assim o fizessem, apresentariam maior vulnerabilidade frente aos concorrentes.

Deve-se salientar que não faz parte do escopo deste trabalho discutir a forma como foram elaboradas as planilhas de custos das bibliografias apresentadas, e sim mostrá-las, analisá-las e discuti-las com base nas expressões desenvolvidas neste estudo.

Para melhor compreensão das composições de custo apresentadas neste capítulo, algumas definições são apresentadas as seguir.

- Lajota cerâmica: é um elemento cerâmico utilizado para preencher as lacunas entre as vigotas treliçadas. Elas possuem um apoio específico para o encaixe das vigotas. Sua função é de reduzir o peso-próprio da laje aliviando carga na estrutura. As lajotas cerâmicas devem resistir ao peso de um operário trabalhando sobre ela e o peso do concreto no momento da concretagem. A figura 2.1 encontrada no Sítio ACERTAR, ilustra a lajota cerâmica.

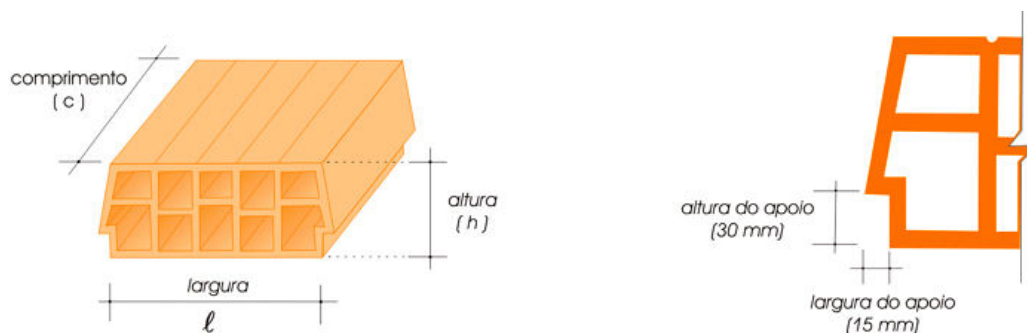


Figura 2.1 - Lajota Cerâmica [SÍTIO ACERTAR - Acesso: em 17 jun. 2005].

- Enchimento de EPS (Espuma de Poliuretano Expandido – Isopor): é um elemento de isopor com as mesmas funções da lajota cerâmica, no entanto, sua utilização é geralmente especificada pelos projetistas para lajes de espessuras superiores a 20 cm. A Figura 2.2 ilustra um elemento de enchimento de EPS.



Figura 2.2 - Lajota de EPS [SÍTIO LAJEPOR - Acesso: em 17 jun. 2005].

- Canaleta cerâmica – (Coxinhos): é um componente cerâmico com a função de permitir a passagem de armaduras transversais no sentido perpendicular ao das vigotas treliçadas. Estes elementos são posicionados entre as lajotas cerâmicas e, em função do dimensionamento, define-se o seu espaçamento. Assim, as canaletas cerâmicas podem estar posicionadas entre duas ou mais lajotas. A Figura 2.3 apresenta alguns tipos de canaletas cerâmicas e Figura 2.4 uma canaleta de EPS, e são encontradas nos Sítios KILAJE E ACERTAR, respectivamente.

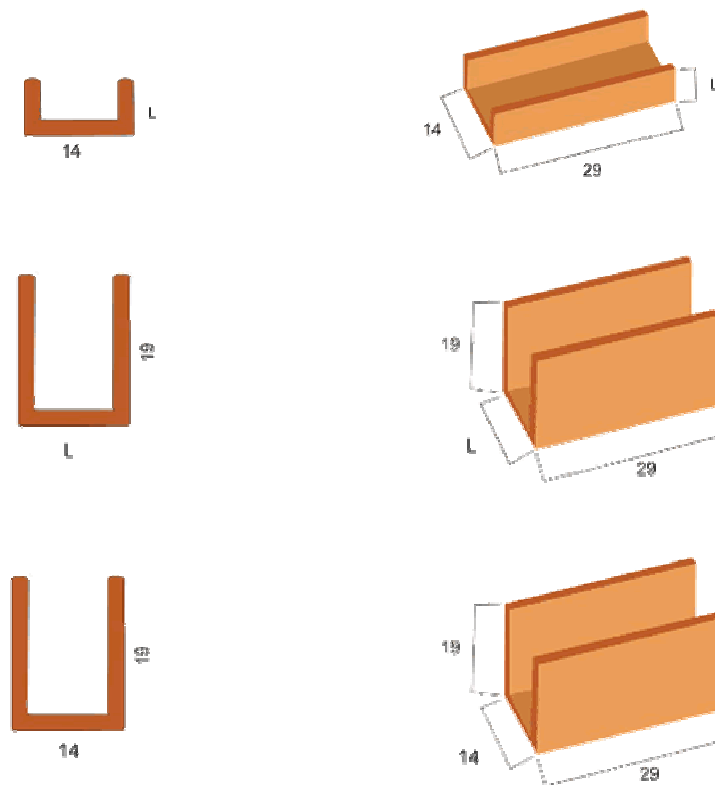


Figura 2.3 - Canaletas cerâmicas – Coxinhos [SÍTIO KILAJE - Acesso: em 17 jun. 2005].

- Caneleta de EPS – (Coxinhos): é um elemento de isopor e tem as mesmas funções da canaleta cerâmica, no entanto associado à utilização de lajotas de EPS.



Figura 2.4 - Canaleta de EPS – Coxinhos [SÍTIO ACERTAR - Acesso: em 17 jun. 2005].

O programa computacional UAU! para orçamentos (legalizado por meio de concessão ao usuário) considera para fins de composição de custo aqueles referentes à produção, no qual já está incluído o material de enchimento e os coxinhos. O campo destinado à alocação de insumos permite contabilizar para a montagem da laje, os custos com mão-de-obra de servente e de empreiteiro, com os referidos encargos sociais, pontaletes, pregos e tábua para fôrma, bem como qualquer outro item inserido pelo usuário.

A Figura 2.5 ilustra uma tela da composição feita para este caso, observando-se no campo destinado à alocação dos insumos, o custo da laje pré-fabricada treliçada para forro de R\$ 35,33/m², acrescido dos custos de montagem, obtendo-se o custo unitário de R\$ 42,22/m². O custo total é obtido multiplicando o custo unitário pela quantidade total de área existente em todo o edifício. Observa-se que não são contabilizados os custos com encargos sociais.

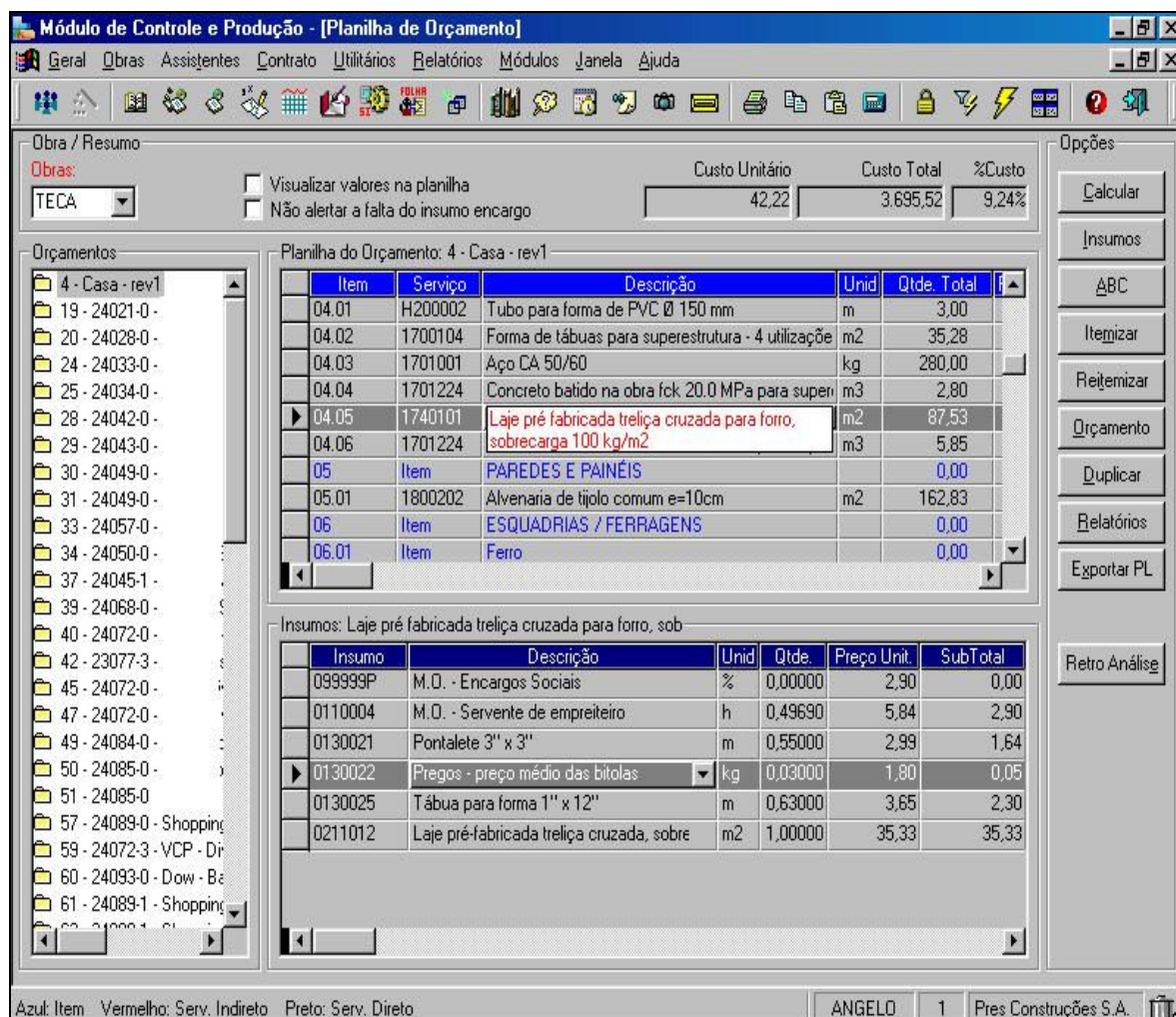


Figura 2.5 - Composição de custos pelo programa computacional UAU!¹

Um outro programa computacional utilizado no mercado é o DYS (Sistema de orçamento de obras), cuja versão demonstrativa pode ser adquirida gratuitamente na Internet, que apresenta uma composição de custos para obras em geral, é similar ao anterior. Ao efetuar

¹ Imagem cedida gentilmente pelo Engenheiro Civil Ângelo Grizotto.

um cadastro da obra a ser orçada, torna-se necessário informar os itens que irão compor os custos finais desta obra. Na Figura 2.6 observa-se que dentre os itens descritos, inclui-se o de laje pré-moldada para forro para vão até 3,50 m. É necessário ainda entrar com os quantitativos para cada insumo, neste caso para a laje de fôrro pré-moldada de vão até 3,50 m, sendo a área total de 60 m². Os preços são gerados automaticamente, bem como o custo final total.

Orçamento

Novo Excluir Gravar Sair

Obra: 0001 - CASA POPULAR - CAIXEIRO PARA 100 UN

Composição

Composição:

- LAJE PREMOLDADA PARA FORROS-VAO ATE 3,50m - M2 **Quant p/ Pav**

Quantidade: 60 Valor:

Código	Descrição	Unid	Quant	Preço
030125	BALDRAME CONC.CICLOPICO 30% PEDRA DE MAO	M	11,00	
040288	LAJE PREMOLDADA PARA FORROS-VAO ATE 3,50m	M2	60,00	
040305	CAPEAMENTO CONCRETO Fck 150 Kgf/cm2 PARA	M2	6,00	
040550	CONCRETO MAGRO 1:4:8 ESPESSURA 7cm LASTRO	M2	30,00	
050052	SAGUA FRIA PVC-BANHO SOCIAL	CASA	1,00	

Duplica Obra

Obra:

Confirma

Digite o Código ou Descrição da Composição ou [F2] para selecionar

Figura 2.6 - Composição de custos utilizando o programa computacional da DYS – Sistema de orçamento de obras.

Para facilitar ao usuário, há uma janela de cadastramento de itens orçamentários, no qual é possível descrever o insumo e conferir a ele um código, como apresentado na Figura 2.7. Este procedimento permite o cadastramento de vários tipos de lajes.

Observam-se ainda, nos referidos programas computacionais, a existência de planilhas para orçar e gerenciar obras, ou seja, é possível elaborar orçamentos e gerenciar obras de forma fácil e rápida. Permitem também em alguns casos incluir bancos de dados da TCPO (Tabela de Composição de Preços para Orçamentos) do ano de 2003, com as composições

para cálculo do custo do horário de equipamentos e de insumos, como materiais, mão-de-obra, equipamentos, verbas, empreitadas, descrição, tipos, condição de pagamento, codificação organizada por grupo, subgrupo e insumos. São fornecidos também os relatórios de orçamento sintético, de mão-de-obra e de material, curva ABC de insumos e serviços, programação de insumos por etapas e atividades construtivas.

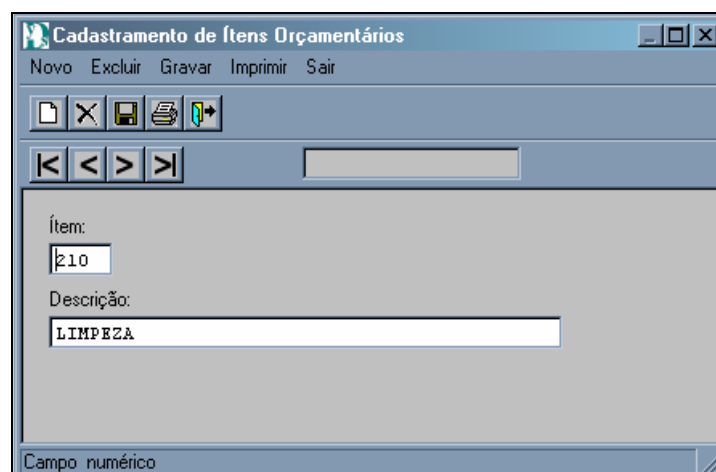


Figura 2.7 - Inserção de novos insumos.

No entanto, são necessários estudos que compreendam o processo produtivo de qualquer vigota pré-fabricada e que considere a composição de custo para lajes individualmente, ou seja, sem a necessidade de englobar todas as lajes de um edifício e todas as etapas de uma construção. Normalmente, as fábricas elaboram suas próprias planilhas, sendo necessário o fornecimento dos quantitativos de cada insumo individualmente.

Mesmo em tabelas da TCPO, encontram-se quantitativos para lajes pré-moldadas pré-estabelecidas, ou seja, para determinadas lajes, com determinadas espessuras e alturas, tem-se os quantitativos, necessitando o usuário entrar com o preço unitário de cada insumo. A Tabela 1.1 apresenta uma composição de custo de uma fábrica de vigotas pré-fabricadas relacionando os insumos e os serviços necessários no processo produtivo.

Observa-se, que usando um programa computacional de composição de custos ou planilhas desenvolvidas para controle de custos internos em fábricas ou em obras, há a necessidade de contabilizar automaticamente os quantitativos e compor custos de lajes individualmente.

Tabela 2.1 - Planilha de custos para vigotas e lajes pré-fabricadas.

PLANILHA DE CUSTOS PARA VIGOTAS E LAJES PRÉ-FABRICADAS					
Cliente:	XXXXX	Obra:	Laje 101		
PLANILHA DE QUANTIDADES E PREÇOS					
Item	Discriminação dos Serviços	Un.	Quant.	Preço Unitário	Preço Total
1	MATERIAIS - PROCESSO PRODUTIVO				3,42
1.1	Cimento	kg/m	1,08	0,26	0,28
1.2	Areia	m³/m	0,0023	20,50	0,05
1.3	Brita	m³/m	0,0023	18,00	0,04
1.4	Aditivo	l/m	0,05	2,14	0,11
1.5	Desmoldante	l/m	0,10	3,30	0,33
1.6	Treliça metálica	m	1,00	2,52	2,52
1.7	Barras adicionais	m	0,00	2,85	0,00
1.8	Estribo de ponta	un.	1,00	0,09	0,09
2	MÃO-DE-OBRA - PROCESSO PRODUTIVO				0,18
2.1	Pedreiro	h/m	0,012	10,34	0,12
2.2	Ferreiro	h/m	0,012	5,17	0,06
3	CUSTO TOTAL DA VIGOTA	R\$/m			3,60
4	LAJE PRÉ-FABRICADA				11,25
4.1	Material de enchimento	peça	30,00	0,25	7,50
4.2	Coxinho	peça	15,00	0,25	3,75
5	CUSTOS ADMINISTRATIVOS				1,09
5.1	Administração Global	R\$/m²	1,00	1,086	1,086
6	BDI				24,10
6.1	ICM	%	1,00	8,00	8,00
6.2	PIS	%	1,00	7,60	7,60
6.3	COFINS	%	1,00	1,50	1,50
6.4	Imposto de renda	%	1,00	2,00	2,00
6.5	Comissão	%	1,00	0,50	0,50
6.6	Lucro	%	1,00	4,50	4,50
7	QUANTIDADE DE VIGOTAS E ÁREA DA LAJE				
7.1	Comprimento total das vigotas	m	10,24	3,60	36,89
7.2	Área	m²	3,97		
8	CUSTO DA LAJE PRÉ - (PROCESSO PRODUTIVO)				17,41

2.2. COMPOSIÇÕES DE CUSTO OBTIDOS NA LITERATURA TÉCNICA

2.2.1. Di Pietro (1993)

Di Pietro (1993), em sua dissertação de mestrado, estuda e elabora uma planilha de custos visando dar subsídios para a montagem de uma indústria de vigotas treliçadas de concreto.

Com base em uma estimativa de produção inicial de 2.000 m² de laje pré-fabricada, o autor apresenta os seguintes itens necessários para o funcionamento inicial, relacionados a seguir.

- Terreno com aproximadamente 1.000 m²;
- Área coberta de aproximadamente 150 m²;
- Engenheiro responsável;
- Encarregado/vendedor/medidor;
- Recepcionista/atendente;
- Três operários para produção e entrega;
- Uma betoneira (320 litros);
- 60 fôrmas metálicas de 6,00 m com respectivos espaçadores;
- Uma mesa ou carro transportador vibratório;
- Uma máquina para retificar e cortar os fios de aço;
- Uma bancada para dobração da armadura das vigotas;
- Ferramentas diversas.

Di Pietro (1993) apresenta algumas planilhas de custos para a produção dos 2.000 m² de laje. Para um intoreixo de 35 cm e altura total da laje de 12 cm, e utilizando a treliça metálica TR 8634, são necessários 5.714,28 m de vigotas e 3.200 blocos cerâmicos.

As planilhas são apresentadas na moeda corrente “Dólar” a fim de possibilitar a transformação para a nossa moeda atual, “Real” em qualquer período.

A Tabela 2.1 apresenta uma planilha com os itens básicos necessários para um investimento inicial.

Tabela 2.1 - Planilha de investimentos iniciais [DI PIETRO (1993)].

Equipamentos	Quantidades	CUSTOS (US\$)	
		Unitários	Total
Betoneira 320 l	1	432,00	432,00
Carro Vibratório	1	618,00	618,00
Retificador de fios	1	2320,00	2320,00
Fôrmas	60	28,00	1680,00
Bancada para dobragem	1	75,00	75,00
Móveis para escritório	-	-	310,00
Ferramenta	-	-	40,00
Diversos	-	-	25,00
TOTAL			5500,00

Di Pietro (1993) apresenta também os custos fixos, custos e despesas variáveis, bem como os custos totais.

Na Tabela 2.2 apresentam-se os custos fixos (folha de pagamento) e na Tabela 2.3 apresentam-se os custos restantes.

Tabela 2.2 - Custos com folha de pagamento [DI PIETRO (1993)].

Mão-de-obra	Qtde.	Salário (US\$/mês)	Pró-labore (US\$/mês)
Encarregado	1	250,00	-
Operários	3	360,00	-
Engenheiro	1	-	300,00
Contador	1	-	80,00
Recepcionista/Atendente	1	130,00	-
Total sem encargos sociais		740,00	380,00
Total com encargos sociais		1817,14	
TOTAL GERAL		2.197,14	

Tabela 2.3 - Outros custos [DI PIETRO (1993)].

Discriminação	Mensal (US\$/mês)
Depreciação	50,00
Manutenção	25,00
Material de escritório	10,00
Material de limpeza	10,00
Propaganda	50,00
Registros CREA/prefeitura	5,00
Telefone	35,00
TOTAL	185,00

Nas Tabelas 2.4 e 2.5, Di Pietro (1993) apresenta os custos variáveis para se produzir 1 m² de laje pré-moldada com o intereixo fixado de 35 cm, ou seja, 2,86 m de vigotas, separadas, respectivamente, em custo de matéria-prima para fabricação e custo dos blocos cerâmicos. O traço utilizado é 1:2,5:4 com um fator a/c de 0,62.

Tabela 2.4 - Custo de matéria-prima para fabricação [DI PIETRO (1993)].

Material	Consumo	Unidade	Custos (US\$/m ²)	
			Unitário	Total
Cimento	4,931	kg	0,116	0,572
Aço	0,961	kg	0,384	0,369
Areia	8,629	dm ³	0,003	0,026
Brita	13,805	dm ³	0,011	0,152
Desmoldante	0,051	dm ³	0,157	0,008
Água/Energia Elétrica	-	-	-	0,002
TOTAL				1,129

Tabela 2.5 - Custo dos blocos cerâmicos [DI PIETRO (1993)].

Bloco	Consumo/m ²	Custos (US\$/m ²)	
		Unitário	Total
H-8	16	0,05	0,8

As despesas variáveis são apresentadas na Tabela 2.6, no qual se contabilizam em termos percentuais, o frete e o ICMS (Imposto Sobre Mercadorias e Serviços).

Tabela 2.6 - Despesas Variáveis [DI PIETRO (1993)].

Discriminação	Porcentagem
Frete	4,0%
ICMS	17,0%
TOTAL	21,0%

O autor apresenta ainda o custo total discriminado em custos fixos e custos variáveis, como mostra a Tabela 2.7.

Tabela 2.7 - Custos fixos, custos variáveis e custos totais [DI PIETRO (1993)].

Discriminação	m ²	Mensal (US\$)
Custo Fixo	1,19	2382,14
Custo Variável	1,93	3858,00
CUSTO TOTAL	3,12	6240,14

Por fim, Di Pietro (1993) calcula o ponto de equilíbrio, isto é, a quantidade de m² de laje que deve ser vendida para não haver prejuízo, ou seja, 1452 m². O autor também faz um comparativo de custos entre três lajes de mesmas dimensões (3x5 m), sendo a primeira pré-moldada, a segunda maciça e a terceira nervurada (Tabela 2.8).

Segundo o exposto na Tabela 2.8, nota-se que a laje pré-fabricada é mais econômica. A economia em relação a laje maciça de mesma altura (H=12 cm) é de 39,15% e em relação a laje nervurada é de 63,54%.

Tabela 2.8 - Comparação entre lajes [DI PIETRO (1993)].

Tipologia	Custo total (US\$)	Custo/m ² (US\$)
Laje Pré-fabricada	161,71	10,78
Laje maciça	225,05	15,00
Laje nervurada	264,48	17,63

2.2.2. Bocchile (2003)

Na revista *TÉCHNE* nº 78 de setembro de 2003, Bocchile (2003) apresenta uma formulação resumida que representa a composição de custos para executar uma laje retangular de dimensões 8,80 x 5,50 m e altura de 12 cm. Deve-se ressaltar que os custos são apresentados em R\$/m.

A Tabela 2.9 apresenta uma relação dos itens que compõem a vigota pré-fabricada, relacionando-os com seus respectivos custos por metro.

Tabela 2.9 - Relação de materiais e custos da vigota em R\$/m [Bocchile (2003)].

ORÇAMENTOS E CUSTOS	
COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DA VIGOTA	R\$/m
Cimento	0,3200
Areia	0,0567
Pedra	0,0667
Água	0,0013
Óleo desmoldante	0,0167
Armação treliçada	1,7380
Armação Adicional CA-50	2,3117
TOTAL	4,511

Salienta-se que os valores obtidos são específicos para o fabricante analisado pela autora, portanto, há diferenciações das demais composições a serem apresentadas posteriormente.

Neste caso, de acordo com a necessidade de projeto e com o referido valor de R\$ 4,511/m de vigota, contabilizados a partir da soma dos custos com cimento (R\$ 0,32), dos custos com areia (R\$ 0,0567), dos custos com pedra (R\$ 0,0667), com água (R\$ 0,0013), com óleo desmoldante (R\$ 0,0167), com a armação treliçada (R\$ 1,738) e com armação adicional (R\$ 2,3117), na Tabela 2.9, estima-se o custo total das vigotas da laje. Contabilizando o material de enchimento, as armaduras de distribuição, as armaduras de travamento e as armaduras negativas, bem como o custo com o concreto utilizado para a concretagem da laje, obtém-se o custo total da laje.

Com a especificação do entreixo, obtém-se a quantidade de 13 vigotas, dividindo-se o vão perpendicular ao posicionamento das vigotas pelo entreixo de 65 cm. O material de enchimento utilizado é o EPS, contabilizando-se 10% de perdas.

Cada vigota é posicionada paralela ao eixo de menor vão e possui um vão teórico de 5,64 m de comprimento, pois a laje em análise mede 5,50m, e suas vigas de bordo possuem 14 cm de largura, como mostra a Figura 2.1. Tabela 2.10 apresenta o custo da laje final em R\$/m², repassado ao cliente.

Tabela 2.10 - Relação de quantitativos dos custos até a obtenção do custo final em R\$/m² [Bocchile (2003)].

QUANTITATIVO E CUSTOS		
	VALOR	UNIDADE
VIGOTAS		
Comprimento das Vigotas	5,64	M
Quantidade	13	un
Custos	330,75	R\$
EPS		
Quantidade + 10% de Perdas	92	un
Custos	515,2	R\$
ARMADURAS		
Armadura de distribuição 2 Φ 6,3 CA-50	8,15	m
Custos	55,14	R\$
Armadura de travamento 2 Φ 6,3 CA-50	8,15	m
Custos	4,79	R\$
Armadura negativa construtiva 2 Φ 6,3 CA-50	1,68	m
Custos	25,7	R\$
CONCRETO		
Consumo	3,381	m ³
Custos	422,58	R\$
CUSTO DA LAJE		
Área da laje	46,05	m ²
CUSTO TOTAL	845,95	R\$
CUSTO DA LAJE	18,371	R\$/m²

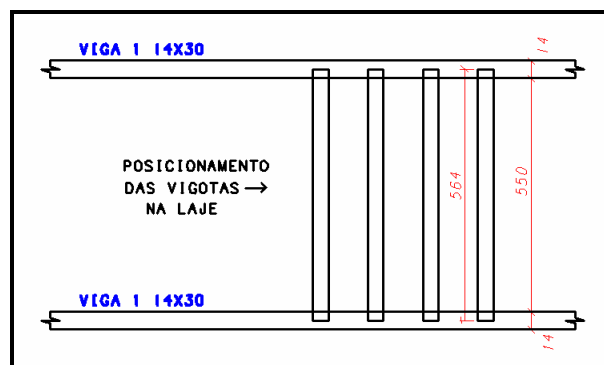


Figura 2.8 - Vão teórico da vigota de 5,64m.

De acordo com o dimensionamento, obtém-se a tabela de armadura necessária, de distribuição, de travamento, negativa, e o volume de concreto com seus respectivos custos.

Obtendo-se o custo da laje em R\$ 18,371/m², tem-se na Tabela 2.11, a estimativa do custo de R\$ 1,00/m² de laje referente às despesas fixas, e a esse valor acrescenta-se o custo da laje. Estima-se o lucro esperado por m² em R\$ 2,807 e contabilizam-se as despesas com frete, comissão e impostos dividindo-se as despesas totais com esses itens pela área a ser construída.

Tabela 2.11 - Relação de custos e preços finais de venda em R\$/m² [Bocchile (2003)].

PREÇO DE VENDA DA LAJE		
	VALOR	UNIDADE
Custo da Laje/m ²	18,371	R\$/m ²
Despesas fixas	1,00	R\$/m ²
Custo total de fabricação	19,371	R\$/m ²
Lucro esperado	2,807	R\$/m ²
Frete	1,404	R\$/m ²
Comissão	2,807	R\$/m ²
Simples (Impostos)	1,684	R\$/m ²
PREÇO FINAL DE VENDA	28,07	R\$/m²

Ao fim desta composição, elaborada especificamente para uma área pré-determinada, Bocchile (2003) obtêm o valor de R\$ 28,07/m² de laje.

2.2.3. Sítio da PUMA

No sítio da PUMA – ARMAÇÃO TRELIÇADA, encontra-se uma composição de custos que engloba a produção das vigotas, o transporte e a execução da laje como um todo. Trata-se de uma composição detalhada feita com base em uma produção mensal,

diferentemente da composição exposta por Bocchile (2003) no item 2.2.2, que é definida para uma área pré-determinada.

Para melhor compreensão, são apresentadas algumas considerações iniciais:

- a) O rendimento das vigotas é de 33,50 metros lineares por saco de cimento;
- b) A nomenclatura adotada obedece à seguinte descrição:
 - LT= Laje treliçada;
 - TR= Treliça metálica;
 - VT= Vigota treliçada;
 - 12= Altura Total da Laje (7 cm de cerâmica + 5 cm de capa de concreto);
 - 16= Altura Total da Laje (12 cm + 4 cm);
 - 20= Altura Total da Laje (16 cm + 4 cm);
 - 25= Altura Total da Laje (20 cm + 5 cm);
 - 30= Altura Total da Laje (25 cm + 5 cm);
 - 35= Altura Total da Laje (30 cm + 5 cm).
- c) No frete foi adotado um percentual sobre o preço final de venda;
- d) Os custos dos agregados foram coletados na Grande São Paulo, no período de dezembro de 2002.

A empresa Puma considera os custos em R\$/m², de lajes pré-fabricadas, com base em uma produção de 7.142m ou o equivalente a 3.000m² com estimativa de interesse de 42 cm.

Na Tabela 2.12 são apresentados os materiais utilizados, em cada betoneira, para um $f_{ck} = 20$ MPa.

Tabela 2.12 - Relação de materiais utilizados.

MATERIAIS	QUANTIDADES	UNIDADES
Cimento	1	Saco
Pedrisco	108	Litros
Areia	90	Litros
Água	21	Litros

Na Tabela 2.13, estão descritos os valores das relações de peso/m e custo por peso em quilos das treliças metálicas, sendo cada treliça representada segundo a especificação do fabricante.

Tabela 2.13 - Tabela em peso/m e o preço/kg [PUMA (2002)].

TRELIÇA	kg/m	R\$/kg
TR 08644	0,74	R\$ 2,60
TR 12645	0,89	R\$ 2,60
TR 12646	1,017	R\$ 2,60
TR 16745	1,032	R\$ 2,70
TR 20746	1,26	R\$ 2,70
TR 25856	1,7	R\$ 2,85
TR 30856	1,83	R\$ 2,85

Com esses dados iniciais, são estabelecidos os custos das vigotas pré-fabricadas, contabilizando os custos dos materiais e das treliças metálicas, como mostra a Tabela 2.14.

Tabela 2.14 - Tabela de rendimento/m de vigotas sem os adicionais [PUMA (2002)].

Matéria-prima	Quantidade	Preço (R\$)	TR08644 (m)	TR12645 (m)	TR12646 (m)	TR16745 (m)	TR20746 (m)	TR25856 (m)	TR30856 (m)
Cimento	50 kg	16,00	R\$ 0,478	R\$ 0,478	R\$ 0,478	R\$ 0,478	R\$ 0,478	R\$ 0,478	R\$ 0,478
Pedrisco	108 L	25,00	R\$ 0,081	R\$ 0,081	R\$ 0,081	R\$ 0,081	R\$ 0,081	R\$ 0,081	R\$ 0,081
Areia	90 L	23,00	R\$ 0,062	R\$ 0,062	R\$ 0,062	R\$ 0,062	R\$ 0,062	R\$ 0,062	R\$ 0,062
Treliça	-	-	R\$ 1,924	R\$ 2,314	R\$ 2,644	R\$ 2,786	R\$ 3,402	R\$ 4,845	R\$ 5,216
Energia/Água	-	120,00	R\$ 0,017	R\$ 0,017	R\$ 0,017	R\$ 0,017	R\$ 0,017	R\$ 0,017	R\$ 0,017
Desmoldante	200 ml	176,00	R\$ 0,025	R\$ 0,025	R\$ 0,025	R\$ 0,025	R\$ 0,025	R\$ 0,025	R\$ 0,025
		Total	R\$ 2,572	R\$ 2,975	R\$ 3,306	R\$ 3,448	R\$ 4,063	R\$ 5,506	R\$ 5,877

A Tabela 2.15 mostra os preços finais, considerando um percentual do lucro sobre os custos obtidos na Tabela 2.14, igual a 2,38. Desta forma, leva-se em consideração um primeiro percentual do lucro sobre os custos obtidos.

Tabela 2.15 - Preços finais das vigotas/m [PUMA (2002)].

		VT08644	VT12645	VT12646	VT16745	VT20746	VT25856	VT30856
Multiplicando	2,38	R\$ 6,12	R\$ 7,08	R\$ 7,87	R\$ 8,21	R\$ 9,67	R\$ 13,11	R\$ 13,99

A composição apresentada no item 2.2.2, na Tabela 2.11, por Bocchile (2003), contabiliza o lucro adicionando o valor de R\$2,807/m² ao final da composição.

Os custos com material de enchimento, para a lajota cerâmica e para o EPS, estão indicados nas Tabelas 2.16 e 2.17.

Tabela 2.16 - Preço/m² do material de enchimento com lajota cerâmica [PUMA (2002)].

Lajota Cerâmica	Quantidade	Preço/unidade R\$	Preço R\$/m²
H07x30x20	12	0,25	3,00
H12x30x20	12	0,50	6,00
H16x30x20	12	0,62	7,44
H20x30x20	12	0,78	9,36

Tabela 2.17 - Preço/m² do material de enchimento com EPS [PUMA (2002)].

EPS	Quantidade m³	Preço/m³ R\$	Preço R\$/m²
H07x30x20	0,054978	115,00	6,32
H12x30x20	0,094248	115,00	10,84
H16x30x20	0,125664	115,00	14,45
H20x30x20	0,15708	115,00	18,06
H25x30x20	0,19635	115,00	22,58
H30x30x20	0,23562	115,00	27,10

Os custos da laje formada por vigotas treliçadas e o material de enchimento são apresentados nas Tabelas 2.18 e 2.19.

Tabela 2.18 - Preço da laje com Lajota Cerâmica em R\$/m² [PUMA (2002)].

Somando	Viga / m²	Lajota / m²	Total / m²
VT 08 644	R\$ 6,12	R\$ 3,00	R\$ 9,12
VT 12 646	R\$ 7,87	R\$ 6,00	R\$ 13,87
VT 16 745	R\$ 8,21	R\$ 7,44	R\$ 15,65
VT 20 746	R\$ 9,67	R\$ 9,36	R\$ 19,03

Tabela 2.19 - Preço da laje com EPS em R\$/m² [PUMA (2002)].

Somando	Viga / m ²	EPS / m ²	Total / m ²
VT 08 644	R\$ 6,12	R\$ 6,32	R\$ 12,44
VT 12 646	R\$ 7,87	R\$ 10,84	R\$ 18,71
VT 16 745	R\$ 8,21	R\$ 14,45	R\$ 22,66
VT 20 746	R\$ 9,67	R\$ 18,06	R\$ 27,74
VT 25 856	R\$ 13,11	R\$ 22,58	R\$ 35,69
VT 30 856	R\$ 13,99	R\$ 27,10	R\$ 41,08

Faz-se necessário, no entanto, contabilizar os gastos com despesas fixas, ou seja, valores que independentemente da produção, são incorporados ao valor das vigotas treliçadas.

Para obter os custos de produção e de despesas gerais, é necessário contabilizar os gastos no mês anterior e explicitá-los em R\$/m². Portanto, devem-se dividir esses valores pela produção mensal, para compor os valores do próximo mês. Nesta composição, o fabricante faz um levantamento em sua fábrica, e relaciona todos os itens que compõem as suas despesas fixas e seus respectivos gastos (Tabela 2.20). Esse levantamento pode ser feito mensalmente, semestralmente ou anualmente.

Na tabela 2.21 e 2.22 os custos de produção e das despesas gerais agregam-se ao custo da vigota e do material de enchimento. Os materiais de enchimento são a lajota cerâmica e o EPS, respectivamente.

Tabela 2.20 - Valores das despesas fixas mensais em R\$/m² [PUMA (2002)].

Quantidade de Produção	Pessoas	Valor	Total / m ²
3.000 m ²	2	R\$ 832,00	R\$ 0,554
Cesta básica	2	R\$ 33,00	R\$ 0,022
Vale transporte	2	R\$ 20,00	R\$ 0,013
		R\$ 1770,00	R\$ 0,59
Despesas gerais		Valor	
Funcionário Interno	1	R\$ 900,00	R\$ 0,30
Pró-labore	1	R\$ 1.500,00	R\$ 0,50
Engenheiro responsável	1	R\$ 720,00	R\$ 0,24
Contador	1	R\$ 180,00	R\$ 0,06
Cesta básica	1	R\$ 33,00	R\$ 0,01
Vale transporte	-	R\$ 14,56	R\$ 0,01
Material de escritório	-	R\$ 100,00	R\$ 0,03
Conta telefônica	-	R\$ 300,00	R\$ 0,10
Aluguel	-	R\$ 900,00	R\$ 0,30
Despesas diversas	-	R\$ 400,00	R\$ 0,13
		R\$ 5.047,56	R\$ 1,68

Tabela 2.21 - Preços de lajes, em R\$/m², com lajota cerâmica [PUMA (2002)].

Altura Total Laje	Vigas/m ²	Lajota Cerâmica /m ²	Produção	Despesas Gerais	Total/m ² com Cerâmica
LT 12	R\$ 6,12	R\$ 3,00	R\$ 0,59	R\$ 1,68	R\$ 11,40
LT 16	R\$ 7,87	R\$ 6,00	R\$ 0,59	R\$ 1,68	R\$ 16,14
LT 20	R\$ 8,21	R\$ 7,44	R\$ 0,59	R\$ 1,68	R\$ 17,92
LT 25	R\$ 9,67	R\$ 9,36	R\$ 0,59	R\$ 1,68	R\$ 21,30

Tabela 2.22 - Preços de lajes, em R\$/m², com EPS [PUMA (2002)].

Altura Total Laje	Vigas/m ²	EPS / m ²	Produção	Despesas Gerais	Total/m ² com EPS
LT 12	R\$ 6,12	R\$ 6,32	R\$ 0,59	R\$ 1,68	R\$ 14,72
LT 16	R\$ 7,87	R\$ 10,84	R\$ 0,59	R\$ 1,68	R\$ 20,98
LT 20	R\$ 8,21	R\$ 14,45	R\$ 0,59	R\$ 1,68	R\$ 24,93
LT 25	R\$ 9,67	R\$ 18,06	R\$ 0,59	R\$ 1,68	R\$ 30,01
LT 30	R\$ 13,11	R\$ 22,58	R\$ 0,59	R\$ 1,68	R\$ 37,96
LT 35	R\$ 13,99	R\$ 27,10	R\$ 0,59	R\$ 1,68	R\$ 43,36

Para obter os gastos que variam com o volume de vendas efetuados, ou seja, frete, comissão e impostos, além do lucro, são necessários contabilizar os gastos no mês anterior e explicitá-los em R\$/m², como apresentado nas Tabelas 2.21 e 2.22, e a partir destas, determinar os coeficientes para as despesas variáveis. Os valores destas variáveis aqui descritos estão na Tabela 2.23, na forma de percentuais.

Tabela 2.23 - Percentuais de despesas variáveis [PUMA (2002)].

Despesas Variáveis	Coeficiente	Percentual	LT 12
Lucro	10	10%	R\$ 1,58
Frete	7	7%	R\$ 1,11
Comissão	6	6%	R\$ 0,95
Impostos (Simples)	5	5%	R\$ 0,79
Totais	28	28%	R\$ 4,43

Por fim, estes valores de despesas variáveis são agregados a cada tipo de lajota, obtendo-se os preços finais de venda mostrado nas Tabelas 2.24 a 2.29.

Tabela 2.24 - Preço final de venda da laje, em R\$/m² da LT 12 [PUMA (2002)].

PREÇO DE VENDA - LAJOTA CERÂMICA H 07/30 + VT 08644					LT 12
Custo	Frete	Lucro	Comissão	Imposto (Simples)	Total / m ²
R\$ 11,40	R\$ 1,11				R\$ 12,50
R\$ 11,40	R\$ 1,11	R\$ 1,58			R\$ 14,09
R\$ 11,40	R\$ 1,11	R\$ 1,58	R\$ 0,95		R\$ 15,04
R\$ 11,40	R\$ 1,11	R\$ 1,58	R\$ 0,95	R\$ 0,79	R\$ 15,83

Tabela 2.25 - Preço final de venda da laje, em R\$/m² da LT 16 [PUMA (2002)].

PREÇO DE VENDA - LAJOTA CERÂMICA H 12/30 + VT 12 646					LT 16
Custo	Frete	Lucro	Comissão	Imposto (Simples)	Total / m ²
R\$ 16,14	R\$ 1,57				R\$ 17,71
R\$ 16,14	R\$ 1,57	R\$ 2,24			R\$ 19,95
R\$ 16,14	R\$ 1,57	R\$ 2,24	R\$ 1,35		R\$ 21,30
R\$ 16,14	R\$ 1,57	R\$ 2,24	R\$ 1,35	R\$ 1,12	R\$ 22,42

Tabela 2.26 - Preço final de venda da laje, em R\$/m² da LT 20 [PUMA (2002)].

PREÇO DE VENDA - LAJOTA CERÂMICA H 16/30 + VT 16 745					LT 20
Custo	Frete	Lucro	Comissão	Imposto (Simples)	Total / m ²
R\$ 17,92	R\$ 1,74				R\$ 19,66
R\$ 17,92	R\$ 1,74	R\$ 2,49			R\$ 22,15
R\$ 17,92	R\$ 1,74	R\$ 2,49	R\$ 1,49		R\$ 23,64
R\$ 17,92	R\$ 1,74	R\$ 2,49	R\$ 1,49	R\$ 1,24	R\$ 24,89

Tabela 2.27 - Preço final de venda da laje, em R\$/m² da LT 25 [PUMA (2002)].

PREÇO DE VENDA - LAJOTA CERÂMICA H 20/30 + VT 20 746					LT 25
Custo	Frete	Lucro	Comissão	Imposto (Simples)	Total / m ²
R\$ 21,30	R\$ 2,07				R\$ 23,38
R\$ 21,30	R\$ 2,07	R\$ 2,96			R\$ 26,33
R\$ 21,30	R\$ 2,07	R\$ 2,96	R\$ 1,78		R\$ 28,11
R\$ 21,30	R\$ 2,07	R\$ 2,96	R\$ 1,78	R\$ 1,48	R\$ 29,59

Tabela 2.28 - Preço final de venda da laje, em R\$/m² da LT 30 [PUMA (2002)].

PREÇO DE VENDA - EPS H 25/30 + VT 25 856					LT 30
Custo	Frete	Lucro	Comissão	Imposto (Simples)	Total / m ²
R\$ 37,96	R\$ 3,69				R\$ 41,65
R\$ 37,96	R\$ 3,69	R\$ 5,27			R\$ 46,92
R\$ 37,96	R\$ 3,69	R\$ 5,27	R\$ 3,16		R\$ 50,08
R\$ 37,96	R\$ 3,69	R\$ 5,27	R\$ 3,16	R\$ 2,64	R\$ 52,72

Tabela 2.29 - Preço final de venda da laje, em R\$/m² da LT 35 [PUMA (2002)].

PREÇO DE VENDA - EPS H 30/35 + VT 30 856					LT 35
Custo	Frete	Lucro	Comissão	Imposto (Simples)	Total / m ²
R\$ 43,36	R\$ 4,22				R\$ 47,57
R\$ 43,36	R\$ 4,22	R\$ 6,02			R\$ 53,59
R\$ 43,36	R\$ 4,22	R\$ 6,02	R\$ 3,61		R\$ 57,21
R\$ 43,36	R\$ 4,22	R\$ 6,02	R\$ 3,61	R\$ 3,01	R\$ 60,22

2.2.4. Revista Cotação de Material (2003)

A Revista Cotação de Material, Ano XXVII nº 329 de Setembro de 2003, traz uma pesquisa de preços referente ao levantamento do mês para as principais cidades do interior paulista. Esta composição de custos fornece os valores finais em R\$/m². A revista Cotação de Materiais considera:

- altura da laje;
- linha de escoras;
- altura do EPS;
- consumo de concreto;
- vão máximo;
- peso-próprio.

Trata-se de uma composição mais robusta e sem muitos detalhes sobre os custos envolvidos na produção das vigotas treliçadas. Nesta composição de custos, considera-se como material de enchimento somente o EPS.

Com relação às despesas fixas e variáveis, a Revista Cotação de Material, não explicita valores para cálculo. No entanto, é feita uma diferenciação entre laje de fôrro e laje de piso em função da sobrecarga adotada no dimensionamento, como mostrado nas Tabelas 2.30 e 2.31.

Tabela 2.30 - Preço total em R\$/m² de laje de fôrro para as alturas relacionadas [COTAÇÃO DE MATERIAIS (2003)].

LAJE DE FÔRRO							
Altura total da laje (cm)	Composição da treliça	Linha de escoras (m)	Altura do EPS (cm)	Cunsumo de concreto (ℓ/m ²)	Vão livres máximos (m)	Peso-próprio (kg/m ²)	Preço Total (R\$/m ²)
12	TR 8634	1,30	8	53	5,65	153	17,00
	TR 8645	1,50					18,00
	TR 8745	1,60					18,00
16	TR 8745	1,50	12	63	7,30	179	24,00
	TR 12745	1,70					24,50
	TR 12756	1,80					25,00
20	TR 12745	1,50	16	74	8,85	206	30,00
	TR 16746	1,70					31,00
	TR 16756	1,80					32,00
25	TR 12745	1,40	20	84	10,55	257	38,00
	TR 16746	1,60					39,00
	TR 20746	1,80					39,00
30	TR 16746	1,50	25	107	12,25	290	45,00
	TR 25856	1,60					46,00
	TR 20756	1,70					46,00

Tabela 2.31 - Preço total em R\$/m² de laje de piso para as alturas relacionadas [COTAÇÃO DE MATERIAIS (2003)].

LAJE DE PISO							
Altura total da laje (cm)	Composição da treliça	Linha de escoras (m)	Altura do EPS (cm)	Cunsumo de concreto (ℓ/m ²)	Vão livres máximos (m)	Peso-próprio (kg/m ²)	Preço Total (R\$/m ²)
12	TR 8634	1,30	8	53	6,40	153	19,00
	TR 8645	1,50					20,00
	TR 8745	1,60					21,00
16	TR 8745	1,50	12	63	8,25	179	27,00
	TR 12745	1,70					28,00
	TR 12756	1,80					28,00
20	TR 12745	1,50	16	74	9,85	206	34,00
	TR 16746	1,70					35,00
	TR 16756	1,80					35,00
25	TR 12745	1,40	20	84	11,60	257	42,00
	TR 16746	1,60					43,00
	TR 20746	1,80					43,00
30	TR 16746	1,50	25	107	13,30	290	52,00
	TR 25856	1,60					53,00
	TR 20756	1,70					53,00

A fim de comparar as variações anuais de custos das lajes treliçadas de fôrro e de piso, são apresentados nas Tabelas 2.32 e 2.33, os preços totais apresentados na Revista Cotação de Material, Ano XXVIII nº 340 de setembro de 2004.

Tabela 2.32 - Preço total em R\$/m² de laje de fôrro para as alturas relacionadas [COTAÇÃO DE MATERIAIS (2004)].

LAJE DE FÔRRO							
Altura total da laje (cm)	Composição da treliça	Linha de escoras (m)	Altura do EPS (cm)	Cunsumo de concreto (ℓ/m ²)	Vão livres máximos (m)	Peso-próprio (kg/m ²)	Preço Total (R\$/m ²)
12	TR 8634	1,30	8	53	5,65	153	20,60
	TR 8645	1,50					21,90
	TR 8745	1,60					21,90
16	TR 8745	1,50	12	63	7,30	179	29,40
	TR 12745	1,70					30,18
	TR 12756	1,80					30,90
20	TR 12745	1,50	16	74	8,85	206	36,90
	TR 16746	1,70					36,90
	TR 16756	1,80					39,00
25	TR 12745	1,40	20	84	10,55	257	46,00
	TR 16746	1,60					48,00
	TR 20746	1,80					48,00
30	TR 16746	1,50	25	107	12,25	290	55,00
	TR 25856	1,60					55,00
	TR 20756	1,70					55,00

Tabela 2.33 - Preço total em R\$/m² de laje de piso para as alturas relacionadas [COTAÇÃO DE MATERIAIS (2004)].

LAJE DE PISO							
Altura total da laje (cm)	Composição da treliça	Linha de escoras (m)	Altura do EPS (cm)	Cunsumo de concreto (ℓ/m ²)	Vão livres máximos (m)	Peso-próprio (kg/m ²)	Preço Total (R\$/m ²)
12	TR 8634	1,30	8	53	6,40	153	23,00
	TR 8645	1,50					24,00
	TR 8745	1,60					24,00
16	TR 8745	1,50	12	63	8,25	179	33,00
	TR 12745	1,70					34,00
	TR 12756	1,80					34,00
20	TR 12745	1,50	16	74	9,85	206	42,00
	TR 16746	1,70					42,00
	TR 16756	1,80					42,00
25	TR 12745	1,40	20	84	11,60	257	52,00
	TR 16746	1,60					53,20
	TR 20746	1,80					53,60
30	TR 16746	1,50	25	107	13,30	290	60,00
	TR 25856	1,60					62,00
	TR 20756	1,70					63,00

Observa-se um aumento dos custos de 14,28%, para a laje de piso, no caso da TR8745 de 12 cm de altura, até 24,65% para a mesma laje, no caso da TR20746 de 25 cm de altura.

Deve-se atentar para as variações de valores decorrentes de aumentos de insumos, mão-de-obra e inflação, que embora sejam aceitáveis, não devem ser ignoradas.

2.2.5. Revista PINI Construção Mercado (2004)

A revista Construção Mercado da Pini de Setembro 2004 traz a cotação de diversos insumos, bem como a cotação dos custos com mão-de-obra, materiais e serviços. Além disso, apresenta uma composição de custos das vigotas treliçadas em R\$/m e o custo total da laje em R\$/m².

Esta composição se assemelha à apresentada anteriormente pela Revista Cotação de Material (2003 e 2004). No entanto, a Revista PINI Construção Mercado discrimina os custos com as vigotas e soma os custos do material de enchimento, que no caso é o EPS, para apresentar o preço total.

Nas Tabelas 2.34 e 2.35 estão apresentadas as composições para laje de fôrro e laje de piso, respectivamente.

Tabela 2.34 - Preço total em R\$/m² de laje de forro [REVISTA CONSTRUÇÃO E MERCADO (2004)].

LAJE DE FÔRRO											
Tipo/Altura (cm)	Classe	Composição da treliça-diâmetro (mm)	Vão entre linha de escoras (m)	Altura do EPS (cm)	Consumo de concreto (ℓ/m²)	Vão livre (m)	Peso-Próprio (kg/m²)	unidade	Preço da vigota (R\$)	Preço do EPS (R\$)	Preço total R\$/m²
LT12(8+4)	9	TR 8644	1,35	8	54	4,00	145	m²	8,02	7,82	15,84
LT16(12+4)	14	TR 12645	1,45	12	66	5,80	166	m²	11,04	9,98	21,02
LT20(16+4)	17	TR 12645	1,40	16	75	7,00	186	m²	11,98	13,31	25,29
LT20(16+4)	17	TR 16645	1,50	16	75	7,00	186	m²	12,38	13,31	25,69
LT25(20+5)	19	TR 12645	1,30	20	94	8,40	232	m²	13,74	16,64	30,38
LT25(20+5)	21	TR 16645	1,40	20	94	8,70	232	m²	15,10	16,64	31,74
LT25(20+5)	22	TR 20745	1,50	20	94	8,90	232	m²	16,94	16,64	33,58
LT30(25+5)	21	TR 20745	1,40	25	110	9,50	257	m²	16,94	20,80	37,74
LT30(25+5)	22	TR 25756	1,45	25	110	9,70	257	m²	19,22	20,80	40,02

Tabela 2.35 - Preço total em R\$/m² de laje de piso [REVISTA CONSTRUÇÃO E MERCADO (2004)].

LAJE DE PISO											
Tipo/Altura (cm)	Classe	Composição da treliça - diâmetro (mm)	Vão entre linha de escoras (m)	Altura do EPS (cm)	Consumo de concreto (ℓ/m ²)	Vão livre (m)	Peso-Próprio (kg/m ²)	unidade	Preço da vigota (R\$)	Preço do EPS (R\$)	Preço total R\$/m ²
LT12(8+4)	10	TR 8644	1,35	8	54	4,00	145	m ²	9,12	7,82	16,94
LT16(12+4)	17	TR 12645	1,50	12	62	5,50	166	m ²	11,98	9,98	21,96
LT20(16+4)	21	TR 12645	1,40	16	75	7,20	186	m ²	14,70	13,31	28,01
LT20(16+4)	23	TR 16645	1,50	16	75	7,80	186	m ²	16,90	13,31	30,21
LT25(20+5)	24	TR 12645	1,30	20	97	8,80	232	m ²	17,38	16,64	34,02
LT25(20+5)	24	TR 16645	1,40	20	97	9,00	232	m ²	19,10	16,64	35,74
LT25(20+5)	26	TR 20745	1,50	20	97	9,40	232	m ²	21,00	16,64	37,64
LT30(25+5)	26	TR 20745	1,40	26	116	10,00	277	m ²	21,00	19,97	40,97
LT30(25+5)	26	TR 25756	1,45	24	116	10,50	277	m ²	24,52	19,97	44,49

Observa-se, de acordo com as Tabelas 2.34 e 2.35, que o preço final da laje de fôrro varia de R\$ 15,84/m² para R\$ 40,02/m², em função da altura da laje.

2.2.6. Castilho (2003)

Castilho (2003), em sua tese de doutorado, fórmula uma composição de custos para uma vigota protendida e classifica os custos envolvidos com o processo produtivo dessas vigotas, com o transporte e com a execução das lajes, em custos de execução, custos de transporte externo e custos de aplicação.

Nos custos de execução, ou seja, custos para se produzir as vigotas, Castilho (2003) faz quatro subdivisões, onde são contabilizados os custos de matéria-prima, os custos adicionais, os custos indiretos administrativos e os custos tributários.

Na Tabela 2.36 são apresentados os materiais, a mão-de-obra e os equipamentos utilizados para cada matéria-prima. Os custos de matéria-prima (Tabela 2.36) são a soma dos custos de concreto, armadura e material de enchimento.

Tabela 2.36 - Materiais, mão-de-obra e equipamentos.

	Material	Mão-de-obra	Equipamento
Concreto	Cimento, areia, brita, aditivo, etc.	Mão-de-obra de dois homens utilizada na mistura de concreto, no transporte e na operação dos equipamentos de moldagem	Extrusora, betoneira.
Armadura	Aço	Mão-de-obra de um homem para utilização dos equipamentos e colocação dos cabos, efetuação da protensão e liberação da força.	Macaco hidráulico, máquina para cortar os fios.
Material de Enchimento	Bloco EPS	Mão-de-obra de um homem para utilização dos equipamentos	Máquina para cortar os blocos.

Os valores dos custos de matéria-prima usados nas análises estão discriminados na Tabela 2.37.

Tabela 2.37 - Custos de matéria-prima.

	Material	Mão-de-obra	Equipamento
Concreto (R\$/m ³)	179,78	4,40	8,35
Armadura (R\$/kg)	2,50	0,25	0,07
Material de Enchimento (R\$/m ³)	2,00	2,20	1,00

Os custos adicionais envolvem os custos referentes às atividades após a moldagem e anterior ao envio à obra. O custo adicional é a soma dos custos de mão-de-obra e de equipamentos, e são contabilizados em R\$/m³, conforme apresentado na Tabela 2.38.

Tabela 2.38 - Custos adicionais.

	Mão-de-obra	Equipamentos
Custos adicionais (R\$/m ³)	4,40	1,67

Os custos indiretos administrativos, segundo Castilho (2003), envolvem os custos de engenheiros, encarregados, recepcionista, execução do projeto, encargos sociais, propaganda, energia, impostos, aluguéis, seguros, materiais de escritório, despesas de manutenção, fretes, combustível, depreciação, retorno de investimento. Esses custos são estimados em 10% dos custos com matéria-prima, somados aos adicionais.

Por fim, no item que descreve os custos tributários tais como COFINS, PIS, ICMS, E IPI, são avaliados em 12% dos custos de matéria-prima, dos custos adicionais e dos custos indiretos administrativos.

Para a composição referente ao transporte externo, foi adotado em Castilho (2003) um custo de R\$ 0,52 que é a distância da fábrica à obra. A etapa final de composição de custos

denomina-se, segundo Castilho (2003), de custos de aplicação, e está subdividido em quatro itens: Custo da montagem da vigota protendida, custo do concreto da capa, custo da armadura complementar e custos indiretos administrativos. Na Tabela 2.39 são descritos os custos de montagem. Os custos da montagem da vigota protendida envolvem a soma dos custos de mão-de-obra e equipamentos.

Tabela 2.39 - Descrição dos custos de montagem.

	Mão-de-obra	Cimbramento
Montagem	Mão-de-obra para a colocação da vigota	Aluguel de cimbramento
Custos de Montagem (R\$/m ³)	4,40	6,00

A Tabela 2.40 apresenta a descrição dos custos com concreto de capa. Os custos com concreto de capa englobam a soma dos custos de material, de mão-de-obra e de equipamentos para o lançamento do concreto moldado no local. Considera-se uma resistência de 20MPa.

Tabela 2.40 - Descrição dos custos com concreto de capa.

	Material	Mão-de-obra	Equipamento
Concreto de capa	Cimento, areia, brita, aditivo, etc	Mão-de-obra de vinte homens para o lançamento, o adensamento do concreto, a cura e a desmoldagem.	Vibrador, fôrmas, desforma.
Concreto de capa (R\$/m ³)	136,13	104,20	8,35

A Tabela 2.41 apresenta a descrição dos custos com armadura complementar. Os custos da armadura complementar englobam a soma dos custos de material e de mão-de-obra.

Tabela 2.41 - Descrição dos custos com armadura complementar.

	Material	Mão-de-obra	Equipamento
Armadura complementar	Armadura de diâmetro de 6,3mm	Mão-de-obra de um homem	Máquina para cortar os fios
Armadura complementar (R\$/m ³)	136,13	104,20	8,35

Os custos indiretos administrativos para esta etapa estão estimados em 20% dos custos de montagem, do concreto de capa e da armadura complementar. Estes englobam os custos de engenheiros, encarregados, recepcionista, execução do projeto, administração, encargos

sociais, propaganda, energia, impostos, aluguéis, seguros, materiais de escritório, despesas de manutenção, fretes, combustível, depreciação e despesas tributárias. Nesta composição, pode-se ter uma idéia global dos custos envolvidos em uma produção e transporte de vigotas, bem como a montagem da laje.

O trabalho desenvolvido por Castilho (2003) investigou Algoritmos Genéticos (AG) na busca da solução de menor custo para painéis alveolares e vigotas protendidas. Com o intuito de viabilizar uma análise comparativa, ambos os problemas foram abordados utilizando um método convencional (EASY). A Tabela 2.42 apresenta as melhores soluções obtidas na minimização de custo considerando painéis alveolares e vigotas protendidas. Com base nos resultados obtidos, pode-se dizer que, na maioria dos casos, o AG é uma técnica viável em problemas de Engenharia Estrutural.

Tabela 2.42 - Quadro resumo dos valores médios da função custo e variáveis.

MÉTODO		FUNÇÃO CUSTO (R\$/m ²)
Painel alveolar	AG	74,78
	EASY	80,23
Vigota Protendida	AG	28,01
	EASY	28,02

3.1. O PROCESSO PRODUTIVO DAS VIGOTAS TRELIÇADAS

O processo produtivo de lajes formadas por vigotas treliçadas é considerado relativamente fácil, no entanto, requer conhecimentos básicos, capacidade administrativa e um certo investimento inicial, para um melhor aproveitamento e aplicação das vigotas.

Antes de iniciar a produção, o encarregado recebe o relatório de produção com códigos de identificação para as vigotas que serão fabricadas. Esta classificação tem a função de organizar e separar as vigotas, de acordo com o seu comprimento e dimensionamento.

3.1.1. Leitos de Concretagem e Aplicação de Desmoldante

Inicia-se o processo produtivo com a aplicação de um desmoldante sobre as fôrmas devidamente posicionadas, limpas e secas. Fabricam-se estas fôrmas em chapas de aço na espessura de 32 mm, e a sua seção transversal visualiza-se na Figura 3.1.

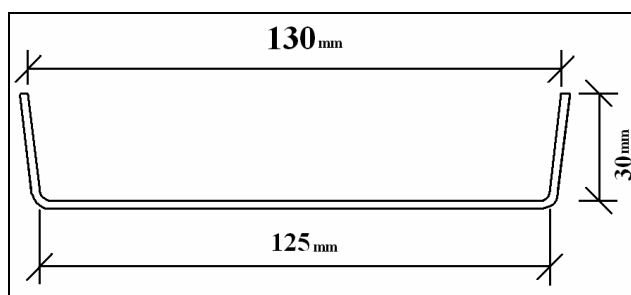


Figura 3.1 - Seção transversal de fôrma para vigotas treliçadas.

As dimensões da seção transversal das fôrmas não são padronizadas, portanto, as dimensões apresentadas na Figura 3.1 são as comumente observadas nas fábricas.

Formam-se os leitos por um conjunto composto geralmente de 10 fôrmas, com largura total máxima de 1,50 m para que o trabalho dos operários não seja dificultado. O comprimento total do leito depende do espaço que a fábrica dispõe tanto para acomodar adequadamente as vigotas, quanto para permitir um fluxo de mão-de-obra livre e contínuo.

Segundo o boletim técnico da MEDITERRÂNEA PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO LTDA (1994), montam-se as fôrmas sobre base firme de blocos de concreto ou de tijolos, espaçadas de 1,50 m em 1,50 m, para evitar uma flexão inicial nas fôrmas. Ainda segundo o boletim, para se ter um bom aproveitamento, os leitos devem ter comprimentos em torno de 30 m e para a altura, adota-se 0,65 m.

A Figura 3.2 traz uma apresentação esquemática dos apoios dos leitos de concretagem e a sua altura necessária.

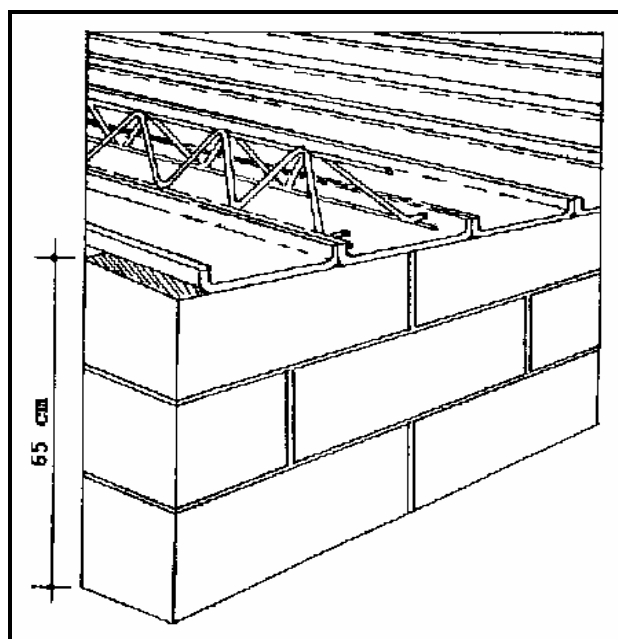


Figura 3.2- Base de apoio para os leitos de concretagem [MEDITERRÂNEA (1994)].

Em seguida devem ser posicionadas as bases de apoio para os leitos e as chapas de aço e organizado os pátios de concretagem como se mostra na Figura 3.3.



Figura 3.3 - Pátios de concretagem para a produção das vigotas [PUMA (2002)].

As fôrmas devem ser limpas com a utilização de uma espátula de metal com largura igual à da fôrma, raspando-se as “crostas” de concreto que ficam após a desforma da concretagem anterior.

Para facilitar a desforma das vigotas, após a limpeza aplica-se o desmoldante para untar as fôrmas. O desmoldante é facilmente encontrado no mercado ou pode ainda ser produzido na própria fábrica. Fabricantes que preferem produzir seu próprio desmoldante o fazem basicamente de três maneiras:

- a) utilizando-se óleo diesel e vela de sete dias, na proporção de uma vela para cada litro de óleo diesel;
- b) Em uma segunda opção, mistura-se na razão de um para um, óleo diesel e óleo de motor comumente utilizado nos caminhões destinados ao transporte das vigotas treliçadas; ou
- c) utilizando-se apenas o óleo diesel.

Definido qual o tipo de desmoldante a ser utilizado, espalha-se o mesmo nas fôrmas com o auxílio de uma estopa ou esponja, de acordo com a Figura 3.4.



Figura 3.4 - Aplicação do desmoldante em fôrmas devidamente posicionadas, limpas e secas [PUMA (2002)].

3.1.2. Lançamento e Nivelamento de Concreto

Após a verificação de traço a ser utilizado, prepara-se o concreto da base das treliças na própria fábrica. Deve-se salientar que a compra de concreto usinado para essa etapa acarreta custos excessivos ao produtor, uma vez que o valor final do custo leva em consideração o frete, as despesas e os lucros da concreteira. A produção do concreto na fábrica proporciona um maior controle nos quesitos prazo e ritmo de concretagem.

Lança-se então o concreto sobre as fôrmas com o auxílio de uma caçamba içada por uma talha, ponte rolante ou até manualmente, como mostra a Figura 3.5. Em seguida espalha-se o concreto uniformemente através de sarrafos de madeira, colher de pedreiro ou régua de chapas, nivelando-se assim a superfície que recebe as treliças metálicas.

Ao determinar o tamanho das pistas, deve-se colocar nas cabeceiras das fôrmas, calços de madeira ou chapas, para impedir que o concreto vaze durante a concretagem.

As barras adicionais são obtidas nos tipos CA 50 (barras retas) ou CA 60 (bobinado), de acordo com a especificação de cálculo. Retifica-se o aço CA 60 em equipamentos apropriados e corta-se conforme especificado no projeto.



Figura 3.5 - Lançamento e nivelamento do concreto sobre as fôrmas [PUMA (2002)].

3.1.3. Armadura adicional, estribo de ponta e a treliça metálica

A armadura adicional é posicionada, respeitando-se os cobrimentos e os espaçamentos necessários, especificados em projeto, conforme a Figura 3.6.



Figura 3.6 - Posicionamento da armadura adicional no concreto [PUMA (2002)].

Na contribuição da resistência aos esforços gerados ao retirar-se a vigota, puxando-a pela extremidade, durante a desforma, alguns fabricantes adicionam um pequeno estribo com fios de aço CA-60 de diâmetro 4,2 mm e 25 cm de comprimento, nas pontas de cada vigota. Esse pequeno estribo, com função construtiva, é comumente chamado de “estribo de ponta” como se observa na Figura 3.7, devendo-se posicionar e encaixar um a um.

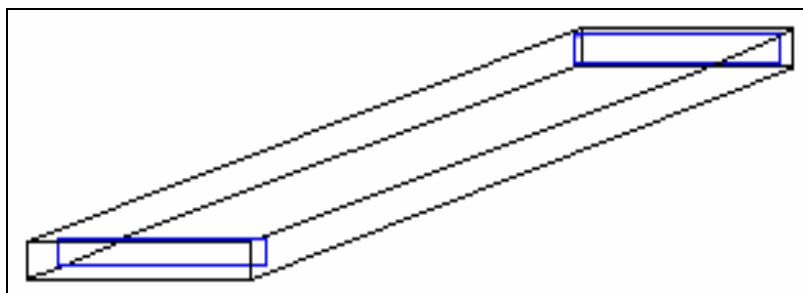


Figura 3.7 - Ilustração de uma vigota armada com o “estribo de ponta”.

Soldam-se as treliças metálicas de aço tipo CA-60 por eletrofusão, de modo a formar duas treliças unidas pelo vértice. A Figura 3.8 apresenta uma visão geral e esquemática de uma treliça metálica ressaltando-se as sinusóides e os banzos.

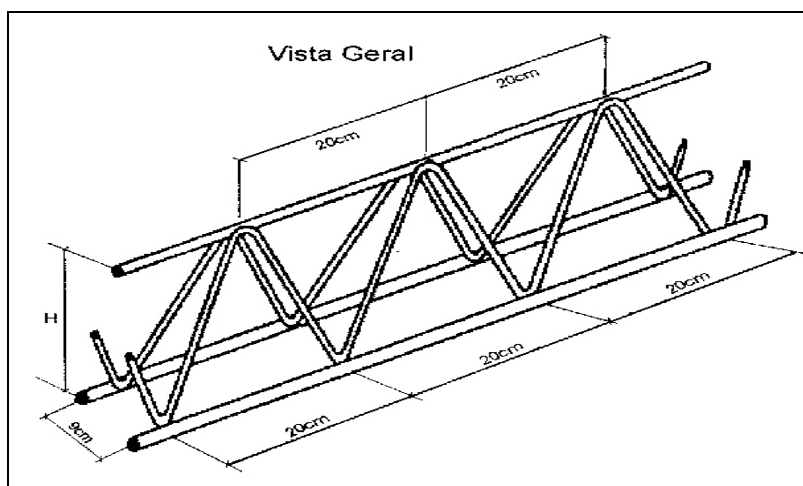


Figura 3.8 - Treliças de aço tipo CA-60 soldada por eletrofusão.

Na seção transversal da armação tem-se um triângulo espacial, onde no vértice superior há um vergalhão de aço com diâmetro que varia de 6 a 8 mm, e nos vértices inferiores há dois vergalhões que possuem bitolas variáveis de acordo com a resistência que se pretende obter.

Na porção lateral da treliça há um complemento de dois outros vergalhões de aço dobrado na forma de um sinusóide. Estes vergalhões sinusoidais proporcionam rigidez ao conjunto, para facilitar o transporte e o manuseio. Na Figura 3.9 mostra-se em corte o vergalhão superior, inferior e as diagonais sinusoidais.

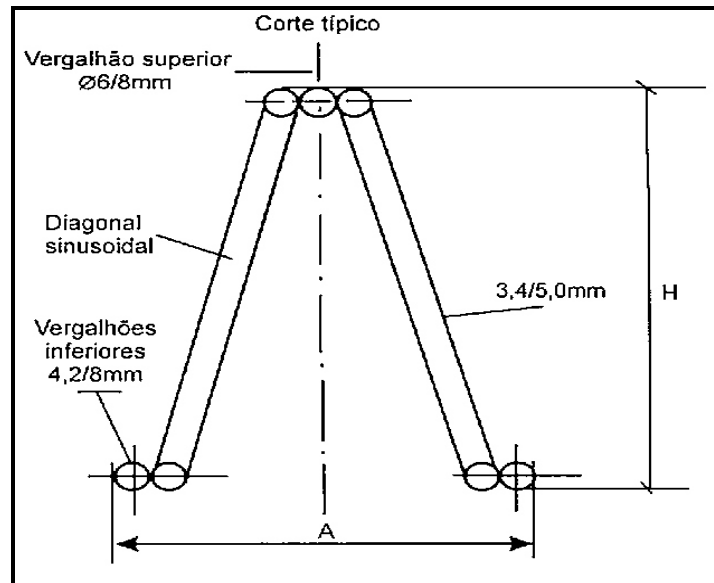


Figura 3.9 - Corte das treliças de aço tipo CA-60 soldadas por eletrofusão.

Vende-se a treliça metálica por peso ou metro, nos comprimentos 8,10 e 12 metros. Além disso, podem-se obter tamanhos diferentes desses comprimentos, de acordo com o projeto.

Uma vez posicionada a treliça metálica na fôrma, respeitando-se os limites de cobrimento impostos no dimensionamento, a ferragem positiva deve ficar totalmente submersa no concreto, como se mostra nas Figuras 3.10 e 3.11. Não é necessário vibrar as fôrmas, devido à plasticidade que se obtém neste concreto.

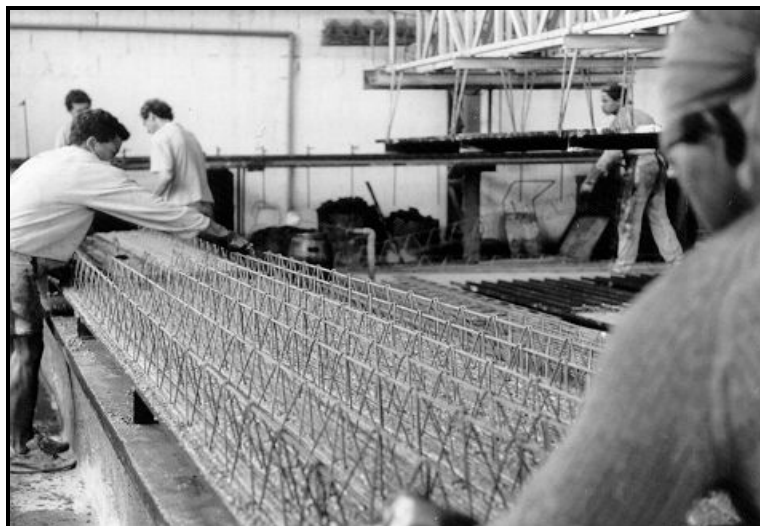


Figura 3.10 - Posicionamento da treliça metálica no concreto [PUMA (2002)].



Figura 3.11 - Adequação da treliça metálica no concreto [PUMA (2002)].

3.1.4. Cura e Desforma

Faz-se a cura do concreto com “borrifadas de água” após a concretagem, com o auxílio de mangueiras e em intervalos de duas horas, até quando for conveniente. Existe também a cura a vapor, porém é menos utilizada devido aos custos dos equipamentos.

A desforma é feita iniciando-se pelas primeiras vigotas fabricadas no dia anterior, como se pode observar na figura 3.12.



Figura 3.12 - Desforma das vigotas já concretadas [PUMA (2002)].

A retirada das vigotas treliçadas, após a desforma, pode ser feita manualmente ou com o auxílio de uma ponte rolante, o que proporciona um ganho de produtividade.

O armazenamento das vigotas deve ser feito em local seguro, seco e de fácil manuseio, de onde se transporta até o local da obra. Empilham-se as vigotas colocando ripas ao longo do comprimento das mesmas, a cada 2,50 m, formando camadas de ripas e vigas alternadamente. Deve-se atentar para o perfeito alinhamento vertical das ripas a fim de evitar concentração de tensões que possam provocar deformações no banzo superior da treliça ou mesmo trincas e rompimento da camada de concreto, como mostra a Figura 3.13.



Figura 3.13 - Armazenamento das vigotas [PUMA (2002)].

3.2. O PROCESSO DE TRANSPORTE DAS VIGOTAS

Considera-se o transporte das vigotas treliçadas uma etapa muito importante de todo o processo, pois é em grande parte um limitador no preço, podendo em alguns casos, inviabilizar a compra. É nessa fase que ocorrem as maiores perdas de peças pelo incorreto acondicionamento nos veículos transportadores, ou por despreparo da mão-de-obra que realiza o serviço, ou ainda pelo surgimento de esforços não previstos no cálculo.

O processo inicia-se com a solicitação de envio das vigotas devidamente armazenadas. Antes de iniciar a operação propriamente dita, deve-se conferir a identificação de cada vigota para que não haja erros de envio, sobretudo quando se trata de um produto com

características intrínsecas, como, por exemplo, o comprimento e a quantidade de armadura adicional.

Os funcionários destinados a esse serviço devem fazê-lo utilizando-se barras de aço, posicionando-se dois a dois como mostra a Figura 3.14.

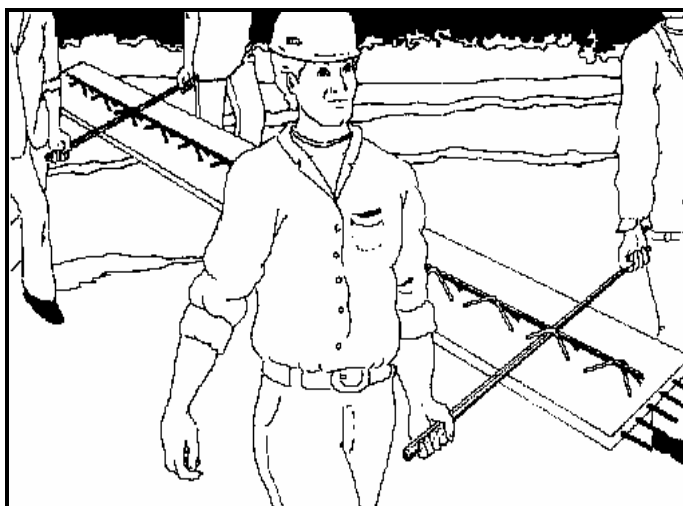


Figura 3.14 - Desenho esquemático de transporte [MEDITERRÂNEA (1994)].

Posicionam-se as vigotas, os materiais cerâmicos e os coxinhos no veículo transportador, em caminhões e caminhonetes, da mesma forma na qual se armazena, ou seja, atentando-se para o perfeito alinhamento e acomodação das peças.

Conduzem-se as vigotas até o local desejado e transporta-se para o seu posicionamento final, do mesmo modo em que se transporta para o veículo transportador.

3.3. O PROCESSO DE MONTAGEM DAS VIGOTAS *IN LOCO*

Com as superfícies de apoio niveladas e as escoras posicionadas, içam-se as vigotas treliçadas por grua e apóiam-se no sentido transversal as longarinas, como mostra a Figura 3.15.



Figura 3.15 - Forma de apoio das vigotas treliçadas.

Após a colocação das vigotas, escoram-se as mesmas para possibilitar o livre acesso à laje para a colocação do material de enchimento e para possibilitar a concretagem. Faz-se o escoramento normalmente em linhas com espaçamento de 1 metro entre elas, a fim de garantir estabilidade para as próximas etapas, como mostra a Figura 3.16.



Figura 3.16 - Regulagem da altura de cada linha de escoramento.

Encaixam-se os blocos cerâmicos ou de EPS nos vãos necessários, bem como os coxinhos que servem de apoio para a passagem da armadura transversal. A Figura 3.17 mostra o encaixe destes elementos.



Figura 3.17 - Colocação do material de enchimento (EPS).

No detalhe da Figura 3.18, observa-se em maior escala como se dá o encaixe do material de enchimento, no caso o EPS, com as vigotas já posicionadas.

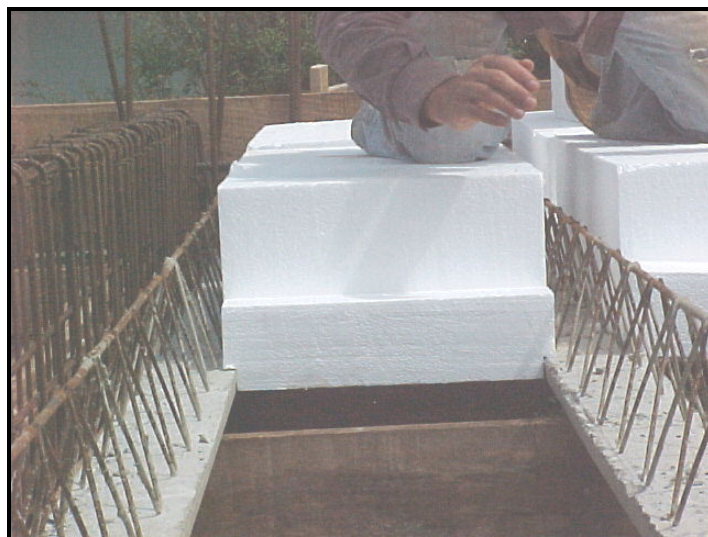


Figura 3.18 - Detalhe do encaixe do material de enchimento com a vigota.

Na Figura 3.19 observam-se as armaduras transversais às vigotas na laje e na Figura 3.20 podem ser visualizadas as armaduras adicionais no sentido longitudinal, paralelo às vigotas.

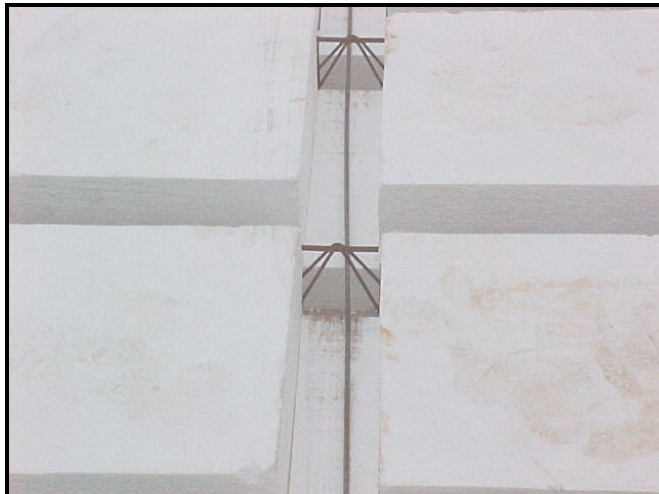


Figura 3.19 - Montagem das ferragens transversais às das vigotas na laje.



Figura 3.20 - Colocação das armaduras adicionais.

Na figura 3.21 esquematiza-se a laje utilizando a cerâmica como material de enchimento.

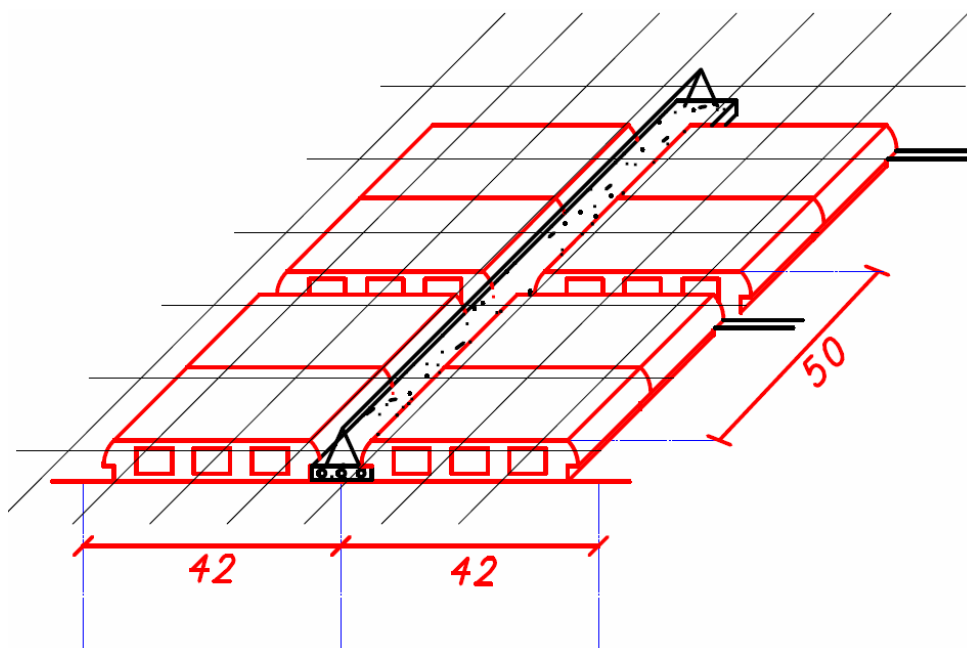


Figura 3.21 – Componentes da laje utilizando material de enchimento cerâmico.

Na figura 3.22 esquematiza-se a laje utilizando EPS como material de enchimento.

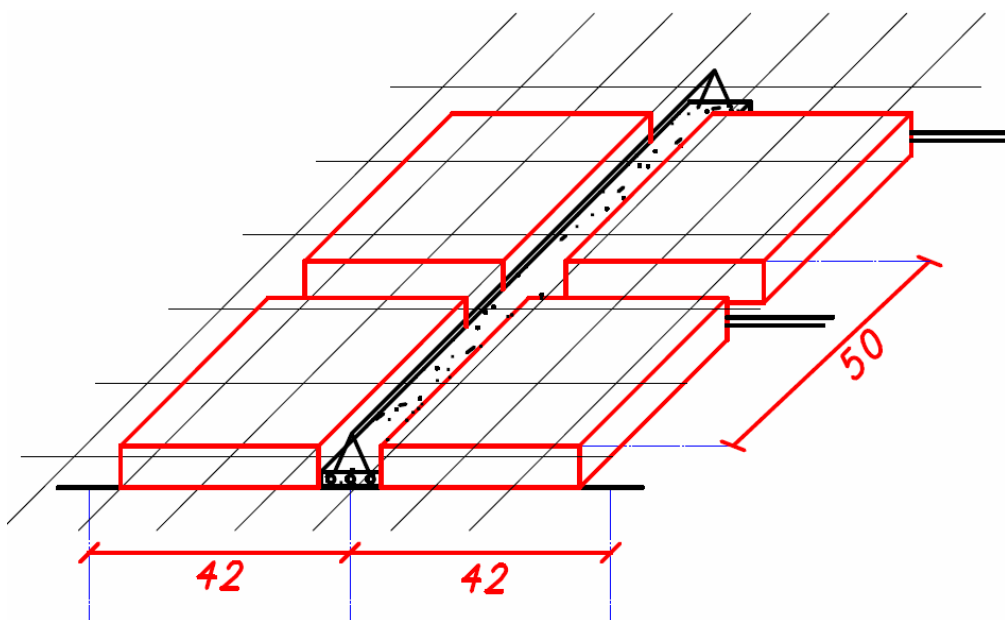


Figura 3.22 - Componentes da laje utilizando material de enchimento – EPS .

Os eletrodutos, tubulações de hidráulica e caixa de luz passam por perfurações feitas na lajota ou no EPS. Não se corta a nervura para a passagem de uma instalação, mas

remanejam-se um desses elementos para compatibilizar os projetos estrutural, elétrico e hidráulico, como mostrado na Figura 3.23.

Em seguida, se necessário, coloca-se uma tela de distribuição na capa da laje para melhor distribuir as cargas concentradas, evitando problemas de deformação, e para diminuir os efeitos da retração do concreto por secagem, como mostra a Figura 3.24.



Figura 3.23 - Colocação de eletrodutos, tubulações de hidráulica e caixas de luz.



Figura 3.24 - Detalhe da colocação da tela de distribuição na capa da laje.

É feita a concretagem da laje, observando que o processo de cura é muito importante, pois ele garante que o concreto atinja a resistência necessária, evitando-se a retração e as fissuras. A Figura 3.25 mostra a etapa final do processo de montagem e concretagem.

Retira-se o escoramento parcialmente após duas semanas em média e, totalmente, na terceira semana. Assim, encerra-se todo o processo de aquisição e montagem de uma laje pré-moldada.



Figura 3.25 - Concretagem da laje pré-moldada.

4.1. INTRODUÇÃO

Após conhecer, analisar e discutir junto aos fabricantes todo o processo produtivo das vigotas treliçadas, seu transporte até o local da obra e a montagem *in loco* é elaborada uma função matemática que descreva todos os custos envolvidos nessas etapas.

A composição de custos resulta de pesquisas realizadas em sete fábricas em Ribeirão Preto – SP, uma fábrica em Uberlândia – MG, uma fábrica em São José do Rio Preto e uma em Franca – SP. Dentre estas fábricas, encontram-se duas de grande porte, com produção mensal média de 8.000 m² de laje pré-fabricada, quatro de médio porte, com produção mensal média de 5.000 m² de laje pré-fabricada, e quatro de pequeno porte, com produção mensal média de 2.000 m² de laje. São apresentadas a seguir as parcelas que constituem a Função Custo proposta neste trabalho.

- função do Processo Produtivo: representa todo o processo de fabricação da vigota. Essa função é de grande interesse aos fabricantes de vigotas treliçadas. Compreendem-se aqui, por exemplo, os custos com o material de enchimento e com os coxinhos;
- função de Transporte: descreve o transporte das vigotas, do material de enchimento e dos coxinhos da fábrica até o local da obra;
- função de Montagem e Concretagem da laje pré-fabricada: descreve o custo da montagem das vigotas treliçadas, bem como de todos os outros custos envolvidos até a concretagem final. Nesta etapa as construtoras, clientes e compradores, de um modo geral, podem ter seus custos discretizados passo a passo.

4.2. FUNÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

As composições de custos totais de um produto são feitas basicamente em duas etapas. Na primeira etapa contabilizam-se os custos de produção, tais como matéria-prima e mão-de-obra direta e na segunda contabilizam-se os custos administrativos, como observado mais adiante no item 4.2.2. Ao final desta contabilização somam-se ainda os custos com o material de enchimento e com os coxinhos.

4.2.1. Obtenção dos Custos de Produção de uma Vigota Pré-Fabricada

Os custos de produção descritos a seguir referem-se àqueles provenientes da fabricação das vigotas treliçadas. Essa função compreende as variáveis quantitativas, os preços variáveis dos insumos, bem como algumas variáveis auxiliares.

4.2.1.1. Variáveis Quantitativas (Q_i)

As variáveis definidas a seguir representam os quantitativos dos insumos da produção das vigotas treliçadas.

- Q_1 = quantidade de cimento (kg/m de vigota);
- Q_2 = quantidade de areia (m^3/m de vigota);
- Q_3 = quantidade de brita (m^3/m de vigota);
- Q_4 = quantidade de aditivo (ℓ/m de vigota);
- Q_5 = quantidade de desmoldante (ℓ/m de vigota);
- Q_6 = número de pedreiros trabalhando;
- Q_7 = número de ferreiros trabalhando;
- Q_8 = número de barras adicionais obtidas no dimensionamento;
- Q_9 = número de “estribos de ponta” por m;
- Q_{10} = número de horas de um pedreiro e/ou ferreiro produzindo um metro linear;
- Q_{11} = quantidade de vigotas treliçadas (m);
- Q_{12} = quantidade de material de enchimento utilizado;
- Q_{13} = quantidade de coxinhos.

4.2.1.2. Preços Variáveis dos Insumos (P_i)

Cada insumo discriminado no item anterior está relacionado com seu respectivo preço de mercado. Esses preços variáveis dos insumos são apresentados a seguir:

- P_1 = preço do saco de 50 kg de cimento ou a granel (R\$);
- P_2 = preço da areia (R\$/m³);
- P_3 = preço da brita (R\$/m³);
- P_4 = preço do aditivo (R\$/ℓ);
- P_5 = preço do desmoldante (R\$/ℓ);
- P_6 = preço da hora trabalhada de pedreiro (R\$/h);
- P_7 = preço da hora trabalhada de ferreiro (R\$/h);
- P_8 = preço da treliça metálica (R\$/kg);
- P_9 = preço da armadura adicional (R\$/kg);
- P_{10} = preço do material de enchimento utilizado (R\$);
- P_{11} = preço dos coxinhos (R\$).

4.2.1.3. Variáveis Auxiliares

Com o intuito de melhor descrever a composição dos custos, fez-se necessário a criação de algumas variáveis auxiliares, conforme segue:

- P_{ls} = percentual de Leis Sociais (%);
- P_{tm} = peso por metro da treliça metálica (kg/m);
- P_{ad} = peso por metro da armadura adicional utilizada (kg/m);
- P_{ep} = peso por metro do “estribo de ponta” Ø 4,2 mm Aço CA 60 (kg/m);
- BDI = benefício de despesas indiretas (de 10 à 30%);
- a_1 = parcela representativa da quantidade de cimento no traço especificado;
- a_2 = parcela representativa da quantidade de areia no traço especificado;
- a_3 = parcela representativa da quantidade de brita no traço especificado.

Ex: Traço (em volume) utilizado $a_1 : a_2 : a_3$

- $Cons$ = consumo de cimento (kg/m³);

- b_v = largura da base da vigota (cm);
- h_v = altura da base da vigota (cm);
- ℓ_y = maior dimensão da laje (cm);
- ℓ_x = menor dimensão da laje (cm);
- i_x = intereixo ao longo de ℓ_x (cm);
- i_y = intereixo ao longo de ℓ_y (cm);
- Q_l = quantidade de material de enchimento entre coxinhos;
- int = parte inteira de um número qualquer;

Não foi considerado o volume de ar incorporado, o volume de água e o volume de aditivo, na especificação do traço apresentado (volume aproximado de 1m³).

4.2.1.4. Determinação dos Valores dos Quantitativos e dos Insumos

As expressões para o cálculo dos quantitativos e custos para os insumos da vigota treliçada e da laje são apresentadas nas Tabelas 4.1 e 4.2, respectivamente.

Tabela 4.1 - Cálculo dos quantitativos e dos custos da vigota treliçada.

DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS – VIGOTA			
	CUSTO DOS INSUMOS (R\$/m)	QUANTITATIVOS	UNIDADES DOS QUANTITATIVOS
Cimento	$C_1 = \left(\frac{Q_1 \cdot P_1}{50} \right)$	$Q_1 = \frac{(a_1 \cdot Cons) \cdot b_v \cdot h_v}{10^4}$	kg/m
Areia	$C_2 = (Q_2 \cdot P_2)$	$Q_2 = \left(\frac{a_2 \cdot Cons}{50 \cdot 10^7} \right) \cdot b_v \cdot h_v$	m ³ /m
Brita	$C_3 = (Q_3 \cdot P_3)$	$Q_3 = \left(\frac{a_3 \cdot Cons}{50 \cdot 10^7} \right) \cdot b_v \cdot h_v$	m ³ /m
Aditivo	$C_4 = (Q_4 \cdot P_4)$	Q_4 = Entrada de dados	ℓ/m
Desmoldante	$C_5 = (Q_5 \cdot P_5)$	Q_5 = Entrada de dados	ℓ/m
Mão-de-obra pedreiro	$C_6 = (Q_6 \cdot P_6 \cdot Q_{10}) \cdot \left(1 + \frac{P_{ls}}{100} \right)$	$Q_{6/10}$ = Entrada de dados	unidades / h/m
Mão-de-obra ferreiro	$C_7 = (Q_7 \cdot P_7 \cdot Q_{10}) \cdot \left(1 + \frac{P_{ls}}{100} \right)$	$Q_{7/10}$ = Entrada de dados	unidades / h/m
Treliça metálica	$C_8 = P_{tm} \cdot P_8$	-	-
Armadura adicional	$C_9 = Q_8 \cdot P_{ad} \cdot P_9$	Q_8 = Entrada de dados	unidades
Estribo de ponta	$C_{10} = \left[Q_9 \cdot 2 \cdot \left(\frac{b_v + h_v}{100} \right) \cdot P_{ep} \cdot P_9 \right]$	Q_9 = Entrada de dados	unidades

Tabela 4.2 - Cálculo dos quantitativos e dos custos da laje.

DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS – LAJE PRÉ-FABRICADA			
	CUSTOS DOS INSUMOS (R\$/m ²)	QUANTITATIVOS	UNIDADES
Vigotas treliçadas	$C_{11} = \left(\frac{Q_{11} \cdot \sum_{i=1}^{10} C_i \cdot 10^2}{\ell_x \cdot \ell_y} \right)$	$Q_{11} = \left[\text{int} \left(\frac{\ell_y - b_v}{i_y} + 1 \right) \right] \cdot \ell_x$	m
Material de enchimento	$C_{12} = \left(\frac{Q_{12} \cdot P_{10} \cdot 10^4}{\ell_x \cdot \ell_y} \right)$	$Q_{12} = \left(\text{int} \left(\frac{\ell_x}{i_x} \right) \cdot Q_l \right) + \text{int} \left(\frac{\left(\left(\frac{\ell_x}{i_x} \right) - \text{int} \left(\frac{\ell_x}{i_x} \right) \right) \cdot i_x}{c} \right) \cdot \text{int} \left(\frac{\ell_y}{i_y} \right)$	peça
Coxinhos	$C_{13} = \left(\frac{Q_{13} \cdot P_{11} \cdot 10^4}{\ell_x \cdot \ell_y} \right)$	$Q_{13} = \text{int} \left(\frac{\ell_y}{i_y} \right) \cdot \text{int} \left(\frac{\ell_x}{i_x} \right)$	peça

Os dados referentes ao percentual de aditivo utilizado por metro linear de vigota (Q_4), variam de fabricante para fabricante. Torna-se necessário que a quantidade de aditivo seja especificada pelo fabricante e que o mesmo acompanhe essas especificações por meios estatísticos, obtendo-se um controle da variação desses valores.

Em relação aos dados referentes ao percentual de desmoldante aplicado por metro linear de vigota (Q_5), deve-se adotar o valor recomendado por cada fabricante. No caso de se utilizar um desmoldante próprio, tal como óleo diesel e vela de sete dias ou ainda os outros dois tipos especificados no Capítulo 3, deve-se contabilizar a quantia gasta nesta composição.

O fabricante de vigotas treliçadas, por meio de dados estatísticos de sua própria empresa, observa quanto tempo será gasto para produzir um metro linear de vigota. A esse dado estatístico atribui-se o valor da variável “ Q_{10} ”. Medindo-se esse dado mensal ou semanalmente tem-se uma estimativa do tempo gasto com a produção das vigotas. Na composição dos insumos deve-se lembrar da incisão dos encargos sociais (P_{1s}).

Os fabricantes fornecem as treliças metálicas com comprimento padrão geralmente de 8, 10 e 12 metros.

O engenheiro responsável pelo cálculo estrutural das lajes pré-fabricadas deve fornecer tanto a quantidade de armadura adicional (Q_8) necessária quanto seus diâmetros e comprimentos. Para obter o peso dos fios e barras recomenda-se consultar a NBR 7480 (1996), para especificar as massas para cada diâmetro, dos fios e das barras (Tabela 4.3). De posse da Tabela 4.3 retira-se o valor da variável auxiliar (P_{ad}).

Tabela 4.3 - Características de fios e barras – NBR 7480 (1996).

Diâmetro nominal (mm)		Massa e tolerância por unidade de comprimento (kg/m)					Valores nominais	
Fios	Barras	Massa mínima -10%	Massa mínima -6%	Massa nominal	Massa máxima +6%	Massa máxima +10%	Área da seção (mm ²)	Perímetro (mm)
2,40	-	-	0,034	0,036	0,038	-	4,5	7,5
3,40	-	-	0,067	0,071	0,075	-	9,1	10,7
3,80	-	-	0,084	0,089	0,094	-	11,3	11,9
4,20	-	-	0,102	0,109	0,115	-	13,9	13,2
4,60	-	-	0,123	0,130	0,137	-	16,6	14,5
5,00	5,00	0,139	0,145	0,154	0,163	0,169	19,6	17,5
5,50	-	-	0,175	0,187	0,198	-	23,8	17,3
6,00	-	-	0,209	0,222	0,235	-	28,3	18,8
-	6,30	0,220	0,230	0,245	0,259	0,269	31,2	19,8
6,40	-	-	0,238	0,253	0,268	-	32,2	20,1
7,00	-	-	0,284	0,302	0,320	-	38,5	22
8,00	8,00	0,355	0,371	0,395	0,418	0,434	50,3	25,1
9,50	-	-	0,523	0,558	0,589	-	70,9	29,8
10,00	10,00	-	0,580	0,617	0,654	-	78,5	31,4
-	12,50	-	0,906	0,963	1,021	-	122,7	39,3
-	16,00	-	1,484	1,578	1,673	-	201,1	50,3
-	20,00	-	2,318	2,644	2,614	-	314,2	62,8
-	22,00	-	2,805	2,984	3,163	-	380,1	69,1
-	25,00	-	3,622	3,853	4,084	-	490,9	78,5
-	32,00	-	5,935	6,313	6,682	-	804,2	100,5
-	40,00	-	9,273	9,865	10,456	-	1256,6	125,7

Cada fabricante deve prever a necessidade e a quantidade de “estribos de ponta” (Q_9) que se utiliza por metro linear de vigota fabricada. Observa-se que o preço variável do insumo (P_9) pode ser utilizado como preço de armadura do “estribo de ponta”.

Os custos com a cura e a desforma feitos pela mão-de-obra de pedreiro estão contabilizados nos custos do mesmo.

As dimensões padronizadas pela NBR 14859-1 (2002) dos elementos de enchimento são fornecidas na Tabela 4.4 a seguir.

Tabela 4.4 - Dimensões padronizadas dos elementos de enchimento da NBR 14859-1(2002).

Tabela 5 da NBR 14859-1(2002)		
Altura (h_e) nominal (cm)		7,0 (mínima); 8,0; 9,5; 11,5; 15,5; 19,5; 23,5; 28,5
Largura (b_e) nominal (cm)		25,0 (mínima); 30,0; 32,0; 37,0; 39,0; 40,0; 47,0; 50,0
Comprimento (c) nominal (cm)		20,0 (mínimo); 25,0
Abas de encaixe	(a_v) (cm)	3,0
	(a_h) (cm)	1,5

A Figura 4.1 apresenta o material de enchimento, com suas respectivas dimensões, conforme especificações da NBR 14859-1 (2002).

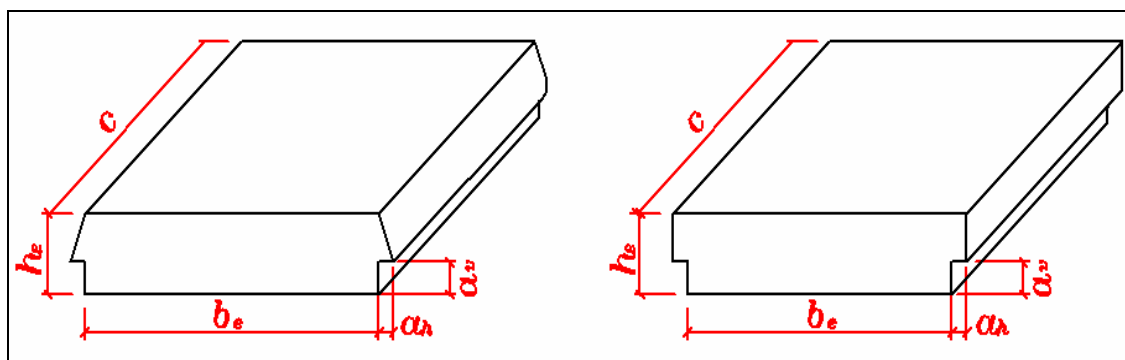


Figura 4.1 - Elementos de enchimento da NBR 14859-1(2002).

onde:

- h_e é a altura do elemento de enchimento;
- b_e é a largura do elemento de enchimento;
- c é o comprimento do elemento de enchimento;
- a_v é o encaixe vertical;
- a_h é o encaixe horizontal.

O custo para efetuar o armazenamento dos materiais de enchimento e das vigotas já está embutido nos custos com a mão-de-obra de pedreiro, pois estes mesmos funcionários são os responsáveis por esta etapa.

4.2.2. Classificação e Forma de Composição dos Custos Administrativos

As classificações dos custos administrativos são necessárias para determinar o método mais adequado para acumulação e alocação dos dados destes custos. Portanto, a natureza das relações entre o custo, volume e lucro podem ser descritos como seguem:

A - Quanto ao volume de produção

A-1) *CUSTOS FIXOS*: Entende-se por custos fixos os que se mantêm inalterados, dentro de um certo limite, independentemente das variações do volume de produção. Por exemplo: depreciação, mão-de-obra indireta, seguros, salários, etc.

A-2) *CUSTOS VARIÁVEIS*: Já os custos variáveis, são os que variam nas mesmas proporções das variações ocorridas no volume de produção ou outra medida de atividade. Por exemplo: energia elétrica, água, combustíveis industriais, etc.

A-3) *CUSTOS SEMI-FIXOS*: São custos que permanecem fixos dentro de um dado intervalo. Variando o intervalo, os custos variam, mas não de forma proporcional à produção. Por exemplo: supervisão de serviços.

A Figura 4.2 ilustra estas classificações de custos em função da variação do volume de produção.

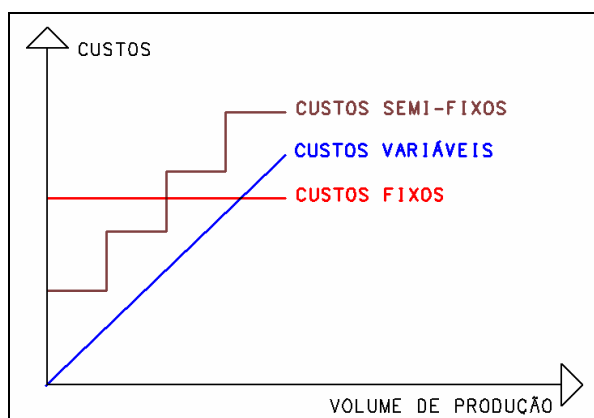


Figura 4.2 - Variação dos custos em função da variação do volume de produção.

B - Quanto à forma de apropriação nos produtos

B-1) *CUSTOS DIRETOS*: São aqueles identificados nos produtos. Não há a necessidade de se usar o rateio para sua distribuição por produto ou departamentos. Por exemplo: matéria-prima, mão-de-obra direta, etc.

B-2) *CUSTOS INDIRETOS*: São aqueles não identificados nos produtos. Há então a necessidade de se usar o rateio para sua distribuição por produto ou departamentos. Por exemplo: depreciação, seguros, combustíveis, manutenção, etc.

Faz-se a adoção de uma ou outra forma de classificação, para a contabilização dos custos administrativos, de acordo com a conveniência do fabricante. A composição dos custos administrativos é feita também por meio de uma planilha que aloca todos os itens representativos dos custos de cada fábrica.

A Tabela 4.5 representa os custos administrativos mensais e apresenta-se como uma sugestão de alocação destes itens, fazendo-se necessário que cada fabricante remonte-a da melhor forma a se adequar aos custos de sua fábrica.

Essa planilha permite a obtenção dos custos administrativos mensais e/ou anuais, somando-se os resultados de cada mês. Essa informação é importante, pois com base nela extraem-se os valores utilizados no ano seguinte.

Os custos administrativos são determinados de forma estatística, sempre com referência ao mês / ano anterior. Quantifica-se a produção mensal / anual em m² e os custos administrativos em R\$/m², retirando-se o valor destes custos para cada m² de laje produzida. Com esta relação extraída mensalmente, obtém-se um maior controle e um reajuste mais realista.

Constata-se que o item referente a manutenção de máquinas e equipamentos, citado na Tabela 4.5, segundo Castilho (2003), varia de 3 a 3,5% dos custos totais finais de execução da laje, ao se utilizar vigotas protendidas.

Tabela 4.5 - Planilha de coleta e controle de custos administrativos mensais/anuais.

PLANILHA DE COLETA E CONTROLE DE CUSTOS ADMINISTRATIVOS MENSAIS/ANUAIS													
EMPRESA / MÊS	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	TOTAIS
RELAÇÃO DE CUSTOS ADMINISTRATIVOS	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
SALARIOS DEPTO. A													
ENCARGOS DEPTO. A													
SALÁRIOS DEPTO. B													
ENCARGOS DEPTO. B													
PRÓ-LABORE													
ENCARGOS SOBRE PRÓ-LABORE													
PLANOS DE SAÚDE													
ALUGUEI IMÓVEL													
IPTU													
ÁGUA													
CONDOMÍNIO													
LUZ													
TELEFONE													
CONTADOR													
MATERIAIS DE LIMPEZA													
MATERIAIS DE ESCRITÓRIO													
PROPAGANDA													
MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS													
ENTIDADES DE CLASSE													
VALE TRANSPORTE													
DESPESAS BANCÁRIAS													
DESPESAS MÉDICAS													
SEGUROS													
OUTROS													
TOTAIS													
PRODUÇÃO DE LAJE (m²)													
CUSTOS ADMINISTRATIVOS (R\$/m²)													

Define-se, portanto os custos administrativos (C_a) por metro quadrado pela Equação 4.1.

$$C_a = \frac{T}{PL} \quad (4.1)$$

onde:

- C_a = custos administrativos no referido período (R\$/m²);
- T = total dos custos administrativos somados (mensal ou anual) (R\$);
- PL = produção de laje em metros quadrados no referido período (m²).

Ao final desta composição cada fabricante determina os percentuais despendidos com impostos, comissão e lucro que deseja obter em porcentagem, caracterizando assim a variável BDI.

Portanto: $BDI = \sum$ das porcentagens de impostos, comissão e lucro.

4.2.3. Obtenção da Função Custo do Processo Produtivo

Somando-se os itens referentes aos custos descritos nas tabelas anteriores, obtém-se a Equação 4.2, representativa do Processo Produtivo.

$$F(\text{Processo Produtivo}) = (C_{11} + C_{12} + C_{13} + C_a) \cdot \left(1 - \frac{BDI}{100}\right)^{-1} \quad (4.2)$$

Descreve-se na Equação 4.3, a função do Processo Produtivo de forma detalhada.

$$F(\text{Processo Produtivo}) = \left[\left(\frac{Q_{11} \cdot \sum_{i=1}^{10} C_i \cdot 10^2}{\ell_x \cdot \ell_y} \right) + \left(\frac{Q_{12} \cdot P_{10} \cdot 10^4}{\ell_x \cdot \ell_y} \right) + \left(\frac{Q_{13} \cdot P_{11} \cdot 10^4}{\ell_x \cdot \ell_y} \right) + \left(\frac{T}{PL} \right) \right] \cdot \left(1 - \frac{BDI}{100}\right)^{-1} \quad (4.3)$$

onde:

- Q_{11} = quantidade de vigotas treliçadas (m);
- Q_{12} = quantidade de material de enchimento utilizado;
- Q_{13} = quantidade de coxinhos;
- P_{10} = preço do material de enchimento utilizado (R\$);
- P_{11} = preço dos coxinhos (R\$);

- ℓ_y = maior dimensão da laje (cm);
- ℓ_x = menor dimensão da laje (cm);
- BDI = benefício de despesas indiretas (de 10% a 30%);
- T = total dos custos administrativos somados (mensal ou anual);
- PL = produção de laje em metros quadrados no referido período.

Sendo do interesse de algum fabricante que se acrescente alguma variável que componha o seu custo, basta ao final desta função de produção somar este valor em R\$/m². A Figura 4.3 mostra o processo de elaboração da função custo.

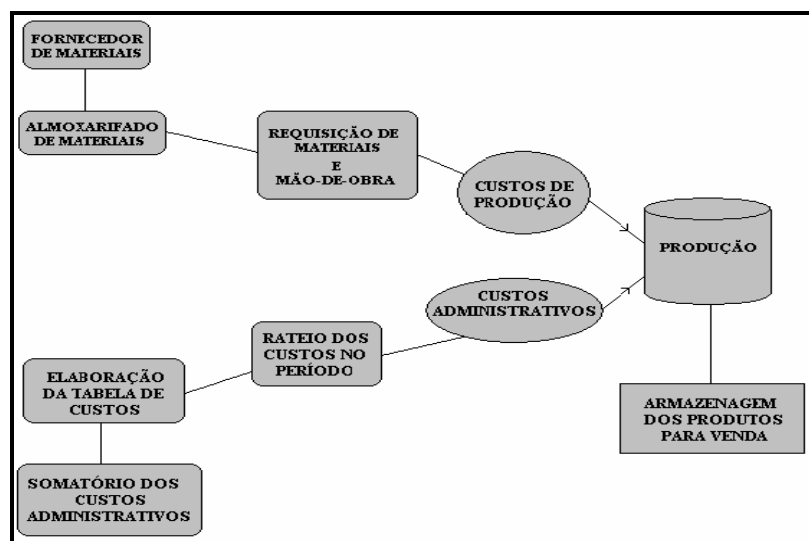


Figura 4.3 - Fluxograma da composição de custos do processo produtivo.

4.3. FUNÇÃO DE TRANSPORTE

O custo com o transporte das vigotas da fábrica até o local da obra é um grande medidor de viabilidade. Em certas ocasiões, a distância é o fator limitador dos custos.

a) Determinação dos Custos de Transporte por Frete

Nesta modalidade, faz-se o transporte mediante a cobrança de uma taxa única, por viagem, independentemente da distância percorrida, sendo geralmente feita por um serviço terceirizado que já considera os custos com carga e descarga das peças. Utiliza-se o

transporte por frete para pequenas distâncias, com fábricas situadas dentro de um mesmo município.

Para tal, compreendem-se as seguintes variáveis:

- Q_v = quantidade de viagens necessárias para o transporte;
- P_{12} = preço do frete (R\$);
- T_t = total a transportar (m^2);
- C_{carga} = capacidade de carga do veículo transportador (m^2);
- int_a = inteiro imediatamente acima de um número qualquer.

A composição de custos relativos ao transporte por frete, expresso em R\$ por metro quadrado (C_{14}), é dada pela Equação (4.4) e (4.5).

$$C_{14} = \left(\frac{Q_v \cdot P_{12}}{T_t} \right) \quad (4.4)$$

onde:

$$Q_v = int_a \left(\frac{T_t}{C_{carga}} \right) \quad (4.5)$$

b) Determinação dos Custos de Transporte por Quilômetro Rodado

Nesta modalidade, faz-se o transporte em função da quilometragem. Utiliza-se o transporte por quilômetro rodado para viagens intermunicipais, com distâncias maiores. No custo do quilômetro rodado, já são considerados os custos com carga e descarga das peças. Para tal, compreendem-se as seguintes variáveis:

- Q_v = quantidade de viagens necessárias para o transporte;
- P_{13} = preço do quilômetro rodado (R\$);
- Q_r = quilômetros rodados (km);
- T_t = total a transportar (m^2);
- C_{carga} = capacidade de carga do veículo transportador (m^2);
- int_a = inteiro imediatamente acima de um número qualquer.

A composição de custos relativos ao transporte por quilômetro rodado, expresso em R\$ por metro quadrado (C_{15}) é dada pela Equação (4.6) e (4.7).

$$C_{15} = \left(\frac{Q_v \cdot P_{13} \cdot Q_r}{T_t} \right) \quad (4.6)$$

Onde:

$$Q_v = \text{int}_a \left(\frac{T_t}{C_{\text{carga}} a} \right) \quad (4.7)$$

Castilho (2003) utiliza uma expressão para o cálculo do transporte externo, considerando o custo de 0,52 R\$/m³.km.

4.3.1. Obtenção da Função de Transporte da Vigota Pré-Fabricada

Em relação ao transporte têm-se duas funções, uma descrevendo o transporte por frete (F₁) e a outra descrevendo o transporte por quilômetro rodado (F₂). As funções custo de transporte por frete e por quilômetro rodado apresentam-se nas Equações (4.8) e (4.9). O procedimento do transporte pode ser visualizado na Figura 4.4.

$$F_1(\text{Custo de transporte por frete}) = C_{14} = \left(\frac{Q_v \cdot P_{12}}{T_t} \right) \quad (4.8)$$

$$F_2(\text{Custo de transporte por quilômetro rodado}) = C_{15} = \left(\frac{Q_v \cdot P_{13} \cdot Q_r}{T_t} \right) \quad (4.9)$$

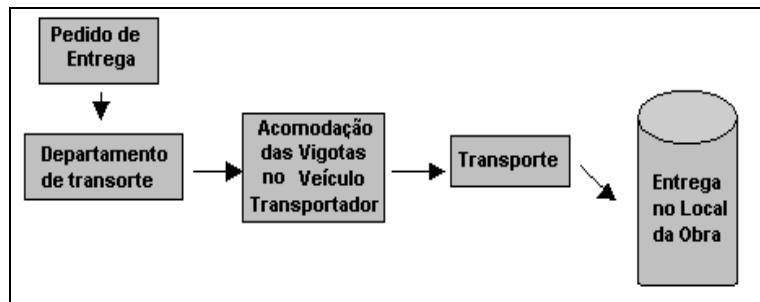


Figura 4.4 - Fluxograma da composição de custos do processo de Transporte.

4.4. FUNÇÃO DE MONTAGEM E CONCRETAGEM DA LAJE

Neste item estão desenvolvidas as composições para a montagem e a concretagem da laje formada por vigotas pré-moldadas.

4.4.1. Obtenção dos Custos de Montagem e Concretagem

Os custos descritos neste item referem-se àqueles relacionados com a montagem e a concretagem da laje, imediatamente após a chegada das vigotas treliçadas. Esta função que descreve o processo de execução está relacionada às variáveis quantitativas dos insumos e variáveis auxiliares identificadas a seguir.

4.4.1.1. Variáveis Quantitativas (Q_i)

As variáveis quantitativas consideradas no trabalho são:

- Q_{14} = número de ferreiros trabalhando;
- Q_{15} = quantidade de armadura transversal obtida no dimensionamento da laje (kg);
- Q_{16} = quantidade de armadura longitudinal obtida no dimensionamento da laje (kg);
- Q_{17} = quantidade de armadura de distribuição (kg/m²);
- Q_{18} = quantidade de concreto bombeado (m³);
- Q_{19} = número de pedreiros trabalhando;
- Q_{20} = número de horas de ferreiro produzindo um metro quadrado.
- Q_{21} = número de horas de pedreiro produzindo um metro quadrado.

4.4.1.2. Preços Variáveis dos Insumos (P_i)

As variáveis designadas para representar os preços dos insumos são:

- P_{14} = preço do escoramento (R\$/m²);
- P_{15} = preço da hora trabalhada de ferreiro (R\$/h);
- P_{16} = preço da armadura transversal (R\$/kg);
- P_{17} = preço da armadura longitudinal (R\$/kg);
- P_{18} = preço da armadura de distribuição (R\$/kg);

- P_{19} = preço do concreto bombeado (R\$/m³);
- P_{20} = preço da hora trabalhada de pedreiro (R\$/h).

4.4.1.3. Variáveis Auxiliares

Para melhor formular esta composição consideram-se algumas variáveis adicionais, tais como:

- H_l = altura total da laje;
- b_c = largura do coxinho (cm);
- h_c = altura do coxinho (cm);
- e_{c1} = espessura das paredes laterais do coxinho; (Figura 4.5)
- e_{c2} = espessura da base do coxinho; (Figura 4.5)
- b_v = largura da base da vigota (cm);
- h_v = altura da base da vigota (cm);
- c = comprimento do material de enchimento (cm);
- b_e = largura do material de enchimento = Comprimento do coxinho (cm);
- h_e = altura do material de enchimento (cm);
- int_a = inteiro imediatamente acima de um número qualquer.

A Figura 4.5 mostra as variáveis relacionadas às dimensões dos coxinhos.

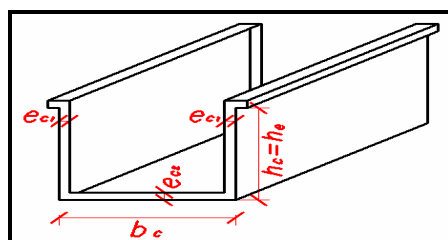


Figura 4.5 - Variáveis relacionadas às dimensões dos coxinhos.

4.4.1.4. Determinação dos Quantitativos e dos Insumos

As expressões dos quantitativos e dos custos são apresentadas na Tabela 4.6. Da mesma forma como considerada anteriormente, na composição de custos da parcela referente à mão-de-obra de ferreiro para a montagem e concretagem da laje (C_{17}), considera-se que os dados de produção da mão-de-obra no canteiro devam ser adotados por cada construtor ou engenheiro de obras. Por meio de dados estatísticos da empresa os engenheiros

determinam quanto tempo é gasto para a produção de 1 m² de laje. A esse dado estatístico atribuí-se o valor da variável “ Q_{20} ”.

Tabela 4.6 - Valores dos quantitativos e dos custos para a montagem e concretagem da laje.

DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS			
	INSUMOS (R\$/m ²)	QUANTITATIVOS	UNIDADES DOS QUANTITATIVOS
Escoramento	$C_{16} = P_{14}$	-	-
Mão-de-obra ferreiro	$C_{17} = (Q_{14} \cdot P_{15} \cdot Q_{20})$	$Q_{14/20} =$ Entrada de dados	unidades / h/m ²
Armadura transversal	$C_{18} = \left(\frac{Q_{15} \cdot P_{16} \cdot 10^4}{\ell_x \cdot \ell_y} \right)$	$Q_{15} =$ Entrada de dados	kg
Armadura longitudinal	$C_{19} = \left(\frac{Q_{16} \cdot P_{17} \cdot 10^4}{\ell_x \cdot \ell_y} \right)$	$Q_{16} =$ Entrada de dados	kg
Armadura de distribuição	$C_{20} = (Q_{17} \cdot P_{18})$	$Q_{17} =$ Entrada de dados	kg / m ²
Concreto	$C_{21} = \left(\frac{Q_{18} \cdot P_{19} \cdot 10^4}{\ell_x \cdot \ell_y} \right)$	(*)	m ³
Mão-de-obra pedreiro	$C_{22} = (Q_{19} \cdot P_{20} \cdot Q_{21})$	$Q_{19/21} =$ Entrada de dados	unidades / h/m ²
(*) $Q_{18} = \left\{ (\ell_x \cdot \ell_y \cdot H_\ell) - (Q_{11} \cdot b_v \cdot h_v) - (Q_{12} \cdot h_e \cdot b_e \cdot c) - [Q_{13} \cdot (b_c \cdot e_{c2} \cdot b_e + 2 \cdot (h_c - e_{c2}) \cdot e_{c1} \cdot b_e)] \right\} \cdot 10^{-6}$			

A NBR 14859-1 (2002), preconiza no item 5.6 que: “Deve haver uma armadura de distribuição descrita em 3.1.3c, colocada na capa do concreto complementar, com seção de no mínimo 0,9 cm²/m para aços CA 25 e de 0,6 cm²/m para os aços CA 50 e CA 60, contendo pelo menos três barras por metro, conforme o descrito na Tabela 9 apresentada nesta norma”. A Tabela 4.7 apresenta o exposto na Tabela 9 da NBR 14859-1(2002).

Tabela 4.7 - Área mínima e quantidade de armadura de distribuição preconizada na NBR 14859-1(2002).

ÁREA MÍNIMA E QUANTIDADE DE ARMADURA DE DISTRIBUIÇÃO			
Aço	Área mínima	Número de barras/m	
		5,0 mm	6,3 mm
CA 25	0,9 cm ² /m	5	3
CA 50, CA 60 e tela soldada	0,6 cm ² /m	3	3

Na parcela referente à mão-de-obra de pedreiro (C_{22}), atribuí-se ao dado estatístico, referente a quantidade de hora necessária, o valor da variável “ Q_{21} ”.

4.4.1.5. Obtenção da Função Custo do Processo de Montagem e Concretagem das Lajes Pré-Fabricadas

Somando-se os itens referentes aos custos de montagem e concretagem, obtém-se a seguinte função de montagem e concretagem:

$$F(\text{custo de montagem e concretagem}) = C_{16} + C_{17} + C_{18} + C_{19} + C_{20} + C_{21} + C_{22} \quad (4.10)$$

Descreve-se na Equação 4.11 a função do Processo de Montagem e concretagem de forma detalhada.

$$F(\text{custo de montagem e concretagem}) = P_{14} + (Q_{14} \cdot P_{15} \cdot Q_{20}) + \left(\frac{Q_{15} \cdot P_{16} \cdot 10^4}{\ell_x \cdot \ell_y} \right) + \left(\frac{Q_{16} \cdot P_{17} \cdot 10^4}{\ell_x \cdot \ell_y} \right) + (Q_{17} \cdot P_{18}) + \left(\frac{Q_{18} \cdot P_{19} \cdot 10^4}{\ell_x \cdot \ell_y} \right) + (Q_{19} \cdot P_{20} \cdot Q_{21}) \quad (4.11)$$

Na Figura 4.6 pode-se visualizar o processo de elaboração da função custo do processo de Montagem e Concretagem.

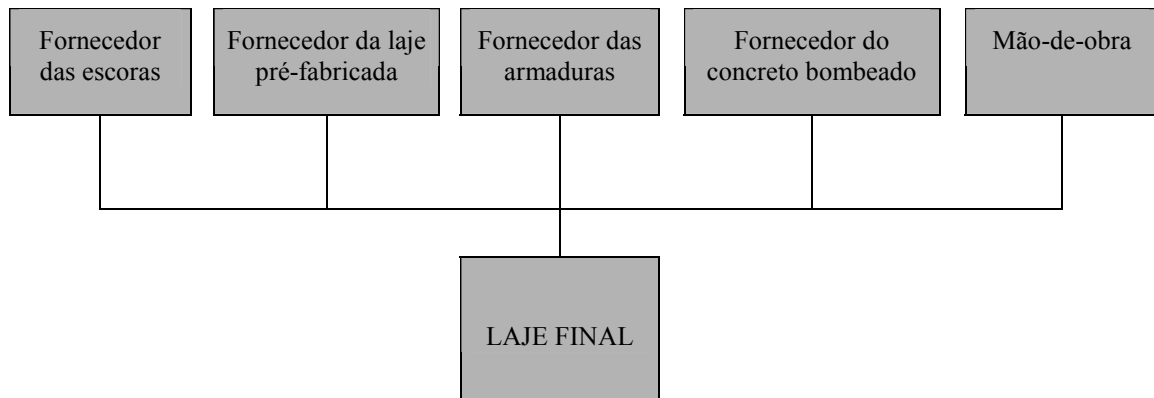


Figura 4.6 - Fluxograma da composição de custos do processo de Montagem e Concretagem.

4.5. A FUNÇÃO CUSTO

Após determinar as três funções individualmente, ou seja, a função de Produção, a função de Transporte (no qual fez-se a opção pela composição referente à composição por frete) e a função de Montagem e Concretagem, estas se agrupam em uma única função chamada de Função Custo (Equação 4.12).

$$\begin{aligned}
F(\text{Função Custo}) = & \left[\left(\frac{Q_1 \cdot \sum_{i=1}^{10} C_i \cdot 10^2}{\ell_x \cdot \ell_y} \right) + \left(\frac{Q_{12} \cdot P_{10} \cdot 10^4}{\ell_x \cdot \ell_y} \right) + \left(\frac{Q_{13} \cdot P_{11} \cdot 10^4}{\ell_x \cdot \ell_y} \right) + \left(\frac{T}{PL} \right) \right] \cdot \left(1 - \frac{BDI}{100} \right)^{-1} + \left(\frac{Q_2 \cdot P_{12}}{T_i} \right) + P_{14} + \\
& + (Q_{14} \cdot P_{15} \cdot Q_{20}) + \left(\frac{Q_{15} \cdot P_{16} \cdot 10^4}{\ell_x \cdot \ell_y} \right) + \left(\frac{Q_{16} \cdot P_{17} \cdot 10^4}{\ell_x \cdot \ell_y} \right) + (Q_{17} \cdot P_{18}) + \left(\frac{Q_{18} \cdot P_{19} \cdot 10^4}{\ell_x \cdot \ell_y} \right) + (Q_{19} \cdot P_{20} \cdot Q_{21}) \quad (4.12)
\end{aligned}$$

Lembrando que:

- Q_{11} = quantidade de vigotas treliçadas (m);
- Q_{12} = quantidade de material de enchimento utilizado;
- Q_{13} = quantidade de coxinhos;
- P_{10} = preço do material de enchimento utilizado (R\$);
- P_{11} = preço dos coxinhos (R\$);
- Q_{14} = número de ferreiros trabalhando;
- Q_{15} = quantidade de armadura transversal obtida no dimensionamento da laje (kg);
- Q_{16} = quantidade de armadura longitudinal obtida no dimensionamento da laje (kg);
- Q_{17} = quantidade de armadura de distribuição (kg/m²);
- Q_{18} = quantidade de concreto bombeado (m³);
- Q_{19} = número de pedreiros trabalhando;
- Q_{20} = número de horas de ferreiro produzindo 1m²;
- Q_{21} = número de horas de pedreiro produzindo 1m²;
- P_{14} = preço do escoramento (R\$/m²);
- P_{15} = preço da hora trabalhada de ferreiro (R\$/h);
- P_{16} = preço da armadura transversal (R\$/kg);
- P_{17} = preço da armadura longitudinal (R\$/kg);
- P_{18} = preço da armadura de distribuição (R\$/kg);
- P_{19} = preço do concreto bombeado (R\$/m³);
- P_{20} = preço da hora trabalhada de pedreiro (R\$/h).

5.1. COMPOSIÇÃO DETALHADA DOS CUSTOS DAS LAJES L101 E L102

Com o intuito de exemplificar a exposição feita até aqui, será calculado o custo final (R\$/m²) das lajes pré-moldadas L101 e L102, considerando toda a etapa de composição de custos descrita anteriormente. A carga permanente e a sobrecarga acidental consideradas para as lajes é de 1,50 kN/m². A Figura 5.1 ilustra a planta arquitetônica.

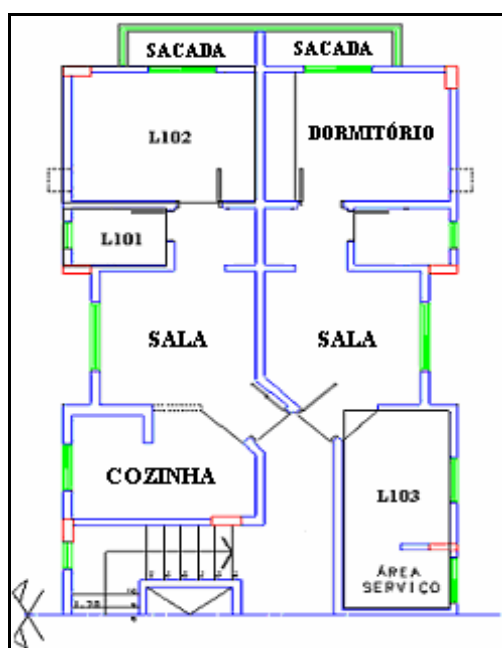


Figura 5.1 - Planta arquitetônica genérica.

Nas Figuras 5.2 e 5.3 visualizam-se as armaduras obtidas do dimensionamento das lajes L101 e L102, respectivamente. As armaduras adicionais estão representadas por N1 e N2 e o f_{ck} de projeto é de 20MPa.

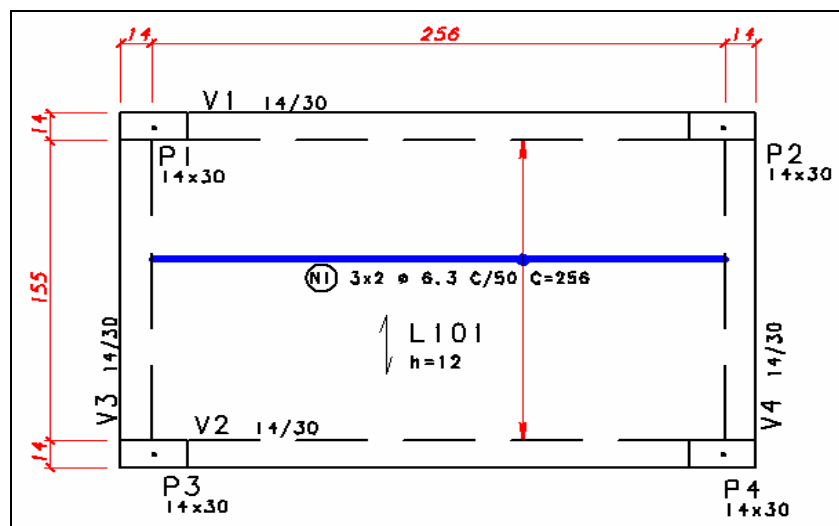


Figura 5.2 - Armaduras obtidas no dimensionamento da L101.

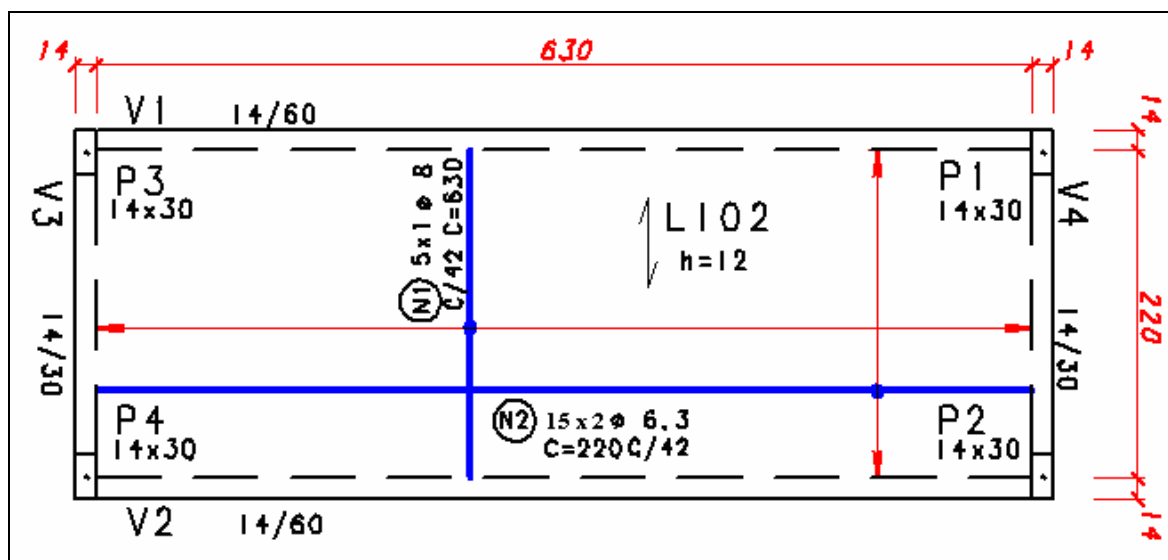


Figura 5.3 - Armaduras obtidas no dimensionamento da L102.

5.1.1. Composição de Custos da Laje L101

Estão descritas a seguir as características necessárias a cada etapa da composição dos custos, separadas em: Vigotas treliçadas e materiais, Transporte das vigotas treliçadas e materiais e Montagem e Concretagem da laje pré-fabricada.

5.1.1.1. Vigota Treliçada e Materiais

O traço utilizado é de 1:3:3 em volume, ou seja, é uma proporção de 1 saco de cimento para 108ℓ de areia e 108ℓ de brita, com um consumo de 300 kg/m³. Observa-se que ao se

utilizar o traço especificado, este apresenta um volume aproximado de 1 m³. Para efeito das composições, adotou-se, portando, com sendo 1 m³.

Os preços utilizados são os obtidos entre os meses de Julho e Setembro de 2004. O preço do cimento, areia e brita, obtidos em fábricas de vigotas, são, respectivamente, R\$ 13,00 o saco, R\$ 20,50/m³ e R\$ 18,00/m³. As dimensões da vigota treliçada são: $b_v = 12$ cm e $h_v = 3$ cm.

O aditivo e o desmoldante são encontrados no mercado, conforme especificado na Tabela 5.1. O menor custo por litro de aditivo é de R\$ 2,14/litro e de R\$ 3,30/litro para o desmoldante.

Tabela 5.1 - Preço do aditivo plastificante Viapol e do desmoldante. [REVISTA CONSTRUÇÃO E MERCADO – (2004)].

PREÇO DO ADITIVO		
Galão de 3,6 litros	R\$ 9,28	Unid.
Tambor de 200 litros	R\$ 428,00	Unid.
PREÇO DO DESMOLDANTE		
Balde de 18 litros	R\$ 83,00	Unid.
Galão de 3,6 litros	R\$ 18,00	Unid.
Tambor de 200 litros	R\$ 660,00	Unid.

O preço da treliça TG 8-L é de R\$ 2,84/kg em distribuidores especializados e o custo da hora de pedreiro e ferreiro, estimado nas fábricas de vigotas treliçadas, é de R\$ 2,65. O preço das armaduras adicionais é apresentado na Tabela 5.2.

Os quantitativos e os preços para a laje L101 são mostrados na Tabela 5.3. A Tabela 5.4 apresenta a composição para a determinação dos custos de produção da vigota.

Tabela 5.2 - Preço das armaduras adicionais.

PREÇO DAS ARMADURAS ADICIONAIS	
ϕ 12,5 mm	R\$ 2,24 / kg
ϕ 10,0 mm	R\$ 2,36 / kg
ϕ 8,00 mm	R\$ 2,64 / kg
ϕ 6,30 mm	R\$ 2,85 / kg

Tabela 5.3 - Quantitativos e preços da vigota – Laje L101.

QUANTITATIVOS E PREÇOS - VIGOTA								
VARIÁVEIS QUANTITATIVAS			PREÇOS VARIÁVEIS			VARIÁVEIS AUXILIARES		
Campo	Valor	Unidade	Campo	Valor	Unidade	Campo	Valor	Unidade
Q1	1,08	kg/m	P1	13,00	sc 50 kg	P _{ls}	95,00	%
Q2	0,0023	m³/m	P2	20,50	R\$/m³	P _{tm}	0,886	kg/m
Q3	0,0023	m³/m	P3	18,00	R\$/m³	P _{ad}	0,00	kg/m
Q4	0,05	ℓ/m	P4	2,14	R\$/ℓ	P _{ep}	0,109	kg/m
Q5	0,10	ℓ/m	P5	3,30	R\$/ℓ	a ₁	1,00	sc 50 kg
Q6	2,00	unidades	P6	2,65	R\$/h	a ₂	108,00	ℓ/sc
Q7	1,00	unidades	P7	2,65	R\$/h	a ₃	108,00	ℓ/sc
Q8	0,00	unidades	P8	2,84	R\$/kg	Cons	300,00	kg/m³
Q9	1,00	unidades	P9	2,85	R\$/kg	b _v	12,00	cm
Q10	0,012	h/m				h _v	3,00	cm

Tabela 5.4 - Composição dos insumos referente à produção da vigota – Laje L101.

DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS - VIGOTA				
Campo	Insumo	Valor	Unidade	% do total
C1	Cimento	0,28	R\$/m	7,79%
C2	Areia	0,05	R\$/m	1,33%
C3	Brita	0,04	R\$/m	1,17%
C4	Aditivo	0,11	R\$/m	2,97%
C5	Desmoldante	0,33	R\$/m	9,16%
C6	Pedreiro	0,12	R\$/m	3,44%
C7	Ferreiro	0,06	R\$/m	1,72%
C8	Treliça Metálica	2,52	R\$/m	69,84%
C9	Armadura Adicional	0,00	R\$/m	0,00%
C10	Estribo	0,09	R\$/m	2,59%
	Custo total vigota	3,60	R\$/m	100,00%

Os valores dos quantitativos e custos referentes ao material de enchimento e coxinhos estão apresentados na Tabela 5.5.

A Tabela 5.6 apresenta os índices relacionados ao BDI, bem como a contabilização dos. A partir destas informações, obtêm-se as composições de custo da laje e o preço final de venda em R\$/m², quando se incide o BDI de 24,10%, conforme descrito na Tabela 5.7.

Tabela 5.5 - Material de enchimento e coxinho – Laje L101.

MATERIAL DE ENCHIMENTO, COXINHOS E OUTROS DADOS - LAJE								
VARIÁVEIS QUANTITATIVAS			PREÇOS VARIÁVEIS			VARIÁVEIS AUXILIARES		
Campo	Valor	Unidade	Campo	Valor	Unidade	Campo	Valor	Unidade
Q11	930,00	cm	P10	0,25	R\$/peça	ℓ_y	256,00	cm
Q12	36,00	peça	P11	0,25	R\$/peça	ℓ_x	155,00	cm
Q13	18,00	peça				i_y	42,00	cm
						i_x	50,00	cm
						Q_ℓ	2,00	peça
						c	20,00	cm

Tabela 5.6 - Percentual de impostos.

BDI		
Imposto	Valor	Unidade
ICM	8,00	%
PIS	7,60	%
COFINS	1,50	%
IR	2,00	%
Comissão	0,50	%
Lucro	4,50	%
BDI	24,10	%

Enfim, podem ser determinados os valores dos itens da Planilha do Capítulo 4, tais como salários e encargos dos departamentos “A” e “B”, pró-labore e encargos, assistência médica, aluguel, luvas e IPTU, água, luz, telefone, contador, materiais de limpeza e escritório, manutenção de equipamentos, entidades, despesas bancárias, seguros e outros. Observa-se que itens tais como materiais de limpeza e escritório, propaganda, manutenção de equipamentos e outros recebem cotas fixas mensais para seus respectivos gastos.

Tabela 5.7 - Composições dos insumos da vigota - Laje L101.

DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS				
Campo	Insumo	Valor	Unidade	% do total
C11	Vigota	8,44	R\$/m ²	65,30%
C12	Mat. Enchimento	2,27	R\$/m ²	17,54%
C13	Coxinho	1,13	R\$/m ²	8,77%
Ca	Custo Adm.	1,086	R\$/m ²	8,40%
	Custo da laje	12,93	R\$/m ²	100,00%
BDI	Despesas Indiretas	24,10	%	
	Preço Venda da Laje	17,04	R\$/m ²	

Aplica-se à composição de custo da laje pré-fabricada (Tabela 5.7) os custos administrativos determinados na Tabela 5.8. Adotou-se nesta composição os valores de C_a do mês de Setembro (9º mês) .

Tabela 5.8 - Planilha de coleta e controle de custos administrativos mensais/anuais.

PLANILHA DE COLETA E CONTROLE DE CUSTOS ADMINISTRATIVOS MENSAIS/ANUAIS													
MÊS	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º	11º	12º	TOTAIS
RELAÇÃO DE CUSTOS ADMINISTRATIVOS	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
SALÁRIOS DEPTO. A	14238	14238	14238	14238	14238	14238	14238	14238	14238	14238	14238	14238	170856
ENCARGOS DEPTO. A	6514	6514	6514	6514	6514	6514	6514	6514	6514	6514	6514	6514	78168
SALÁRIOS DEPTO. B	13854	13854	13854	13854	13854	13854	13854	13854	13854	13854	13854	13854	166248
ENCARGOS DEPTO. B	6157	6157	6157	6157	6157	6157	6157	6157	6157	6157	6157	6157	73884
PRÓ-LABORE	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000	108000
ENCARGOS SOBRE PRÓ-LABORE	2565	2565	2565	2565	2565	2565	2565	2565	2565	2565	2565	2565	30780
ASSISTÊNCIA MÉDICA OU PLANO DE SAÚDE	3910	3840	3720	3568	3625	3587	3125	3412	3568	3412	4020	4020	43807
ALUGUÉL IMÓVEL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
IPTU	1532	1532	1532	1532	1532	1532	1532	1532	1532	1532	1532	1532	18384
ÁGUA	711	756	762	700	650	642	630	756	750	820	865	730	8772
CONDOMÍNIO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
LUZ	2667	2750	2820	2930	3010	2984	2847	2945	2750	2811	2641	2543	33698
TELEFONE	4583	4896	5125	4587	4678	4875	4726	4689	4560	4958	5089	4300	57066
CONTADOR	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	27600
MATERIAIS DE LIMPEZA	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	3000
MATERIAIS DE ESCRITÓRIO	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	9600
PROPAGANDA	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	6000
MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	12000
ENTIDADES DE CLASSE	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	4200
VALE TRANSPORTE	400	389	356	332	347	340	310	335	332	335	416	416	4308
DESPESAS BANCÁRIAS	4800	4700	4650	4850	4900	4700	4325	4560	4600	4800	4900	4550	51635
DESPESAS MÉDICAS	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	4680
SEGUROS	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	34560
OUTROS	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	96000
T O T A I S	87401	87661	87763	87297	87540	82758	86293	87027	86890	87466	88261	86889	1043246
PRODUÇÃO DE LAJE (m²)	87001,00	86761,00	87963,00	88297,00	88140,00	87148,00	86853,00	87397,00	86890,00	87866,00	88861,00	86489,00	1049666,00
CUSTO ADMINISTRATIVO (R\$/m²)	1,0925	1,0958	1,0970	1,0912	1,0943	1,0345	1,0787	1,0878	1,0861	1,0933	1,1033	1,0861	1,1855

5.1.1.2. Transporte das Vigotas Treliçadas e Materiais

O custo do transporte por frete das vigotas treliçadas, coxinhos e materiais cerâmicos, considerado nesta análise é de R\$ 40,00. A Tabela 5.9 apresenta o preço do frete (P_{12}), a capacidade de carga (C_{carga}), o total de carga (T_t) e, conseqüentemente, o número de viagens (Q_v). O valor da capacidade de carga é de 130 m², para o transporte de laje com 12 cm de altura. A composição dos custos está descrita na Tabela 5.10.

Tabela 5.9 - Preço do frete, total de carga, capacidade de carga e quantidades de viagens.

TRANSPORTE DAS VIGOTAS TRELIÇADAS E MATERIAIS - FRETE								
VARIÁVEIS QUANTITATIVAS			VARIÁVEIS QUANTITATIVAS			OUTRAS CONSIDERAÇÕES		
Campo	Valor(R\$)	Unidade	Campo	Valor(R\$)	Unidade	Campo	Valor(R\$)	Unidade
Q_v	1,00	viagens	P_{12}	40,00	R\$/viagem	T_t	130,00	m ²
						C_{carga}	130,00	m ² /viagem

Tabela 5.10 - Custos de transporte.

DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS DO TRANSPORTE DAS VIGOTAS TRELIÇADAS E DOS MATERIAIS			
Campo	Insumo	Valor	Unidade
C14	Transporte	0,31	R\$/m ²

5.1.1.3. Montagem e Concretagem da Laje Pré-fabricada

O preço do escoramento obtido em empresas específicas do setor é de R\$ 2,00/m² (preços obtidos em construtoras, na Revista Construção Mercado - Pini e em distribuidoras de aço e concreto). O custo da hora de mão-de-obra de pedreiro e de ferreiro é de R\$ 2,65. Neste exemplo não é utilizada armadura longitudinal. Para a armadura de distribuição utiliza-se a tela soldada nervurada Q92, cujo preço é de R\$ 3,08/kg. Foram consultadas seis empresas fornecedoras de concreto bombeado, a fim de trazer preços mais realistas para este exemplo. Apresenta-se na Tabela 5.11 a variação dos preços em função do aumento do f_{ck} . O preço médio do concreto de 20 MPa é de R\$ 132,15/m³.

Tabela 5.11 - Variação dos preços em função do aumento do f_{ck} .

TABELA DE VARIAÇÃO DOS PREÇOS DO CONCRETO (R\$)					
f_{ck}	20 MPa	25 MPa	30 MPa	35 MPa	40 MPa
Empresa-A	145,00	149,00	152,00	164,00	183,00
Empresa-B	135,14	139,20	143,26	152,28	162,40
Empresa-C	115,00	119,00	126,00	143,00	162,00
Empresa-D	130,00	134,00	145,00	158,00	179,00
Empresa-E	135,25	138,07	142,39	150,06	162,45
Empresa-F	132,50	135,60	147,84	156,09	163,47
Média das Empresas	132,15	135,81	142,75	153,91	168,72

A Tabela 5.12 apresenta os quantitativos, os preços e outros dados desta etapa. A Tabela 5.13 mostra as composições dos custos da laje L101. Com todas as composições descritas, organizam-se na Tabela 5.14 os valores de C_1 à C_{22} . A Tabela 5.15 discrimina o percentual de cada insumo.

Tabela 5.12 - Quantitativos e preços referentes à montagem e concretagem da laje L101.

QUANTITATIVOS, PREÇOS E OUTROS DADOS DE MONTAGEM E CONCRETAGEM								
VARIÁVEIS QUANTITATIVAS			PREÇOS VARIÁVEIS			VARIÁVEIS AUXILIARES		
Campo	Valor	Unidade	Campo	Valor	Unidade	Campo	Valor	Unidade
Q14	2,00	unidades	P14	2,00	R\$/m ²	H1	12,00	cm
Q15	3,89	kg/laje	P15	2,65	R\$/h	b _c	10,00	cm
Q16	0,00	kg/laje	P16	2,85	R\$/kg	h _c	8,00	cm
Q17	1,48	kg/m ²	P17	2,85	R\$/kg	ec1	1,20	cm
Q18	0,25	m ³ /laje	P18	3,08	R\$/kg	ec2	1,20	cm
Q19	10,00	unidades	P19	132,15	R\$/m ³			
Q20	0,05	h/m ²	P20	2,65	R\$/h	b _e	30,00	cm
Q21	0,16	h/m ²				h _e	8,00	cm

A quantidade de armadura transversal (Q_{15}) é obtida no dimensionamento respeitando o que preconiza a NBR 14859-1 (2002). Para a quantidade de armadura longitudinal (Q_{17}) adotou-se no dimensionamento a Tela-Gerdau Q-92 respeitando o que preconiza a NBR 14859-1 (2002).

Tabela 5.13 - Composições dos custos finais da laje L101.

DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS FINAIS				
Campo	Insumo	Valor	Unidade	% do total
	Preço-Venda da Laje	17,04	R\$/m²	42,80%
C14/15	Transporte	0,31	R\$/m²	0,77%
C16	Escoramento	2,00	R\$/m²	5,02%
C17	Ferreiro	0,27	R\$/m²	0,67%
C18	Arm. Transversal	2,92	R\$/m²	7,34%
C19	Arm. Longitudinal	0,00	R\$/m²	0,00%
C20	Arm. Distribuição	4,56	R\$/m²	11,45%
C21	Concreto	8,48	R\$/m²	21,30%
C22	Pedreiro	4,24	R\$/m²	10,65%
C Final	Custo da laje acabada	39,81	R\$/m²	100,00%

Tabela 5.14 - Custo das etapas de produção, transporte e montagem – Laje L101.

	PORCENTAGENS TOTAIS				
	Campo	Insumo	Valor	Unidade	% do total
Produção - Vigotas	C1	Cimento	0,66	R\$/m²	1,65%
	C2	Areia	0,11	R\$/m²	0,28%
	C3	Brita	0,10	R\$/m²	0,25%
	C4	Aditivo	0,25	R\$/m²	0,63%
	C5	Desmoldante	0,77	R\$/m²	1,94%
	C6	Pedreiro	0,29	R\$/m²	0,73%
	C7	Ferreiro	0,15	R\$/m²	0,37%
	C8	Treliça Metálica	5,90	R\$/m²	14,81%
	C9	Armadura	0,00	R\$/m²	0,00%
	C10	Estribo	0,22	R\$/m²	0,55%
				∑ C1 à C10	21,21%
Outros Componentes	C12	Mat. Enchimento	2,27	R\$/m²	5,70%
	C13	Coxinho	1,13	R\$/m²	2,85%
	Ca	Custo Adm.	1,09	R\$/m²	2,73%
	BDI	Desp. Indiretas	4,11	R\$/m²	10,32%
				∑ C12 à BDI	21,59%
	C14/15	Transporte	0,31	R\$/m²	0,77%
Montagem e Concretagem	C16	Escoramento	2,00	R\$/m²	5,02%
	C17	Ferreiro	0,27	R\$/m²	0,67%
	C18	Arm. Transversal	2,92	R\$/m²	7,34%
	C19	Arm. Longitudinal	0,00	R\$/m²	0,00%
	C20	Arm. Distribuição	4,56	R\$/m²	11,45%
	C21	Concreto	8,48	R\$/m²	21,30%
	C22	Pedreiro	4,24	R\$/m²	10,65%
				∑ C14/15 à C22	57,20%
	C Final	Custo da laje acabada	39,81	R\$/m²	100,00%

Tabela 5.15 - Porcentagens dos insumos – Laje L101.

PORCENTAGENS POR CATEGORIA					
Campo	Insumo	Valor	Unidade	% do total	% materiais
1-	Concreto	10,37	R\$/m ²	26,05%	73,77%
2-	Armadura	13,59	R\$/m ²	34,15%	
3-	Cerâmica	3,40	R\$/m ²	8,55%	
4-	Escoramento	2,00	R\$/m ²	5,02%	
5-	Mão-de-Obra	4,94	R\$/m ²	12,41%	12,41%
6-	Administração	5,19	R\$/m ²	13,04%	13,04%
7-	Transporte	0,31	R\$/m ²	0,77%	0,77%
	Custo laje acabada	39,81	R\$/m ²	100,00%	100,00%

5.1.2. Composição de Custos da Laje L102

Mantendo-se os mesmos preços e quantidades dos itens anteriores, faz-se a composição dos custos para a laje L101, onde novamente se alteram as dimensões (ℓ_x e ℓ_y) e, conseqüentemente, a armadura adicional da vigota pré-fabricada (Q_8) equivalente a 1ø 8 mm, o peso desta armadura (P_{ad}) e a quantidade de armadura transversal da laje (Q_{15}).

Nas Tabelas 5.16, 5.17 e 5.18 são apresentadas apenas as parcelas dos insumos que variaram em relação à laje L101.

Os quantitativos e os preços referentes à vigota estão apresentados na Tabela 5.16 e a composição de custos na Tabela 5.17. Os custos com material de enchimento e coxinho estão descritos na Tabela 5.17. As composições dos insumos da vigota estão apresentados na Tabela 5.18. Na Tabela 5.20 estão discriminados os quantitativos e preços referentes à montagem e concretagem da laje. A Tabela 5.21 apresenta os custos e seus respectivos percentuais para a laje L102.

Tabela 5.16 - Quantitativos e preços da vigota – Laje L102.

QUANTITATIVOS E PREÇOS - VIGOTA								
VARIÁVEIS QUANTITATIVAS			PREÇOS VARIÁVEIS			VARIÁVEIS AUXILIARES		
Campo	Valor	Unidade	Campo	Valor	Unidade	Campo	Valor	Unidade
Q8	1,00	unidade	P9	2,64	R\$/kg	P _{ad}	0,395	kg/m

Tabela 5.17 - Composição dos insumos referentes à produção da vigota – Laje L102.

DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS - VIGOTA				
Campo	Insumo	Valor	Unidade	% do total
C1	Cimento	0,28	R\$/m	6,05%
C2	Areia	0,05	R\$/m	1,03%
C3	Brita	0,04	R\$/m	0,91%
C4	Aditivo	0,11	R\$/m	2,31%
C5	Desmoldante	0,33	R\$/m	7,11%
C6	Pedreiro	0,12	R\$/m	2,67%
C7	Ferreiro	0,06	R\$/m	1,34%
C8	Treliça Metálica	2,52	R\$/m	54,24%
C9	Armadura Adicional	1,04	R\$/m	22,48%
C10	Estribo	0,09	R\$/m	1,86%
	Custo total vigota	4,64	R\$/m	100,00%

Tabela 5.18 - Material de enchimento, coxinhos e outros dados – Laje L102.

MATERIAL DE ENCHIMENTO, COXINHOS E OUTROS DADOS - LAJE								
VARIÁVEIS QUANTITATIVAS			PREÇOS VARIÁVEIS			VARIÁVEIS AUXILIARES		
Campo	Valor	Unidade				Campo	Valor	Unidade
Q11	3300,00	cm				ℓ_y	630,00	cm
Q12	135,00	peça				ℓ_x	220,00	cm
Q13	60,00	peça						

Tabela 5.19 - Composições dos insumos das vigotas – Laje L102.

DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS				
Campo	Insumo	Valor	Unidade	% do total
C11	Vigota	11,05	R\$/m²	70,58%
C12	Mat. Enchimento	2,44	R\$/m²	15,56%
C13	Coxinho	1,08	R\$/m²	6,92%
Ca	Custo Adm.	1,086	R\$/m²	6,94%
	Custo da laje	15,65	R\$/m²	100,00%
BDI	Despesas Indiretas	24,10	%	
	Preço Venda da Laje	20,62	R\$/m²	

Tabela 5.20 - Quantitativos e preços referentes à montagem e concretagem da laje L102.

QUANTITATIVOS, PREÇOS E OUTROS DADOS DE MONTAGEM E CONCRETAGEM					
VARIÁVEIS QUANTITATIVAS			PREÇOS VARIÁVEIS		VARIÁVEIS AUXILIARES
Campo	Valor	Unidade			
Q15	13,58	kg/laje			
Q18	0,85	m³/laje			

Tabela 5.21 - Custos das etapas de produção, transporte e montagem – Laje L102.

PORCENTAGENS TOTAIS					
	Campo	Insumo	Valor	Unidade	% do total
Produção – Vigotas	C1	Cimento	0,67	R\$/m²	1,56%
	C2	Areia	0,11	R\$/m²	0,26%
	C3	Brita	0,10	R\$/m²	0,23%
	C4	Aditivo	0,25	R\$/m²	0,59%
	C5	Desmoldante	0,79	R\$/m²	1,83%
	C6	Pedreiro	0,30	R\$/m²	0,69%
	C7	Ferreiro	0,15	R\$/m²	0,34%
	C8	Treliça Metálica	5,99	R\$/m²	13,94%
	C9	Armadura	2,48	R\$/m²	5,78%
	C10	Estribo	0,21	R\$/m²	0,48%
				$\sum$ C1 à C10	25,70%
Outros Componentes	C12	Mat. Enchimento	2,44	R\$/m²	5,67%
	C13	Coxinho	1,08	R\$/m²	2,52%
	Ca	Custo Adm.	1,09	R\$/m²	2,53%
	BDI	Desp. Indiretas	4,97	R\$/m²	11,56%
				$\sum$ C12 à BDI	22,28%
	C14/15	Transporte	0,31	R\$/m²	0,72%
Montagem e Concretagem	C16	Escoramento	2,00	R\$/m²	4,65%
	C17	Ferreiro	0,27	R\$/m²	0,62%
	C18	Arm. Transversal	2,92	R\$/m²	6,80%
	C19	Arm. Longitudinal	0,00	R\$/m²	0,00%
	C20	Arm. Distribuição	4,56	R\$/m²	10,61%
	C21	Concreto	8,06	R\$/m²	18,76%
	C22	Pedreiro	4,24	R\$/m²	9,87%
				$\sum$ C14/15 à C22	52,02%
	C Final	Custo da laje acabada	42,97	R\$/m²	100,00%

5.1.3. Comparação dos Custos das Lajes L101 e L102

A Tabela 5.22 resume os percentuais finais obtidos referentes ao material, mão-de-obra, administração e transporte para as lajes L101 e L102.

Tabela 5.22 – Percentuais e custos finais (R\$/m²) das lajes L101 e L102.

QUADRO COMPARATIVO L101 e L102		
	L101 3,97m ²	L102 13,86m ²
% Materiais	73,77	73,68
% Mão-de-obra	12,41	11,51
% Administração	13,04	14,09
% Transporte	0,77	0,72
Custos em R\$/m ²	39,81	42,97

Observa-se uma faixa de valores razoavelmente próxima para cada insumo analisado, levando-se em conta a variação da geometria (1,55 x 2,56m² e 2,20 x 6,30m²) e área das duas lajes analisadas. Serão desenvolvidas, a seguir, outras análises levando-se em conta diretrizes de projeto (cálculo de laje como uni ou bidirecional), práticas de cálculo e dimensionamento utilizadas no mercado e as verificações recomendadas pela NBR 6118 (2003).

5.2. CÁLCULO E COMPARAÇÃO DOS CUSTOS DE QUATRO GRUPOS DE LAJES

Neste item, serão analisados grupos de lajes formadas por vigotas pré-moldadas treliçadas armadas em uma e duas direções, segundo as prescrições da NBR 6118 (2003).

Algumas lajes serão calculadas armadas em uma e duas direções, uma vez que se observa a tendência do mercado de se utilizar apenas lajes armadas em uma direção, em virtude das facilidades construtivas.

5.2.1. Lajes Unidirecionais

Foram definidos quatro grupos de lajes unidirecionais, cujas alturas, cargas atuantes e variações dos vãos estão apresentadas na Tabela 5.23.

Tabela 5.23 - Alturas, cargas atuantes e variações dos vãos para os grupos de lajes.

Grupos de Lajes	Tipo de treliça	Altura (cm)	Peso-Próprio (kN/m ²)	Carga Permanente (kN/m ²)	Carga Acidental (kN/m ²)	Variação de ℓ_y (m)	Variação de ℓ_x (m)
Grupo 1	TR 08634	12	2,0	1,5	1,5	2-6	1-3
Grupo 2	TR 12645	16	2,5	1,5	2,0	2-7	2-4
Grupo 3	TR 16645	20	3,0	1,5	2,5	2-7	2-4
Grupo 4	TR 20745	25	3,7	1,5	3,0	3-7	3-5

Em cada grupo, foram feitas as alterações dos comprimentos dos vãos de tal forma que ℓ_x variasse de 1 em 1 m, até o limite da flecha calculada segundo a NBR 6118 (2003). Para ℓ_y , a variação admitida foi de 50 em 50 cm. A resistência do concreto da capa adotado é de 20 Mpa e não foi considerado o efeito da contra-flecha.

5.2.1.1. Lajes Grupo 1

Apresenta-se na Tabela 5.24, as informações necessárias para a entrada de dados da Função Custo.

Tabela 5.24 - Características do grupo 1.

CARACTERÍSTICAS DAS LAJES										
	ℓ_x (cm)	ℓ_y (cm)	P _{tm} (kg/m)	P ₈ (R\$/kg)	Q ₈	Armadura adicional	P _{ad} (kg/m)	P ₉ (R\$/kg)	Q ₁₅ (kg/Laje)	Área (m ²)
L201	100	200	0,886	2,84	-	-	-	-	1,96	2,00
L202	100	250	0,886	2,84	-	-	-	-	2,45	2,50
L203	100	300	0,886	2,84	-	-	-	-	2,94	3,00
L204	100	350	0,886	2,84	-	-	-	-	3,43	3,50
L205	100	400	0,886	2,84	-	-	-	-	3,92	4,00
L206	100	450	0,886	2,84	-	-	-	-	4,41	4,50
L207	100	500	0,886	2,84	-	-	-	-	4,90	5,00
L208	100	550	0,886	2,84	-	-	-	-	5,39	5,50
L209	100	600	0,886	2,84	-	-	-	-	5,88	6,00
L210	200	200	0,886	2,84	-	-	-	-	3,92	4,00
L211	200	250	0,886	2,84	-	-	-	-	4,90	5,00
L212	200	300	0,886	2,84	-	-	-	-	5,88	6,00
L213	200	350	0,886	2,84	-	-	-	-	6,86	7,00
L214	200	400	0,886	2,84	-	-	-	-	7,84	8,00
L215	200	450	0,886	2,84	-	-	-	-	8,82	9,00
L216	200	500	0,886	2,84	-	-	-	-	9,80	10,00
L217	200	550	0,886	2,84	-	-	-	-	10,78	11,00
L218	200	600	0,886	2,84	-	-	-	-	11,76	12,00
L219	300	300	0,886	2,84	1	ø 8,00 mm	0,395	2,64	8,82	9,00
L220	300	350	0,886	2,84	1	ø 8,00 mm	0,395	2,64	10,29	10,50
L221	300	400	0,886	2,84	1	ø 8,00 mm	0,395	2,64	11,76	12,00
L222	300	450	0,886	2,84	1	ø 8,00 mm	0,395	2,64	13,23	13,50
L223	300	500	0,886	2,84	1	ø 8,00 mm	0,395	2,64	14,70	15,00
L224	300	550	0,886	2,84	1	ø 8,00 mm	0,395	2,64	16,17	16,50
L225	300	600	0,886	2,84	1	ø 8,00 mm	0,395	2,64	17,64	18,00

Em cada laje deste grupo foi aplicada a Função Custo proposta neste trabalho, cujos custos por categorias bem como o custo final são apresentados na Tabela 5.25. A Figura 5.4 mostra a representatividade de cada insumo no custo total.

Na Figura 5.5, aço e concreto tem uma participação homogênea, em torno de 35% e 25%, respectivamente. Havendo armação das vigotas, o aço passa a ter uma maior participação ocupando o lugar do concreto. Esta participação chega a 38% do custo final (laje L225).

Tabela 5.25 - Custos referentes ao grupo 1.

RESULTADOS DOS CUSTOS DAS LAJES [R\$/m²]								
Laje	1. Concreto	2. Armadura	3. Cerâmica	4. Escoramento	5. Mão- de-obra	6. Administração	7. Transporte	Custo final
L201	11,16	13,87	3,00	2,00	4,98	5,24	0,31	40,55
L202	11,13	13,61	3,00	2,00	4,96	5,13	0,31	40,12
L203	10,19	13,43	3,50	2,00	4,94	5,21	0,31	39,58
L204	10,40	14,05	3,43	2,00	4,99	5,46	0,31	40,63
L205	10,47	13,87	3,38	2,00	4,98	5,36	0,31	40,35
L206	10,53	13,72	3,33	2,00	4,96	5,28	0,31	40,14
L207	10,58	13,61	3,30	2,00	4,96	5,22	0,31	39,97
L208	10,11	13,51	3,55	2,00	4,95	5,26	0,31	39,68
L209	10,24	13,87	3,50	2,00	4,98	5,40	0,31	40,29
L210	11,16	13,87	3,00	2,00	4,98	5,24	0,31	40,55
L211	11,13	13,61	3,00	2,00	4,96	5,13	0,31	40,12
L212	10,19	13,43	3,50	2,00	4,94	5,21	0,31	39,58
L213	10,40	14,05	3,43	2,00	4,99	5,46	0,31	40,63
L214	10,47	13,87	3,38	2,00	4,98	5,36	0,31	40,35
L215	10,53	13,72	3,33	2,00	4,96	5,28	0,31	40,14
L216	10,58	13,61	3,30	2,00	4,96	5,22	0,31	39,97
L217	10,11	13,51	3,55	2,00	4,95	5,26	0,31	39,68
L218	10,24	13,87	3,50	2,00	4,98	5,40	0,31	40,29
L219	10,19	15,87	3,50	2,00	4,94	5,98	0,31	42,78
L220	10,40	16,73	3,43	2,00	4,99	6,31	0,31	44,16
L221	10,47	16,47	3,38	2,00	4,98	6,19	0,31	43,79
L222	10,53	16,27	3,33	2,00	4,96	6,09	0,31	43,50
L223	10,58	16,11	3,30	2,00	4,96	6,02	0,31	43,26
L224	10,11	15,98	3,55	2,00	4,95	6,04	0,31	42,93
L225	10,24	16,47	3,50	2,00	4,98	6,23	0,31	43,72

A Figura 5.4 mostra a representatividade de cada insumo no custo total.

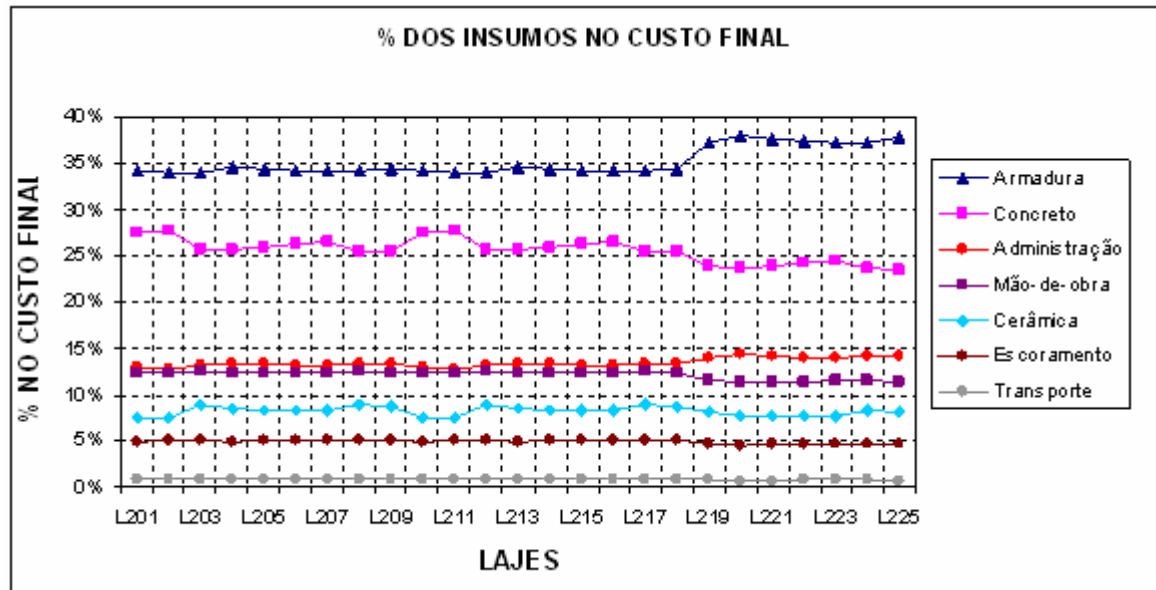


Figura 5.4 - Percentuais de representatividade.

Foram obtidas algumas linhas de tendência, conforme pode ser visualizado na Figura 5.5 e descritas na Tabela 5.26, para o grupo 1 de acordo com o comprimento do menor vão ℓ_x variando de 1 a 3 m. As equações das linhas de tendência representam o custo final em função da variável área. O objetivo destas equações é buscar formulações simplificadas que permitam uma estimativa de custo que leve em conta a área. Vale observar que lajes com áreas aproximadas podem ter custos bem diferenciados, como por exemplo, o caso da laje 2 x 4,5 m² (L215) e da laje 3 x 3 m² (L219), cujo custo varia entre R\$ 40,14/m² e R\$ 42,78/m².

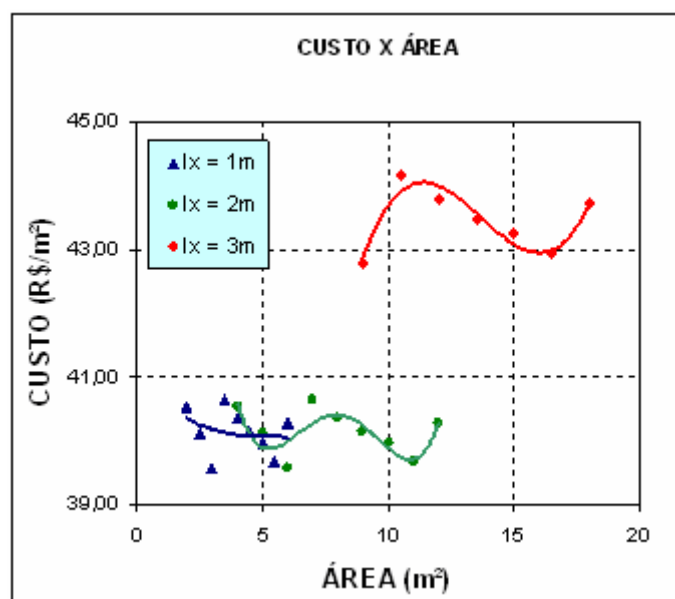


Figura 5.5 - Linhas de tendência para o Grupo 1.

Traçadas as linhas de tendências, é possível explicitar a equação matemática que represente estas linhas e definir seu valor de R^2 , conhecido também como coeficiente de determinação, ou seja, um indicador de 0 a 1 que revela o grau de correspondência entre os valores estimados para a linha de tendência e os dados reais.

Tabela 5.26 - Funções obtidas das linhas de tendências para o grupo 1.

Laje	ℓ_x (m)	R^2	FUNÇÕES DAS LINHAS DE TENDÊNCIAS
Grupo 1	1	0,082	$y = -0,0082x^3 + 0,1223x^2 - 0,6321x + 41,199$
	2	0,646	$y = 0,0099x^4 - 0,3191x^3 + 3,6838x^2 - 18,058x + 71,765$
	3	0,893	$y = 0,0222x^3 - 0,913x^2 + 12,159x - 8,797$

A Tabela 5.27 apresenta os percentuais comparativos dos custos obtidos pela Função Custo e os custos obtidos a partir da Função Simplificada, lembrando-se que em alguns pontos o custo da Função Simplificada é maior que o da Função Custo, portanto estes pontos são representados com percentuais de sinal negativo.

Tabela 5.27 - Diferenças (%) entre Função Custo e Simplificada – Unidirecionais.

CUSTO - Unidirecional			
ℓ_x (cm)	Custo (R\$)	Simplificada (R\$)	Diferença
100	40,55	40,36	0,47%
	40,12	40,26	-0,33%
	39,58	40,18	-1,53%
	40,63	40,13	1,22%
	40,35	40,10	0,62%
	40,14	40,08	0,14%
	39,97	40,07	-0,26%
	39,68	40,06	-0,94%
	40,29	40,04	0,62%
200	40,55	40,59	-0,09%
	40,12	39,87	0,63%
	39,58	39,94	-0,91%
	40,63	40,18	1,10%
	40,35	40,24	0,29%
	40,14	39,96	0,44%
	39,97	39,47	1,26%
	39,68	39,09	1,49%
	40,29	39,42	2,16%
300	42,78	42,86	-0,19%
	44,16	43,91	0,57%
	43,79	44,00	-0,48%
	43,50	43,58	-0,18%
	43,26	43,09	0,41%
	42,93	42,99	-0,13%
	43,72	43,72	0,00%

5.2.1.2. Lajes Grupo 2

Nas Tabelas 5.28 e 5.29 apresentam-se, respectivamente, as características e os custos das lajes de altura igual a 16 cm. Os percentuais de representatividade calculados a partir da Tabela 5.29 estão ilustrados na Figura 5.6. As linhas de tendência obtidas podem ser visualizadas na Figura 5.7 e descritas na Tabela 5.30 para o grupo 2 de comprimento do menor vão (ℓ_x) variando de 2 a 4 m.

Tabela 5.28 - Características do grupo 2.

CARACTERÍSTICAS DAS LAJES										
	ℓ_x (cm)	ℓ_y (cm)	P_{tm} (kg/m)	P_8 (R\$/kg)	Q_8	Armadura adicional	P_{ad} (kg/m)	P_9 (R\$/kg)	Q_{15} (kg/Laje)	Área (m ²)
L301	200	200	1,032	2,84	-	-	-	-	3,92	4,00
L302	200	250	1,032	2,84	-	-	-	-	4,90	5,00
L303	200	300	1,032	2,84	-	-	-	-	5,88	6,00
L304	200	350	1,032	2,84	-	-	-	-	6,86	7,00
L305	200	400	1,032	2,84	-	-	-	-	7,84	8,00
L306	200	450	1,032	2,84	-	-	-	-	8,82	9,00
L307	200	500	1,032	2,84	-	-	-	-	9,80	10,00
L308	200	550	1,032	2,84	-	-	-	-	10,78	11,00
L309	200	600	1,032	2,84	-	-	-	-	11,76	12,00
L310	200	650	1,032	2,84	-	-	-	-	12,74	13,00
L311	200	700	1,032	2,84	-	-	-	-	13,72	14,00
L312	300	300	1,032	2,84	1	ø 6,3mm	0,245	2,85	8,82	9,00
L313	300	350	1,032	2,84	1	ø 6,3mm	0,245	2,85	10,29	10,50
L314	300	400	1,032	2,84	1	ø 6,3mm	0,245	2,85	11,76	12,00
L315	300	450	1,032	2,84	1	ø 6,3mm	0,245	2,85	13,23	13,50
L316	300	500	1,032	2,84	1	ø 6,3mm	0,245	2,85	14,70	15,00
L317	300	550	1,032	2,84	1	ø 6,3mm	0,245	2,85	16,17	16,50
L318	300	600	1,032	2,84	1	ø 6,3mm	0,245	2,85	17,64	18,00
L319	300	650	1,032	2,84	1	ø 6,3mm	0,245	2,85	19,11	19,50
L320	300	700	1,032	2,84	1	ø 6,3mm	0,245	2,85	20,58	21,00
L321	400	400	1,032	2,84	2	ø 6,3mm	0,245	2,85	15,68	16,00
L322	400	450	1,032	2,84	2	ø 6,3mm	0,245	2,85	17,64	18,00
L323	400	500	1,032	2,84	2	ø 6,3mm	0,245	2,85	19,60	20,00
L324	400	550	1,032	2,84	2	ø 6,3mm	0,245	2,85	21,56	22,00
L325	400	600	1,032	2,84	2	ø 6,3mm	0,245	2,85	23,52	24,00
L326	400	650	1,032	2,84	2	ø 6,3mm	0,245	2,85	25,48	26,00
L327	400	700	1,032	2,84	2	ø 6,3mm	0,245	2,85	27,44	28,00

Tabela 5.29 - Custos referentes ao grupo 2.

RESULTADOS DOS CUSTOS (R\$/m²)								
Laje	1. Concreto	2. Armadura	3. Cerâmica	4. Escoramento	5. Mão-de-obra	6. Administração	7. Transporte	Custo final
L301	13,76	14,90	3,60	2,00	4,98	5,76	0,31	45,30
L302	13,72	14,60	3,60	2,00	4,96	5,63	0,31	44,82
L303	12,33	14,40	4,20	2,00	4,94	5,74	0,31	43,92
L304	12,61	15,12	4,11	2,00	4,99	6,01	0,31	45,15
L305	12,73	14,90	4,05	2,00	4,98	5,90	0,31	44,87
L306	12,83	14,74	4,00	2,00	4,96	5,82	0,31	44,65
L307	12,90	14,60	3,96	2,00	4,96	5,75	0,31	44,48
L308	12,22	14,49	4,25	2,00	4,95	5,79	0,31	44,02
L309	12,39	14,90	4,20	2,00	4,98	5,95	0,31	44,72
L310	12,48	14,79	4,15	2,00	4,97	5,89	0,31	44,58
L311	12,56	14,69	4,11	2,00	4,96	5,83	0,31	44,46
L312	12,33	16,03	4,20	2,00	4,94	6,26	0,31	46,07
L313	12,61	16,91	4,11	2,00	4,99	6,58	0,31	47,52
L314	12,73	16,65	4,05	2,00	4,98	6,46	0,31	47,17
L315	12,83	16,44	4,00	2,00	4,96	6,36	0,31	46,90
L316	12,90	16,28	3,96	2,00	4,96	6,28	0,31	46,68
L317	12,22	16,14	4,25	2,00	4,95	6,32	0,31	46,19
L318	12,39	16,65	4,20	2,00	4,98	6,50	0,31	47,02
L319	12,48	16,51	4,15	2,00	4,97	6,43	0,31	46,85
L320	12,56	16,38	4,11	2,00	4,96	6,37	0,31	46,70
L321	12,73	18,54	4,05	2,00	4,98	7,06	0,31	49,67
L322	12,83	18,30	4,00	2,00	4,96	6,95	0,31	49,34
L323	12,90	18,10	3,96	2,00	4,96	6,86	0,31	49,08
L324	12,22	17,79	4,25	2,00	4,95	6,84	0,31	48,37
L325	12,39	18,39	4,20	2,00	4,98	7,06	0,31	49,32
L326	12,48	18,22	4,15	2,00	4,97	6,98	0,31	49,11
L327	12,56	18,08	4,11	2,00	4,96	6,91	0,31	48,93

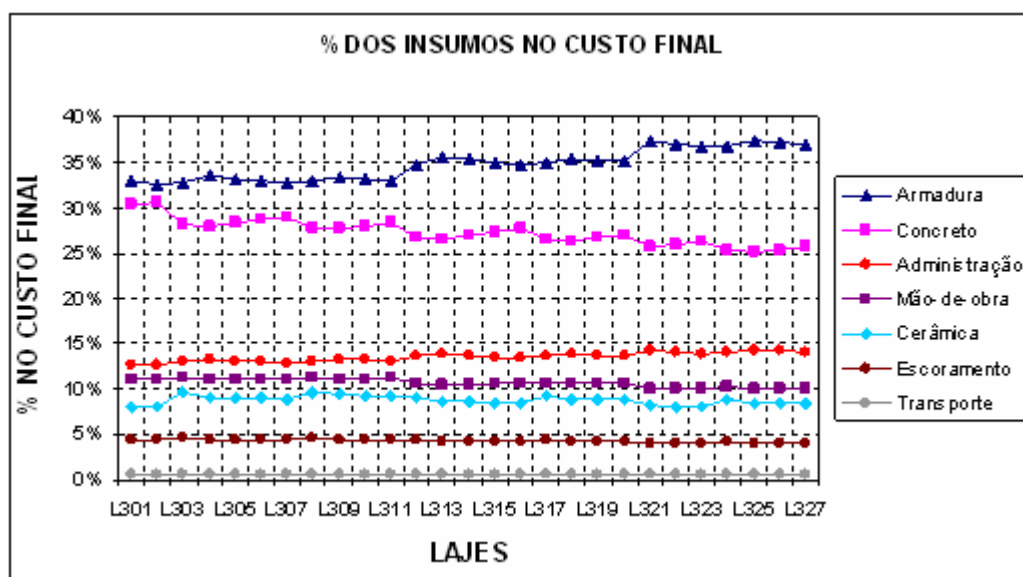


Figura 5.6 - Percentuais de representatividade.

Na Tabela 5.31 descrevem-se os percentuais comparativos dos custos obtidos pela Função Custo e os custos obtidos a partir da Função Simplificada para a o grupo 2.

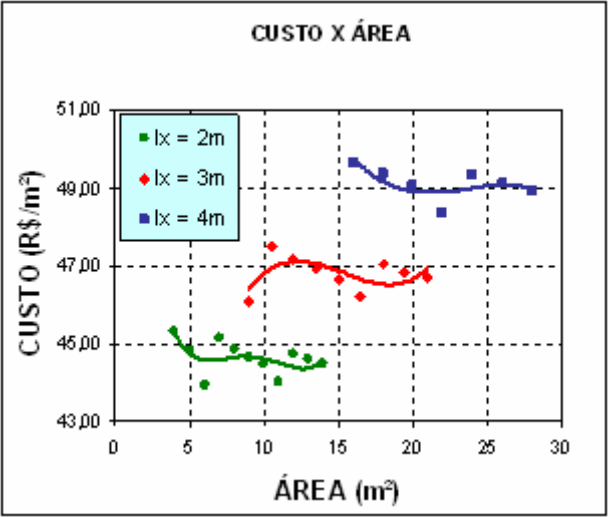


Figura 5.7 - Linhas de tendência para o Grupo 2.

Tabela 5.30 - Funções obtidas das linhas de tendências grupo 2.

Laje	ℓ_x (m)	R ²	FUNÇÕES DAS LINHAS DE TENDÊNCIAS
Grupo 2	2	0,295	$y = 0,0019x^4 - 0,0689x^3 + 0,9197x^2 - 5,2503x + 55,455$
	3	0,323	$y = 0,0054x^3 - 0,2495x^2 + 3,6778x + 29,556$
	4	0,526	$y = -0,0026x^3 + 0,1852x^2 - 4,3274x + 82,277$

Tabela 5.31 - Diferenças (%) entre Função Custo e Simplificada – Unidirecionais.

CUSTO - Unidirecional			
ℓ_x (cm)	Custo (R\$)	Simplificada (R\$)	Diferença
200	45,30	45,25	0,13%
	44,82	44,77	0,11%
	43,92	44,64	-1,64%
	45,15	44,70	1,01%
	44,87	44,82	0,11%
	44,65	44,94	-0,64%
	44,48	45,02	-1,23%
	44,02	45,10	-2,46%
	44,72	45,23	-1,12%
	44,58	45,52	-2,11%
	44,46	46,14	-3,77%
300	46,07	46,38	-0,68%
	47,52	46,92	1,26%
	47,17	47,09	0,16%
	46,90	47,02	-0,26%
	46,68	46,81	-0,27%
	46,19	46,57	-0,82%

400	47,02	46,41	1,30%
	46,85	46,44	0,87%
	46,70	46,77	-0,15%
	49,67	49,80	-0,27%
	49,34	49,23	0,23%
	49,08	49,01	0,14%
	48,37	49,03	-1,37%
	49,32	49,15	0,35%
	49,11	49,26	-0,30%
	48,93	49,23	-0,61%

5.2.1.3. Lajes Grupo 3

Na Tabela 5.32 têm-se as informações atribuídas ao grupo 3 e na Tabela 5.33 os custos totais.

Tabela 5.32 - Características do grupo 3.

CARACTERÍSTICAS DAS LAJES										
	ℓ_x (cm)	ℓ_y (cm)	P _{tm} (kg/m)	P ₈ (R\$/kg)	Q ₈	Armadura adicional	P _{ad} (kg/m)	P ₉ (R\$/kg)	Q ₁₅ (kg/Laje)	Área (m²)
L401	200	200	1,111	2,84	-	-	-	-	3,92	4,00
L402	200	250	1,111	2,84	-	-	-	-	4,90	5,00
L403	200	300	1,111	2,84	-	-	-	-	5,88	6,00
L404	200	350	1,111	2,84	-	-	-	-	6,86	7,00
L405	200	400	1,111	2,84	-	-	-	-	7,84	8,00
L406	200	450	1,111	2,84	-	-	-	-	8,82	9,00
L407	200	500	1,111	2,84	-	-	-	-	9,80	10,00
L408	200	550	1,111	2,84	-	-	-	-	10,78	11,00
L409	200	600	1,111	2,84	-	-	-	-	11,76	12,00
L410	200	650	1,111	2,84	-	-	-	-	12,74	13,00
L411	200	700	1,111	2,84	-	-	-	-	13,72	14,00
L412	300	300	1,111	2,84	1	ø 6,3 mm	0,245	2,85	8,82	9,00
L413	300	350	1,111	2,84	1	ø 6,3 mm	0,245	2,85	10,29	10,50
L414	300	400	1,111	2,84	1	ø 6,3 mm	0,245	2,85	11,76	12,00
L415	300	450	1,111	2,84	1	ø 6,3 mm	0,245	2,85	13,23	13,50
L416	300	500	1,111	2,84	1	ø 6,3 mm	0,245	2,85	14,70	15,00
L417	300	550	1,111	2,84	1	ø 6,3 mm	0,245	2,85	16,17	16,50
L418	300	600	1,111	2,84	1	ø 6,3 mm	0,245	2,85	17,64	18,00
L419	300	650	1,111	2,84	1	ø 6,3 mm	0,245	2,85	19,11	19,50
L420	300	700	1,111	2,84	1	ø 6,3 mm	0,245	2,85	20,58	21,00
L421	400	400	1,111	2,84	2	ø 6,3 mm	0,245	2,85	15,68	16,00
L422	400	450	1,111	2,84	2	ø 6,3 mm	0,245	2,85	17,64	18,00
L423	400	500	1,111	2,84	2	ø 6,3 mm	0,245	2,85	19,60	20,00
L424	400	550	1,111	2,84	2	ø 6,3 mm	0,245	2,85	21,56	22,00
L425	400	600	1,111	2,84	2	ø 6,3 mm	0,245	2,85	23,52	24,00
L426	400	650	1,111	2,84	2	ø 6,3 mm	0,245	2,85	25,48	26,00
L427	400	700	1,111	2,84	2	ø 6,3 mm	0,245	2,85	27,44	28,00

Tabela 5.33 - Custos referentes ao grupo 3.

RESULTADOS DOS CUSTOS (R\$/m ²)								
Laje	1. Concreto	2. Armadura	3. Cerâmica	4. Escoramento	5. Mão-de-obra	6. Administração	7. Transporte	Custo final
L401	16,35	15,46	4,20	2,00	4,98	6,13	0,31	49,43
L402	16,32	15,14	4,20	2,00	4,96	5,99	0,31	48,92
L403	14,48	14,92	4,90	2,00	4,94	6,13	0,31	47,68
L404	14,82	15,70	4,80	2,00	4,99	6,41	0,31	49,03
L405	14,99	15,46	4,73	2,00	4,98	6,29	0,31	48,76
L406	15,12	15,28	4,67	2,00	4,96	6,20	0,31	48,55
L407	15,23	15,14	4,62	2,00	4,96	6,13	0,31	48,38
L408	14,33	15,02	4,96	2,00	4,95	6,19	0,31	47,76
L409	14,54	15,46	4,90	2,00	4,98	6,35	0,31	48,53
L410	14,66	15,34	4,85	2,00	4,97	6,28	0,31	48,41
L411	14,77	15,23	4,80	2,00	4,96	6,22	0,31	48,30
L412	14,48	16,55	4,90	2,00	4,94	6,64	0,31	49,83
L413	14,82	17,49	4,80	2,00	4,99	6,99	0,31	51,39
L414	14,99	17,21	4,73	2,00	4,98	6,85	0,31	51,06
L415	15,12	16,99	4,67	2,00	4,96	6,74	0,31	50,80
L416	15,23	16,82	4,62	2,00	4,96	6,66	0,31	50,59
L417	14,33	16,67	4,96	2,00	4,95	6,71	0,31	49,93
L418	14,54	17,21	4,90	2,00	4,98	6,90	0,31	50,83
L419	14,66	17,06	4,85	2,00	4,97	6,83	0,31	50,67
L420	14,77	16,93	4,80	2,00	4,96	6,76	0,31	50,53
L421	14,99	18,96	4,73	2,00	4,98	7,40	0,31	53,36
L422	15,12	18,70	4,67	2,00	4,96	7,29	0,31	53,05
L423	15,23	18,49	4,62	2,00	4,96	7,19	0,31	52,80
L424	14,33	17,49	4,96	2,00	4,95	6,97	0,31	51,00
L425	14,54	18,07	4,90	2,00	4,98	7,18	0,31	51,97
L426	14,66	17,91	4,85	2,00	4,97	7,10	0,31	51,79
L427	14,77	18,62	4,80	2,00	4,96	7,30	0,31	52,77

Os percentuais de representatividade obtidos da Tabela 5.33 estão ilustrados na Figura 5.8. As linhas de tendência do grupo 3 estão ilustradas na Figura 5.9 e descritas na Tabela 5.34. Como a presença da armadura adicional ocorre para $\ell_x = 3$ m, observa-se que para as lajes do grupo 3, houve diferenciações consideráveis para cada vão de ℓ_x .

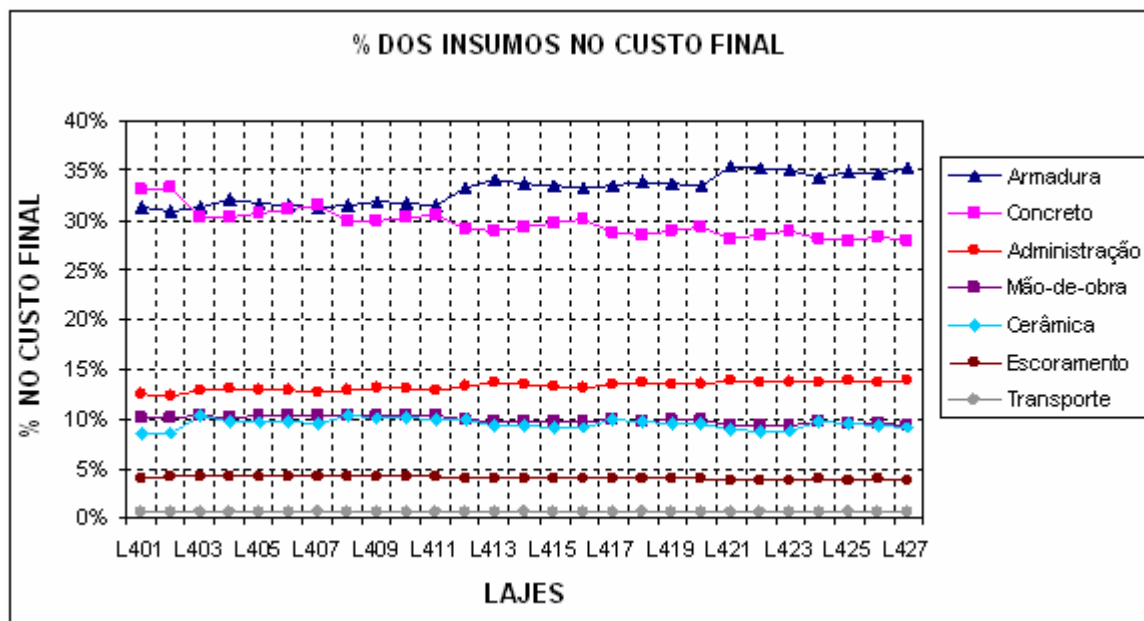


Figura 5.8 - Percentuais de representatividade.

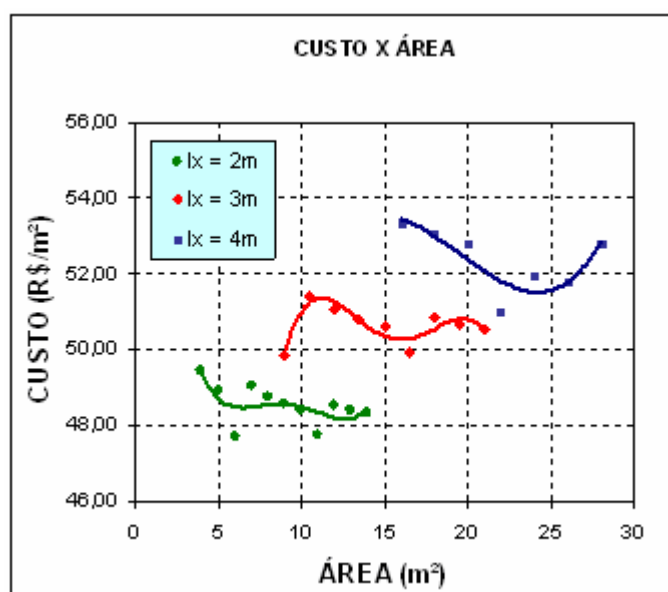


Figura 5.9 - Linhas de tendência para o Grupo 3.

Tabela 5.34 - Funções das linhas de tendências do grupo 3.

Laje	ℓ_x (m)	R^2	FUNÇÕES DAS LINHAS DE TENDÊNCIAS
Grupo 3	2	0,405	$y = 0,0024x^4 - 0,0887x^3 + 1,1923x^2 - 6,8829x + 62,915$
	3	0,822	$y = -0,0024x^4 + 0,1512x^3 - 3,463x^2 + 34,247x - 72,226$
	4	0,752	$y = 0,0052x^3 - 0,3057x^2 + 5,6839x + 19,5$

Na Tabela 5.35 descrevem-se os percentuais comparativos dos custos obtidos pela Função Custo e os custos obtidos a partir da Função Simplificada para a o grupo 3.

Tabela 5.35 - Diferenças (%) entre Função Custo e Simplificada – Unidirecionais.

CUSTO Unidirecional			
ℓ_x (cm)	Custo (R\$)	Simplificada (R\$)	Diferença
200	49,43	49,40	0,06%
	48,92	48,72	0,40%
	47,68	48,49	-1,70%
	49,03	48,50	1,08%
	48,76	48,58	0,38%
	48,55	48,63	-0,17%
	48,38	48,62	-0,48%
	47,76	48,55	-1,66%
	48,53	48,50	0,06%
	48,41	48,61	-0,42%
	48,30	49,05	-1,56%
300	49,83	49,97	-0,29%
	51,39	51,43	-0,08%
	51,06	51,57	-1,01%
	50,80	51,27	-0,93%
	50,59	51,10	-1,02%
	49,93	51,37	-2,88%
	50,83	52,06	-2,42%
	50,67	52,90	-4,39%
400	50,53	53,29	-5,45%
	53,36	53,48	-0,23%
	53,05	53,09	-0,08%
	52,80	52,50	0,57%
	51,00	51,96	-1,87%
	51,97	51,72	0,49%
	51,79	52,02	-0,45%
	52,77	53,13	-0,69%

5.2.1.4. Lajes Grupo 4

São apresentadas nas Tabelas 5.36 e 5.37, respectivamente, as características geométricas e os valores referentes ao dimensionamento das lajes, bem como os custos totais para o grupo 4.

Tabela 5.36 - Características do grupo 4.

CARACTERÍSTICAS DAS LAJES										
	ℓ_x (cm)	ℓ_y (cm)	P_{tm} (kg/m)	P_8 (R\$/kg)	Q_8	Armadura adicional	P_{ad} (kg/m)	P_9 (R\$/kg)	Q_{15} (kg/Laje)	Área (m ²)
L501	300	300	1,602	2,84	-	-	-	-	8,82	9,00
L502	300	350	1,602	2,84	-	-	-	-	10,29	10,50
L503	300	400	1,602	2,84	-	-	-	-	11,76	12,00
L504	300	450	1,602	2,84	-	-	-	-	13,23	13,50
L505	300	500	1,602	2,84	-	-	-	-	14,70	15,00
L506	300	550	1,602	2,84	-	-	-	-	16,17	16,50
L507	300	600	1,602	2,84	-	-	-	-	17,64	18,00
L508	300	650	1,602	2,84	-	-	-	-	19,11	19,50
L509	300	700	1,602	2,84	-	-	-	-	20,58	21,00
L510	400	400	1,602	2,84	1	ø 8mm	0,395	2,64	15,68	16,00
L511	400	450	1,602	2,84	1	ø 8mm	0,395	2,64	17,64	18,00
L512	400	500	1,602	2,84	1	ø 8mm	0,395	2,64	19,60	20,00
L513	400	550	1,602	2,84	1	ø 8mm	0,395	2,64	21,56	22,00
L514	400	600	1,602	2,84	1	ø 8mm	0,395	2,64	23,52	24,00
L515	400	650	1,602	2,84	1	ø 8mm	0,395	2,64	25,48	26,00
L516	400	700	1,602	2,84	1	ø 8mm	0,395	2,64	27,44	28,00
L517	500	500	1,602	2,84	2	ø 8mm	0,395	2,64	24,50	25,00
L518	500	550	1,602	2,84	2	ø 8mm	0,395	2,64	26,95	27,50
L519	500	600	1,602	2,84	2	ø 8mm	0,395	2,64	29,40	30,00
L520	500	650	1,602	2,84	2	ø 8mm	0,395	2,64	31,85	32,50
L521	500	700	1,602	2,84	2	ø 8mm	0,395	2,64	34,30	35,00

Tabela 5.37 - Custos referentes ao grupo 4.

RESULTADOS DOS CUSTOS (R\$/m ²)								
Laje	1. Concreto	2. Armadura	3. Cerâmica	4. Escoramento	5. Mão-de-obra	6. Administração	7. Transporte	Custo final
L501	17,95	18,18	5,60	2,00	4,94	7,38	0,31	56,36
L502	18,35	19,28	5,49	2,00	4,99	7,77	0,31	58,19
L503	18,57	18,95	5,40	2,00	4,98	7,62	0,31	57,82
L504	18,74	18,69	5,33	2,00	4,96	7,50	0,31	57,54
L505	18,88	18,49	5,28	2,00	4,96	7,40	0,31	57,31
L506	17,76	18,32	5,67	2,00	4,95	7,46	0,31	56,46
L507	18,01	18,95	5,60	2,00	4,98	7,68	0,31	57,52
L508	18,17	18,77	5,54	2,00	4,97	7,59	0,31	57,35
L509	18,31	18,62	5,49	2,00	4,96	7,52	0,31	57,20
L510	18,57	21,56	5,40	2,00	4,98	8,44	0,31	61,26
L511	18,74	21,24	5,33	2,00	4,96	8,31	0,31	60,90
L512	18,88	20,99	5,28	2,00	4,96	8,19	0,31	60,61
L513	17,76	20,78	5,67	2,00	4,95	8,24	0,31	59,71
L514	18,01	21,56	5,60	2,00	4,98	8,51	0,31	60,95
L515	18,17	21,34	5,54	2,00	4,97	8,41	0,31	60,73
L516	18,31	21,15	5,49	2,00	4,96	8,32	0,31	60,53
L517	18,88	23,49	5,28	2,00	4,96	8,99	0,31	63,90
L518	17,76	23,25	5,67	2,00	4,95	9,02	0,31	62,96
L519	18,01	24,16	5,60	2,00	4,98	9,34	0,31	64,39
L520	18,17	23,91	5,54	2,00	4,97	9,22	0,31	64,11
L521	18,31	23,68	5,49	2,00	4,96	9,12	0,31	63,87

Os percentuais de representatividade dos insumos identificados na Tabela 5.37 podem ser visualizados na Figura 5.10.

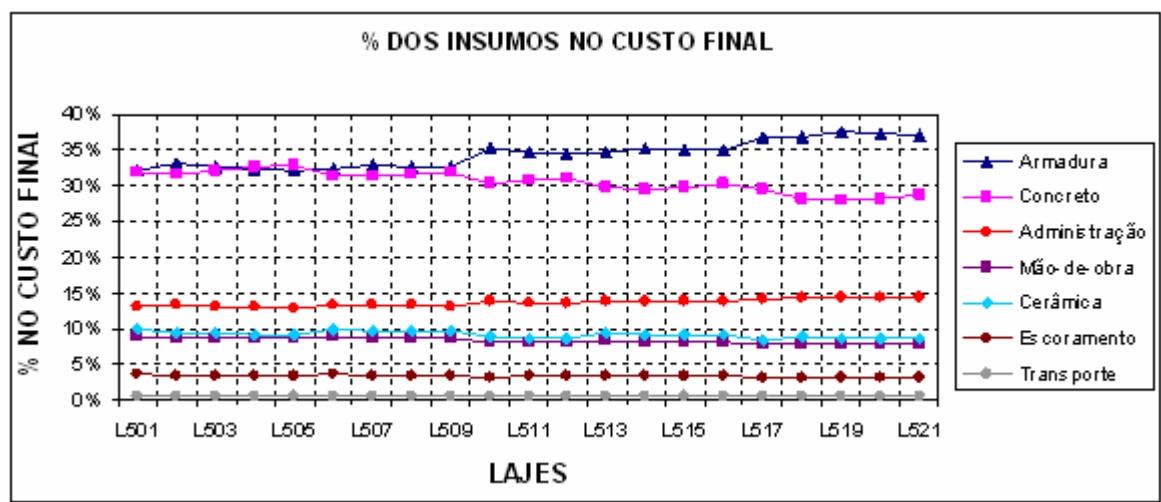


Figura 5.10 - Percentuais de representatividade.

As linhas de tendência do grupo 4, ilustradas na Figura 5.11 estão descritas na Tabela 5.38.

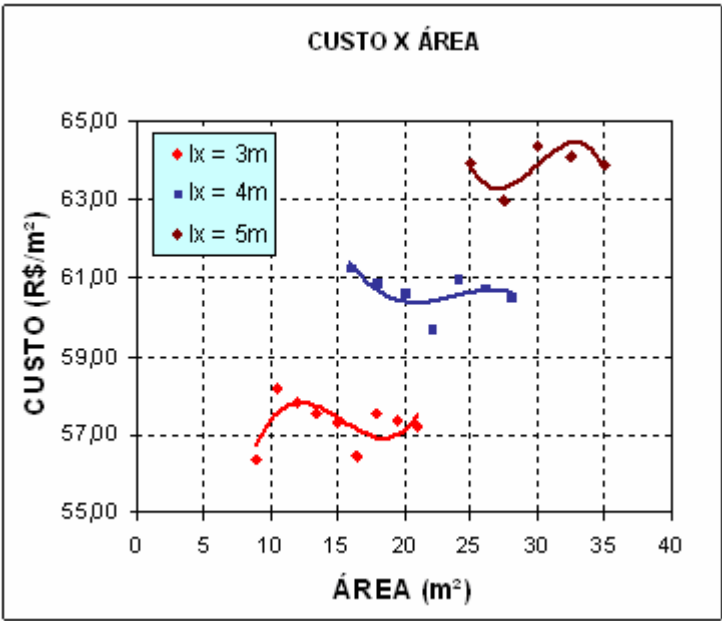


Figura 5.11 - Linhas de tendência para o Grupo 4.

Tabela 5.38 - Funções das linhas de tendência para o grupo 4.

Laje	ℓx (m)	R^2	FUNÇÕES DAS LINHAS DE TENDÊNCIAS
Grupo 4	3	0,405	$y = 0,0078x^3 - 0,359x^2 + 5,3031x + 32,416$
	4	0,458	$y = -0,0031x^3 + 0,2231x^2 - 5,2138x + 100,53$
	5	0,579	$y = -0,0125x^3 + 1,1193x^2 - 33,17x + 388,4$

Na Tabela 5.39 descrevem-se os percentuais comparativos dos custos obtidos pela Função Custo e os custos obtidos a partir da Função Simplificada para a o grupo 4.

Tabela 5.39 - Diferenças (%) entre Função Custo e Simplificada – Unidirecionais.

CUSTO - Unidirecional			
ℓ_x (cm)	Custo (R\$)	Simplificada (R\$)	Diferença
300	56,36	56,75	-0,69%
	58,19	57,55	1,10%
	57,82	57,84	-0,02%
	57,54	57,77	-0,41%
	57,31	57,51	-0,35%
	56,46	57,22	-1,34%
	57,52	57,05	0,82%
	57,35	57,15	0,34%
	57,20	57,70	-0,88%
400	61,26	61,53	-0,44%
	60,90	60,89	0,01%
	60,61	60,69	-0,14%
	59,71	60,80	-1,82%
	60,95	61,05	-0,16%
	60,73	61,30	-0,94%
	60,53	61,40	-1,44%
500	63,90	63,40	0,79%
	62,96	62,73	0,35%
	64,39	63,17	1,89%
	64,11	63,53	0,90%
	63,87	62,65	1,90%

As diferenças percentuais entre a utilização da Função Custo e da Função Simplificada, para todas as lajes unidirecionais, estudadas anteriormente não ultrapassam 5,457%.

5.2.2. Lajes Bidirecionais

A fim de comparar os custos obtidos com as lajes calculadas como armadas em uma direção, foram elaborados quatro grupos de lajes quadradas armadas em cruz, onde suas alturas, cargas atuantes e variações dos vãos são apresentadas na Tabela 5.40.

Tabela 5.40 - Alturas, cargas atuantes e vãos para grupos de lajes bidirecionais.

Grupos de Lajes	Altura (cm)	Peso-Próprio (kN/m ²)	Carga Permanente (kN/m ²)	Carga Acidental (kN/m ²)	Variação de $\ell_x = \ell_y$ (m)
Grupo 1	12	2,0	1,5	1,5	2-5
Grupo 2	16	2,5	1,5	2,0	2-6
Grupo 3	20	3,0	1,5	2,5	2-6
Grupo 4	25	3,7	1,5	3,0	3-7

Em cada grupo, fez-se as alterações dos comprimentos dos vãos de tal forma que ℓ_x variasse de 1 em 1 m, até o limite da flecha, calculadas segundo a NBR 6118 (2003), utilizando o processo das grelhas. Neste item, as lajes bidirecionais têm $\ell_x = \ell_y$.

Na Tabela 5.41 estão descritas as características geométricas e relacionadas ao dimensionamento dos grupos 1,2,3 e 4. A Tabela 5.42 apresenta os custos obtidos para as lajes em análise.

Tabela 5.41 - Características das lajes armadas em duas direções.

CARACTERÍSTICAS DAS LAJES BIDIRECIONAIS										
Laje		ℓ_x (cm)	ℓ_y (cm)	P_{tm} (kg/m)	P_8 (R\$/kg)	Q_8	Armadura adicional	P_{ad} (kg/m)	P_9 (R\$/kg)	Q_{15} (kg/Laje)
Grupo 1	L210	200	200	0,886	2,84	-	-	-	-	3,92
	L219	300	300	0,886	2,84	-	-	-	-	8,82
	L226	400	400	0,886	2,84	2	ø 6,3 mm	0,245	2,85	15,68
Grupo 2	L301	200	200	1,032	2,84	-	-	-	-	3,92
	L312	300	300	1,032	2,84	-	-	-	-	8,82
	L321	400	400	1,032	2,84	1	ø 6,3 mm	0,245	2,85	15,68
	L328	500	500	1,032	2,84	3	ø 6,3 mm	0,245	2,85	39,50
Grupo 3	L401	200	200	1,111	2,84	-	-	-	-	3,92
	L412	300	300	1,111	2,84	-	-	-	-	8,82
	L421	400	400	1,111	2,84	1	ø 6,3 mm	0,245	2,85	15,68
	L428	500	500	1,111	2,84	2	ø 6,3 mm	0,245	2,85	39,50
Grupo 4	L501	300	300	1,602	2,84	-	-	-	-	8,82
	L510	400	400	1,602	2,84	-	-	-	-	15,68
	L517	500	500	1,602	2,84	1	ø 8mm	0,395	2,64	39,50
	L522	600	600	1,602	2,84	2	ø 8mm	0,395	2,64	85,32

As linhas de tendência das lajes armadas em duas direções analisadas neste item podem ser visualizadas na Figura 5.12 e estão descritas na Tabela 5.43.

Pode-se observar na Figura 5.12 que nas lajes bidirecionais com área em torno de 20 m² a 25m² praticamente não há diferenças de custos entre as lajes dos grupos 1 e 2. Já entre as demais lajes, os custos se diferenciam consideravelmente.

Tabela 5.42 - Custos das lajes bidirecionais.

RESULTADOS DOS CUSTOS DAS LAJES BIDIRECIONAIS (R\$/m²)									
Laje		1. Concreto	2. Armadura	3. Cerâmica	4. Escoramento	5. Mão-de-obra	6. Administração	7. Transporte	Custo final
Grupo 1	L210	11,16	14,00	3,00	2,00	4,97	5,24	0,31	40,69
	L219	10,19	13,57	3,50	2,00	4,94	5,21	0,31	39,71
	L226	10,47	17,49	3,38	2,00	4,97	6,47	0,31	45,09
Grupo 2	L301	13,76	15,02	3,60	2,00	4,97	5,76	0,31	45,42
	L312	12,34	14,52	4,20	2,00	4,94	5,74	0,31	44,04
	L321	12,73	16,78	4,05	2,00	4,97	6,46	0,31	47,31
	L328	12,91	21,01	3,96	2,00	4,95	7,35	0,31	52,49
Grupo 3	L401	16,36	15,58	4,20	2,00	4,97	6,13	0,31	49,54
	L412	14,48	15,04	4,90	2,00	4,94	6,12	0,31	47,80
	L421	14,99	17,35	4,73	2,00	4,97	6,85	0,31	51,20
	L428	15,23	21,55	4,62	2,00	4,95	7,73	0,31	56,39
Grupo 4	L501	17,95	18,31	5,60	2,00	4,94	7,39	0,31	56,50
	L510	18,58	19,09	5,40	2,00	4,97	7,62	0,31	57,96
	L517	18,88	22,36	5,28	2,00	4,95	8,19	0,31	61,97
	L522	18,01	27,62	5,60	2,00	4,97	9,33	0,31	67,84

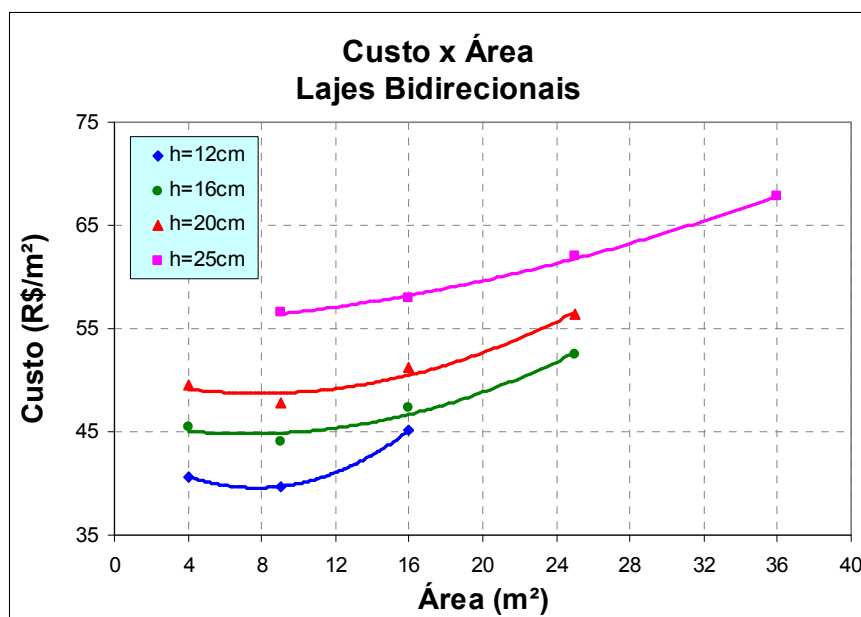


Figura 5.12 - Linhas de tendência .

Tabela 5.43 - Equações das linhas de tendências das lajes bidirecionais.

Laje	R²	FUNÇÕES DAS LINHAS DE TENDÊNCIA
Grupo 1	1,000	$y = 0,0802x^2 - 1,2379x + 44,356$
Grupo 2	0,970	$y = 0,0249x^2 - 0,3615x + 46,098$
Grupo 3	0,960	$y = 0,0267x^2 - 0,4209x + 50,375$
Grupo 4	0,998	$y = 0,0082x^2 + 0,0569x + 55,212$

onde: x = Área (m²) e y = Custo (R\$/m²)

As diferenças de custos obtidas (função proposta neste trabalho x função simplificada) para as lajes quadradas armadas em duas direções podem ser visualizadas na Tabela 5.44.

Tabela 5.44 - Diferenças (%) entre Função Custo e Simplificada – Bidirecionais.

Diferenças de Custos – [Bidirecional].				
Laje	ℓ_x (cm)	Custo	Simplificada	Diferença
Grupo 1	200	40,69	40,69	0,00%
	300	39,71	39,71	0,01%
	400	45,09	45,08	0,02%
Grupo 2	200	45,42	45,05	0,81%
	300	44,04	44,86	-1,87%
	400	47,31	46,69	1,31%
	500	52,49	52,62	-0,26%
Grupo 3	200	49,54	49,12	0,86%
	300	47,80	48,75	-1,99%
	400	51,20	50,48	1,41%
	500	56,39	56,54	-0,26%
Grupo 4	300	56,50	56,39	0,19%
	400	57,96	58,22	-0,45%
	500	61,97	61,76	0,34%
	600	67,84	67,89	-0,07%

As diferenças percentuais obtidas entre a utilização da Função Custo e da Função Simplificada, para todas as lajes bidirecionais, estudadas anteriormente não ultrapassaram 1,14%. Vale observar que em alguns pontos o custo da Função Simplificada é maior que o obtido com a aplicação da Função Custo. Estes pontos são representados com percentuais de sinal negativo.

5.2.3. Lajes Unidirecionais x Bidirecionais

A Tabela 5.45 mostra um quadro comparativo entre os resultados obtidos para os custos das lajes com áreas aproximadas, calculadas como armadas em uma e em duas direções.

Tabela 5.45 - Comparativos de custos entre lajes unidirecionais e bidirecionais.

	Unidirecional				Bidirecional			
	Área (m ²)	ℓ_x (m)	ℓ_y (m)	Custo (R\$/m ²)	Área (m ²)	ℓ_x (m)	ℓ_y (m)	Custo (R\$/m ²)
Grupo 1	4,00	100	400	40,35	4,00	200	200	40,69
		200	200	40,55				
	9,00	200	450	40,14	9,00	300	300	39,71
		300	300	42,78				
	16,50	300	550	42,93	16,00	400	400	45,09
Grupo 2	4,00	200	200	45,30	4,00	200	200	45,42
	9,00	200	450	44,65	9,00	300	300	44,04
		300	300	46,07				
	16,00	400	400	49,67	16,00	400	400	47,31
	16,50	300	550	46,19				
	24,00	400	600	49,32	25,00	500	500	52,49
	26,00	400	650	49,11				
Grupo 3	4,00	200	200	49,43	4,00	200	200	49,54
	9,00	200	450	48,55	9,00	300	300	47,80
		300	300	49,83				
	16,50	300	550	49,93	16,00	400	400	51,20
	16,00	400	400	53,36				
	24,00	400	600	51,97	25,00	500	500	56,39
	26,00	400	650	51,79				
Grupo 4	9,00	300	300	56,36	9,00	300	300	56,50
	16,50	300	550	56,46	16,00	400	400	57,96
	16,00	400	400	61,26				
	24,00	400	600	60,95	25,00	500	500	61,97
	26,00	400	650	60,73				
	25,00	500	500	63,90				
	35,00	500	700	63,87				
					36,00	600	600	67,84

Para o grupo 1 com 4 m² de área, praticamente não há diferença nos custos finais. Para as áreas de 9 m², 16 m² e 25 m², estas apresentam uma diferença de custo significativa, quando a comparação é feita entre lajes quadradas. Por exemplo, a laje com 3x3m² de área apresenta uma diferença de custo de 7,18%, sendo mais econômica calculada como bidirecional do que como unidirecional, como mostra a Tabela 5.52. Quando o custo das lajes unidirecionais é maior que os das bidirecionais, estes pontos são representados com percentuais de sinal negativo na Tabela 5.46.

Nos grupos 2,3 e 4, observa-se este mesmo comportamento. Lajes quadradas armadas em duas direções apresentam, de um modo geral, custos inferiores frente às lajes unidirecionais, com percentuais variáveis. Estes percentuais estão na Tabela 5.46.

Tabela 5.46 - Diferenças de custos entre as lajes de mesma área calculadas como armadas em uma e em duas direções.

	Área (m ²)	ℓ_x (m)	ℓ_y (m)	Custos Unidirecionais (R\$/m ²)	Custos Bidirecionais (R\$/m ²)	Diferenças (%)
Grupo 1	4	200	200	40,55	40,69	-0,35%
	9	300	300	42,78	39,71	7,18%
Grupo 2	4	200	200	45,30	45,42	-0,26%
	9	300	300	46,07	44,04	4,41%
	16	400	400	49,67	47,31	4,75%
Grupo 3	4	200	200	49,43	49,54	-0,22%
	9	300	300	49,83	47,8	4,07%
	16	400	400	53,36	51,2	4,05%
Grupo 4	9	300	300	56,36	56,5	-0,25%
	16	400	400	61,26	57,96	5,39%
	25	500	500	63,90	61,97	3,02%

As lajes quadradas calculadas como armadas em uma direção apresentam custos superiores aos obtidos calculando-as como armadas em cruz, dependendo da área da laje. As variações são pequenas para lajes de 4m², aumentam para lajes com áreas entre 9m² e 16m², e diminuem para lajes de 25m² e 36m². O efeito de placa é mais acentuado em vãos menores, uma vez que em maiores vãos o efeito de Poisson é menor, devido à tendência de estabilização da flecha no meio do vão da laje. Nas lajes quadradas, o momento fletor é menor quando calculada como laje bidirecional e, portanto, a área de armadura necessária é menor. Além disso, usam-se nas lajes quadradas unidirecionais bitolas maiores, em virtude das verificações do espaçamento, e estas, por sua vez, custam menos, proporcionalmente (por ex: 1φ8 mm custa atualmente R\$ 2,64/kg; 1φ10 mm custa R\$ 2,36/kg; 1φ12 mm custa R\$ 2,24/kg).

OTIMIZAÇÃO DA FUNÇÃO CUSTO CAPÍTULO 6

6.1. INTRODUÇÃO AO PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO

A minimização da função custo será feita por meio do método não-linear de gradiente reduzido genérico (GRG2). O GRG2 é um método de otimização não-linear para a solução de problemas de minimização e maximização (Lasdon (1981)). Basicamente, o GRG2 usa uma implementação do algoritmo gradiente reduzido generalizado (*Generalized Reduced Gradient* GRG). Este procedimento é também chamado gradiente reduzido ou método de projeção de gradiente.

A fim de aplicar restrições não-lineares na solução do problema a ferramenta se baseia em métodos de restrições lineares. Esse algoritmo foi desenvolvido por Wilde e Beightler (1967), tendo sido inicialmente chamado de *constrained derivatives*, e posteriormente por Wolfe (1963) chamando-o de *reduced-gradient method* e, finalmente, por Abadie e Carpenter (1969), passando a ser designado por *generalized reduced gradient* (GRG).

O desenvolvimento do método inicia-se com o problema de minimização não-linear escrito com restrições de igualdade (Figura 6.1). Com o intuito de encontrar a solução do problema, são acrescentadas variáveis fictícias a qualquer restrição de desigualdade.

minimizar $F(X)$ sujeita a: $g_i(X) = 0, i=1, neq$ $L_j < X_j < U_j, j=1, n$	onde L_j e U_j são os limites inferiores e superiores da variável x_j .
--	---

Figura 6.1 - Algoritmo típico de minimização.

A idéia do gradiente reduzido generalizado é converter um problema com restrição em um problema sem restrição, usando os multiplicadores de Lagrange. Portanto, as equações de restrição foram expandidas usando série de Taylor e somente os termos de primeira ordem

foram mantidos. As equações lineares são usadas para reduzir o número de variáveis independentes das funções de restrição. Isto leva aos determinantes Jacobianos e a definição do multiplicador de Lagrange que é uma relação de derivadas parciais. A partir desse algoritmo típico e aplicando as características próprias do GRG, chega-se à solução do problema a ser otimizado.

6.2. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DO GRADIENTE REDUZIDO GENERALIZADO

O desenvolvimento do procedimento começa com o problema de otimização não linear com restrições de igualdade². São acrescentadas folgas necessárias e variáveis de excesso como x_s ou x_s^2 a qualquer restrição de desigualdade. O problema a ser analisado é apresentado como segue:

otimizar: $y(\mathbf{x})$

Sujeito à: $f_i(\mathbf{x}) = 0$ para $i = 1, 2, \dots, m$

Novamente, há m restrições de igualdade e n variáveis independentes com $n > m$. As variáveis apresentam limites superiores e inferiores e o procedimento se restringe as variáveis positivas ou nulas.

O desenvolvimento do método de gradiente reduzido generalizado segue a variação restringida. O caso de duas variáveis independentes e uma equação de restrição será usado para demonstrar o conceito, e então o caso geral será descrito. Considerando então o problema dado pela equação (6.1).

Otimizar : $y(x_1, x_2)$ (6.1)

Sujeito à: $f(x_1, x_2) = 0$

² Deve-se ressaltar que as considerações do método GRG apresentadas neste trabalho tiveram como base o sítio <http://www.mpri.lsu.edu/textbook/Chapter6-c.htm>.

Expandindo a série de Taylor para um ponto factível $\mathbf{x}_k(x_{1k}, x_{2k})$ encontra-se a equação (6.2 a,b).

$$y(x) = y(x_k) + \frac{\partial y}{\partial x_1}(x_k)(x_1 - x_{1k}) + \frac{\partial y}{\partial x_2}(x_k)(x_2 - x_{2k}) \quad (6.2-a)$$

$$0 = f(x_k) + \frac{\partial f}{\partial x_1}(x_k)(x_1 - x_{1k}) + \frac{\partial f}{\partial x_2}(x_k)(x_2 - x_{2k}) \quad (6.2-b)$$

Substituindo a equação (6.2-b) em (6.2-a) a fim de eliminar a variável x_2 , define-se a expressão 6.3.

$$y(x) = y(x_k) - \left(\frac{\partial y}{\partial x_2}(x_k) \right) \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}(x_k) \right)^{-1} \left[f(x_k) + \left(\frac{\partial f}{\partial x_1}(x_k) \right)^{-1} \left[\frac{\partial y}{\partial x_1}(x_k) \frac{\partial f}{\partial x_2}(x_k) - \frac{\partial y}{\partial x_2}(x_k) \frac{\partial f}{\partial x_1}(x_k) \right] (x_1 - x_{1k}) \right] \quad (6.3)$$

O método do gradiente reduzido generalizado usa a aproximação de duas variáveis independentes: encontrar uma melhor direção para o modelo econômico e também satisfazer as equações de restrição, levando a expressão para o gradiente reduzido, dada pela equação (6.2-a). A fim de desenvolver este método, as variáveis independentes são separadas em básicas e não básicas, cujos nomes vêm da programação linear. Há m variáveis básicas, $\mathbf{x}_b$, e $(n-m)$ variáveis não básicas, $\mathbf{x}_{nb}$. Teoricamente, as m equações de restrição podem ser resolvidas para as m variáveis básicas em termos de $(n-m)$ variáveis não básicas (equação 6.4).

$$f_i(\mathbf{x}) = f_i(\mathbf{x}_b, \mathbf{x}_{nb}) = 0 \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, m \quad (6.4)$$

Solucionando a equação $\mathbf{x}_b$ em termos de $\mathbf{x}_{nb}$ da equação (6.4) tem-se a equação (6.5).

$$\mathbf{x}_{i,b} = \tilde{f}_i(\mathbf{x}_{nb}) \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, m \quad (6.5)$$

Na programação linear (PL), as variáveis básicas são todas positivas e as não básicas todas nulas. No entanto, na PL, as variáveis não básicas são usadas tanto para calcular os valores

das variáveis básicas quanto para manipular a obtenção do ótimo do modelo econômico. Deve-se ressaltar que o modelo econômico é uma função, apenas das variáveis não básicas, se caso as equações de restrição dadas pela equação (6.5) forem usadas para eliminar as variáveis básicas resultando na equação (6.6).

$$y(\mathbf{x}) = y(\mathbf{x}_b, \mathbf{x}_{nb}) = y[f_i(\mathbf{x}_{nb}), \mathbf{x}_{nb}] = Y(\mathbf{x}_{nb}) \quad (6.6)$$

Expandindo a equação anterior em série de Taylor no ponto $\mathbf{x}_k$ e incluindo apenas os termos de primeira ordem chega-se na equação (6.7).

$$\sum_{j=1}^m \frac{\partial y}{\partial x_{j,b}}(x_k) dx_{j,b} + \sum_{j=m+1}^n \frac{\partial y}{\partial x_{j,nb}}(x_k) dx_{j,nb} = \sum_{j=m+1}^n \frac{\partial y}{\partial x_{j,nb}}(x_k) dx_{j,nb} \quad (6.7)$$

Em notação matricial, a equação (6.7) pode ser reescrita como apresentado na equação (6.8).

$$\nabla^T Y(\mathbf{x}_k) d\mathbf{x}_{nb} = \nabla^T y_b(\mathbf{x}_k) d\mathbf{x}_b + \nabla^T y_{nb}(\mathbf{x}_k) d\mathbf{x}_{nb} \quad (6.8)$$

A expansão da série de Taylor para as equações de restrição, dadas pela equação (6.4), fornece uma equação que pode ser substituída na equação (6.8), a fim de eliminar as variáveis básicas (equação (6.9)).

$$\sum_{j=1}^m \frac{\partial f_i}{\partial x_j}(x_k) dx_{j,b} + \sum_{j=m+1}^n \frac{\partial f_i}{\partial x_j}(x_k) dx_{j,nb} = 0 \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, m \quad (6.9)$$

A mesma equação também pode ser reescrita de forma matricial, conforme apresentado pela equação (6.10).

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f_1(x_k)}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_1(x_k)}{\partial x_m} \\ \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial f_m(x_k)}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_m(x_k)}{\partial x_m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dx_{1b} \\ \vdots \\ dx_{mb} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1(x_k)}{\partial x_{m+1}} & \dots & \frac{\partial f_1(x_k)}{\partial x_m} \\ \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial f_m(x_k)}{\partial x_{m+1}} & \dots & \frac{\partial f_m(x_k)}{\partial x_m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dx_{m+1} \\ \vdots \\ dx_n \end{bmatrix} = 0 \quad (6.10)$$

A equação (6.11) define $\mathbf{B}_b$ como a matriz das primeiras derivadas parciais de f_i associada as variáveis básicas e $\mathbf{B}_{nb}$ como a matriz associada as variáveis não básicas.

$$\mathbf{B}_b d\mathbf{x}_b + \mathbf{B}_{nb} d\mathbf{x}_{nb} = 0 \quad (6.11)$$

Essa é a forma conveniente da equação (6.10) que pode ser usada para eliminar $d\mathbf{x}_b$ da equação (6.8). Solucionando a equação (6.11) para $d\mathbf{x}_b$ encontra-se a equação (6.12), dada a seguir.

$$d\mathbf{x}_b = -\mathbf{B}_b^{-1} \mathbf{B}_{nb} d\mathbf{x}_{nb} \quad (6.12)$$

Substituindo a equação (6.12) na equação (6.8) tem-se a equação (6.13).

$$\nabla^T Y(\mathbf{x}_k) d\mathbf{x}_{nb} = -\nabla^T y_b(\mathbf{x}_k) \mathbf{B}_b^{-1} \mathbf{B}_{nb} d\mathbf{x}_{nb} + \nabla^T y_{nb}(\mathbf{x}_k) d\mathbf{x}_{nb} \quad (6.13)$$

Eliminando $d\mathbf{x}_{nb}$ da equação (6.13), a equação para o gradiente reduzido $Y(\mathbf{x}_k)$ é obtida (equação (6.14)).

$$\nabla^T Y(\mathbf{x}_k) = \nabla^T y_{nb}(\mathbf{x}_k) - \nabla^T y_b(\mathbf{x}_k) \mathbf{B}_b^{-1} \mathbf{B}_{nb} \quad (6.14)$$

Conhecido tanto os valores parciais das derivadas primeiras do modelo econômico quanto as equações de restrição de um possível ponto, o gradiente reduzido pode ser calculado através da equação (6.14). Dessa maneira, atendem o modelo econômico e as equações de restrição. O método de gradiente reduzido generalizado usa o gradiente reduzido para localizar os melhores valores do modelo econômico e da mesma forma investiga o gradiente de restrição utilizado (equação (6.15)).

$$\mathbf{x}_{nb} = \mathbf{x}_{k,nb} + \alpha \nabla Y(\mathbf{x}_k) \quad (6.15)$$

onde α é o parâmetro de linha ao longo do gradiente reduzido.

As matrizes $\mathbf{B}_b$ e $\mathbf{B}_{nb}$ devem ser avaliadas junto com os gradientes $\nabla y_b(\mathbf{x}_b)$ e $\nabla y_{nb}(\mathbf{x}_k)$. Deve-se salientar que é necessário o conhecimento das variáveis $\mathbf{x}_{nb}$ e $\mathbf{x}_b$ de cada passo. A seguir, são obtidos os valores de $\mathbf{x}_{nb}$ da equação (6.15). Deve-se ressaltar, entretanto, que a

equação (6.4) deve ser solucionada numericamente para $\mathbf{x}_b$, usando o método de Newton-Raphson. O algoritmo de Newton-Raphson para este procedimento é determinado pela equação (6.16).

$$\mathbf{x}_{i+1,b} = \mathbf{x}_{i,b} - \mathbf{B}_b^{-1} \mathbf{f}(\mathbf{x}_{i,b}, \mathbf{x}_{nb}) \quad (6.16)$$

onde os valores das raízes das equações de restrição (6.4) são investigados para $\mathbf{x}_b$, após ter encontrado $\mathbf{x}_{nb}$ de equação (6.15). Assim, os derivativos investigados para a matriz $\mathbf{B}_b$ do gradiente reduzido generalizado podem ser usados, também, no procedimento de busca do método de Newton-Raphson.

6.3. MINIMIZAÇÃO DA FUNÇÃO CUSTO UTILIZANDO O GRG

Para avaliar a minimização da função custo por meio de um programa com base computacional analisou-se as lajes calculadas como armadas em uma direção L210, L220, L230, L310, L320, L330, L410, L420, L430, L509, L516 e L530. Para este grupo de lajes selecionadas para fins de minimização, considerou-se a utilização de materiais de enchimento EPS (Espuma de Poliuretano Expandido) e a lajota cerâmica.

O problema de minimização do custo das lajes formadas por vigotas treliçadas se resume ao problema de minimização da função custo $F(\text{custo})$, respeitando os estados limites últimos e de serviço. As restrições seguem as recomendações das normas NBR 6118 (2003) e NBR 14859-1 (2002). Equaciona-se o problema conforme descrito a seguir.

Minimizar $F(x_i)$ sujeita as seguintes restrições:

a) verificação do estado limite último – solicitações normais

$$g_1(x_i) = M_d - M_u \quad \text{onde} \quad g_1(x_i) \leq 0$$

b) verificação do estado limite último – solicitações tangenciais

$$g_2(x_i) = \tau_{wd} - \tau_{wu} \quad \text{onde} \quad g_2(x_i) \leq 0$$

c) verificação do estado limite de utilização de controle da deformação

$$g_3(x_i) = a_{qp} - a_{lim1} \quad \text{onde} \quad g_3(x_i) \leq 0$$

$$g_4(x_i) = a_{acid} - a_{lim2} \quad \text{onde} \quad g_4(x_i) \leq 0$$

onde:

M_d = momento fletor solicitante de cálculo

M_u = momento fletor resistente de cálculo
 τ_{wd} = tensão convencional de cisalhamento
 τ_{wu} = tensão de cisalhamento última
 a_{qp} = flecha total para a combinação quase-permanente de ações
 a_{lim1} = flecha limite para combinação quase-permanente de ações
 a_{acid} = flecha total devido à carga accidental
 a_{lim2} = flecha limite para a carga accidental

Além dessas restrições, as variáveis referentes à resistência característica do concreto à compressão f_{ck} , altura da capa h_{capa} e distância entre inteiros i_y , que definem a função custo devem satisfazer as seguintes desigualdades:

- $2,0 \leq f_{ck} \leq 5,0$ (kN/cm²)
- $h_{capa} \geq 4$ (cm), para as lajes dos grupos 1,2 e 3 e $h_{capa} \geq 5$ (cm), para as lajes do grupo 4.
- $40 \leq i_y \leq 65$ (cm)

A Figura 6.2 apresenta um corte indicando a altura da capa, a altura da laje e o inteiro i_y .

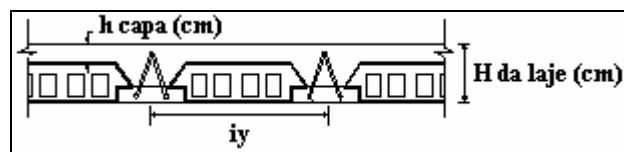


Figura 6.2 - Parâmetros referentes ao EPS.

Na figura 6.3 apresenta-se um fluxograma para melhor compreensão dos dados de entrada, das restrições e verificações feitas no processo de otimização.

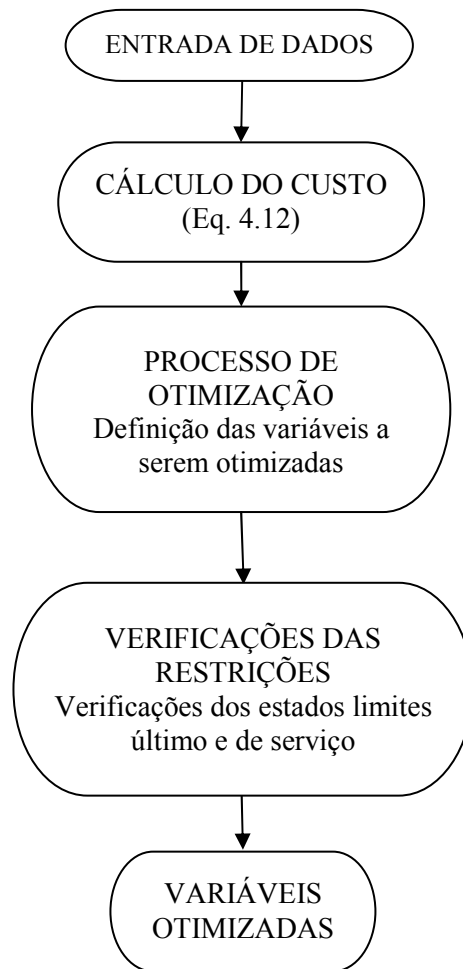


Figura 6.3 - Parâmetros referentes ao EPS.

6.4. APLICAÇÕES DO MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO GRG

As Tabelas 6.1 e 6.2 apresentam os resultados da minimização do custo das lajes analisadas aplicando a NBR 6118 (1978, 2003) e o GRG2, considerando a lajota cerâmica e o EPS como material de enchimento, respectivamente.

Tabela 6.1 - Valores obtidos aplicando a NBR 6118 (1978, 2003) e o GRG2 – Lajota cerâmica.

		NBR 6118 (1978)			NBR 6118 (2003)			MINIMIZAÇÃO GRG2		
Grupo 1	Lajes ($\ell_x \times \ell_y$)	L210	L220	L230	L210	L220	L230	L210	L220	L230
		200 x 200	300 x 350	400 x 600	200 x 200	300 x 350	400 x 600	200 x 200	300 x 350	400 x 600
	f_{ck} (kN/cm ²)	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	4,00	2,00	3,50	2,00
	h capa (cm)	4,00	4,00	4,00	4,00	5,50	6,00	4,00	4,70	4,80
	h lajota (cm)	8,00	8,00	12,00	8,00	8,00	12,00	8,00	8,00	12,00
	h laje (cm)	12,00	12,00	16,00	12,00	13,50	18,00	12,00	12,70	16,80
	Armadura	0,00	1 $\varnothing$ 8.0	1 $\varnothing$ 10.0	0,00	1 $\varnothing$ 8.0	2 $\varnothing$ 6.3	0,00	1 $\varnothing$ 8.0	2 $\varnothing$ 6.3
	As (cm ²)	0,00	0,50	0,79	0,00	0,50	0,62	0,00	0,50	0,62
	custo (R\$/m ²)	40,55	44,16	48,28	40,55	47,1	54,33	40,55	46,00	51,91
Grupo 2	Lajes ($\ell_x \times \ell_y$)	L310	L320	L330	L310	L320	L330	L310	L320	L330
		200 x 650	300 x 700	500 x 600	200 x 650	300 x 700	500 x 600	200 x 650	300 x 700	500 x 600
	f_{ck} (kN/cm ²)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	5,00	2,00	2,00	4,50
	h capa (cm)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	6,00	4,00	4,00	6,00
	h lajota (cm)	12,00	12,00	16,00	12,00	12,00	16,00	12,00	12,00	16,00
	h laje (cm)	16,00	16,00	20,00	16,00	16,00	22,00	16,00	16,00	22,00
	Armadura	0,00	1 $\varnothing$ 6.3	2 $\varnothing$ 8.0	0,00	1 $\varnothing$ 6.3	1 $\varnothing$ 10.0	0,00	1 $\varnothing$ 6.3	1 $\varnothing$ 10.0
	As (cm ²)	0,00	0,31	1,00	0,00	0,31	0,79	0,00	0,31	0,79
	custo (R\$/m ²)	44,58	46,70	54,79	44,58	46,70	60,28	44,58	46,70	59,56
Grupo 3	Lajes ($\ell_x \times \ell_y$)	L410	L418	L430	L410	L418	L430	L410	L418	L430
		200 x 650	300 x 600	400 x 650	200 x 650	300 x 600	400 x 650	200 x 650	300 x 600	400 x 650
	f_{ck} (kN/cm ²)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	2,00	2,00	3,00
	h capa (cm)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,50	4,00	4,00	4,00
	h lajota (cm)	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00
	h laje (cm)	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,50	20,00	20,00	20,00
	Armadura	0,00	1 $\varnothing$ 6.3	1 $\varnothing$ 8.0	0,00	1 $\varnothing$ 6.3	1 $\varnothing$ 8.0	0,00	1 $\varnothing$ 6.3	1 $\varnothing$ 8.0
	As (cm ²)	0,00	0,31	0,50	0,00	0,31	0,50	0,00	0,31	0,50
	custo (R\$/m ²)	48,41	50,83	51,92	48,41	50,83	53,65	48,41	50,83	52,93
Grupo 4	Lajes ($\ell_x \times \ell_y$)	L509	L516	L530	L509	L516	L530	L509	L516	L530
		300 x 750	400 x 700	500 x 750	300 x 750	400 x 700	500 x 750	300 x 750	400 x 700	500 x 750
	f_{ck} (kN/cm ²)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,50	2,00	2,00	3,60
	h capa (cm)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,50	5,00	5,00	5,00
	h lajota (cm)	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
	h laje (cm)	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,50	25,00	25,00	25,00
	Armadura	1 $\varnothing$ 6.3	1 $\varnothing$ 8.0	2 $\varnothing$ 8.0	1 $\varnothing$ 6.3	1 $\varnothing$ 8.0	2 $\varnothing$ 8.0	1 $\varnothing$ 6.3	1 $\varnothing$ 8.0	2 $\varnothing$ 8.0
	As (cm ²)	0,31	0,50	1,00	0,31	0,50	1,00	0,31	0,50	1,00
	custo (R\$/m ²)	59,40	60,66	63,79	59,40	60,66	67,28	59,40	60,66	66,51
OBS.: O intereixo considerado é fixo de 42 cm.										

Tabela 6.2 - Valores obtidos aplicando a NBR 6118 (1978, 2003) e o GRG2 - EPS.

		NBR 6118 (1978)			NBR 6118 (2003)			MINIMIZAÇÃO GRG2		
Grupo 1	Lajes ($\ell_x \times \ell_y$)	L210	L220	L230	L210	L220	L230	L210	L220	L230
		200 x 200	300 x 350	400 x 600	200 x 200	300 x 350	400 x 600	200 x 200	300 x 350	400 x 600
	f_{ck} (kN/cm ²)	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	3,50	2,00	5,00	4,77
	h capa (cm)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,50	5,50	4,00	4,16	4,00
	h lajota (cm)	8,00	8,00	12,00	8,00	8,00	12,00	8,00	8,00	12,00
	h laje (cm)	12,00	12,00	16,00	12,00	12,00	17,50	12,00	12,00	16,00
	intereixo	42,00	42,00	42,00	42,00	42,00	42,00	42,00	56,30	46,70
	Armadura	0,00	1 $\varnothing$ 8.0	2 $\varnothing$ 6.3	0,00	1 $\varnothing$ 8.0	2 $\varnothing$ 6.3	0,00	1 $\varnothing$ 8.0	1 $\varnothing$ 10.0
	As (cm ²)	0,00	0,50	0,62	0,00	0,50	0,62	0,00	0,50	0,79
	custo (R\$/m ²)	44,13	48,23	55,42	44,13	49,54	59,19	44,13	45,85	56,05
Grupo 2	Lajes ($\ell_x \times \ell_y$)	L310	L320	L330	L310	L320	L330	L310	L320	L330
		200 x 650	300 x 700	500 x 600	200 x 650	300 x 700	500 x 600	200 x 650	300 x 700	500 x 600
	f_{ck} (kN/cm ²)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	4,00	2,00	2,27	4,95
	h capa (cm)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	6,5	4,00	4,00	6,00
	h lajota (cm)	12,00	12,00	16,00	12,00	12,00	16,00	12,00	12,00	16,00
	h laje (cm)	16,00	16,00	20,00	16,00	16,00	22,50	16,00	16,00	22,00
	intereixo	42,00	42,00	42,00	42,00	42,00	42,00	63,80	63,60	53,50
	Armadura	0,00	1 $\varnothing$ 6.3	1 $\varnothing$ 10.0	0,00	1 $\varnothing$ 6.3	1 $\varnothing$ 10.0	0,00	1 $\varnothing$ 8.0	2 $\varnothing$ 8.0
	As (cm ²)	0,00	0,31	0,79	0,00	0,31	0,79	0,00	0,50	1,00
	custo (R\$/m ²)	51,97	54,01	63,37	51,97	54,01	70,47	48,02	50,06	66,76
Grupo 3	Lajes ($\ell_x \times \ell_y$)	L410	L418	L430	L410	L418	L430	L410	L418	L430
		200 x 650	300 x 600	400 x 650	200 x 650	300 x 600	400 x 650	200 x 650	300 x 600	400 x 650
	f_{ck} (kN/cm ²)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,50	2,00	2,00	2,85
	h capa (cm)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,50	4,00	4,00	4,00
	h lajota (cm)	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,50	16,00	16,00	16,00
	h laje (cm)	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
	intereixo	42,00	42,00	42,00	42,00	42,00	42,00	63,80	60,00	58,00
	Armadura	0,00	1 $\varnothing$ 6.3	1 $\varnothing$ 8.0	0,00	1 $\varnothing$ 6.3	1 $\varnothing$ 8.0	0,00	1 $\varnothing$ 6.3	1 $\varnothing$ 10.0
	As (cm ²)	0,00	0,31	0,50	0,00	0,31	0,50	0,00	0,31	0,79
	custo (R\$/m ²)	59,06	61,61	62,45	59,06	61,61	63,42	55,01	56,71	60,25
Grupo 4	Lajes ($\ell_x \times \ell_y$)	L509	L516	L530	L509	L516	L530	L509	L516	L530
		300 x 750	400 x 700	500 x 750	300 x 750	400 x 700	500 x 750	300 x 750	400 x 700	500 x 750
	f_{ck} (kN/cm ²)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	2,00	2,00	3,44
	h capa (cm)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,50	5,00	5,00	5,14
	h lajota (cm)	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
	h laje (cm)	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,14
	intereixo	42,00	42,00	42,00	42,00	42,00	42,00	62,50	63,60	56,80
	Armadura	1 $\varnothing$ 6.3	1 $\varnothing$ 8.0	1 $\varnothing$ 10.0	1 $\varnothing$ 6.3	1 $\varnothing$ 8.0	1 $\varnothing$ 10.0	1 $\varnothing$ 6.3	1 $\varnothing$ 10.0	1 $\varnothing$ 12.5
	As (cm ²)	0,31	0,50	0,79	0,31	0,50	0,79	0,31	0,79	1,23
	custo (R\$/m ²)	72,96	74,33	75,36	72,96	74,33	77,19	67,15	68,47	72,94

As Figuras 6.4 e 6.5, referentes às lajes com lajota cerâmica e EPS, respectivamente, permitem observar as diferenças entre os valores dos custos para as lajes calculadas

segundo a NBR 6118 (1978, 2003) e a aplicação do processo de minimização GRG2, cujas restrições consideram as verificações de cálculo da NBR 6118 (2003).

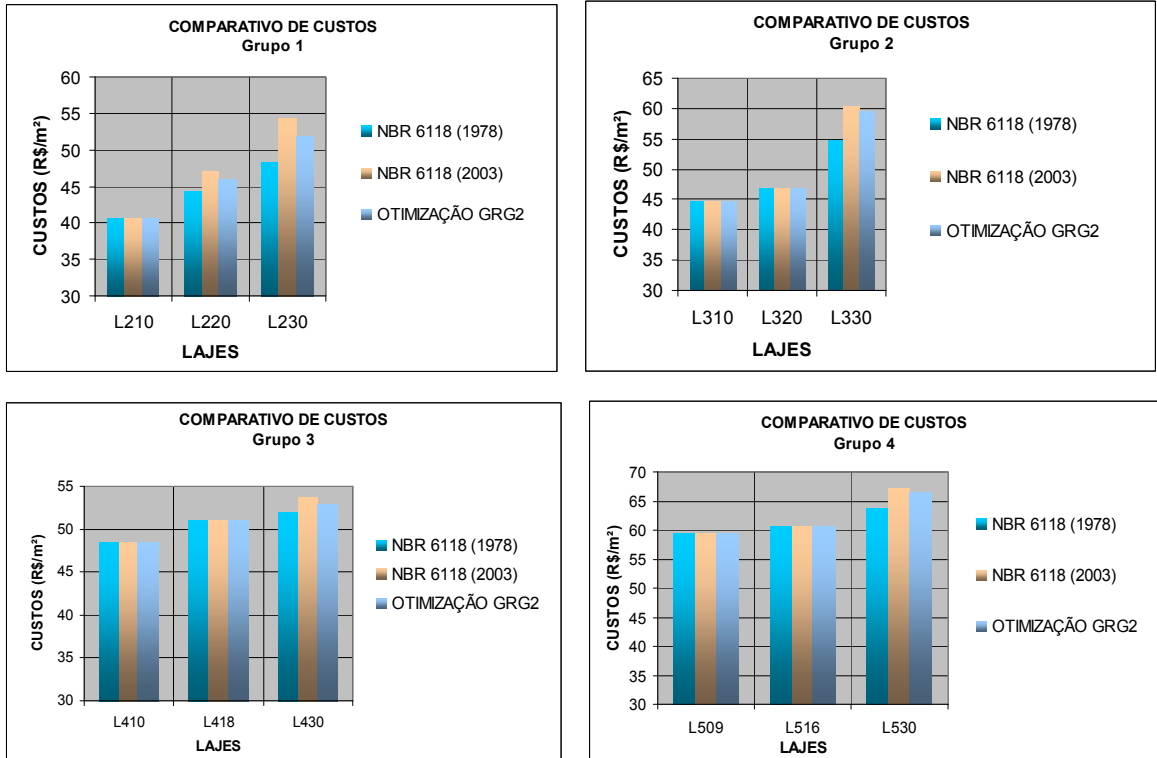


Figura 6.4 - Comparações de custos – Lajota Cerâmica.

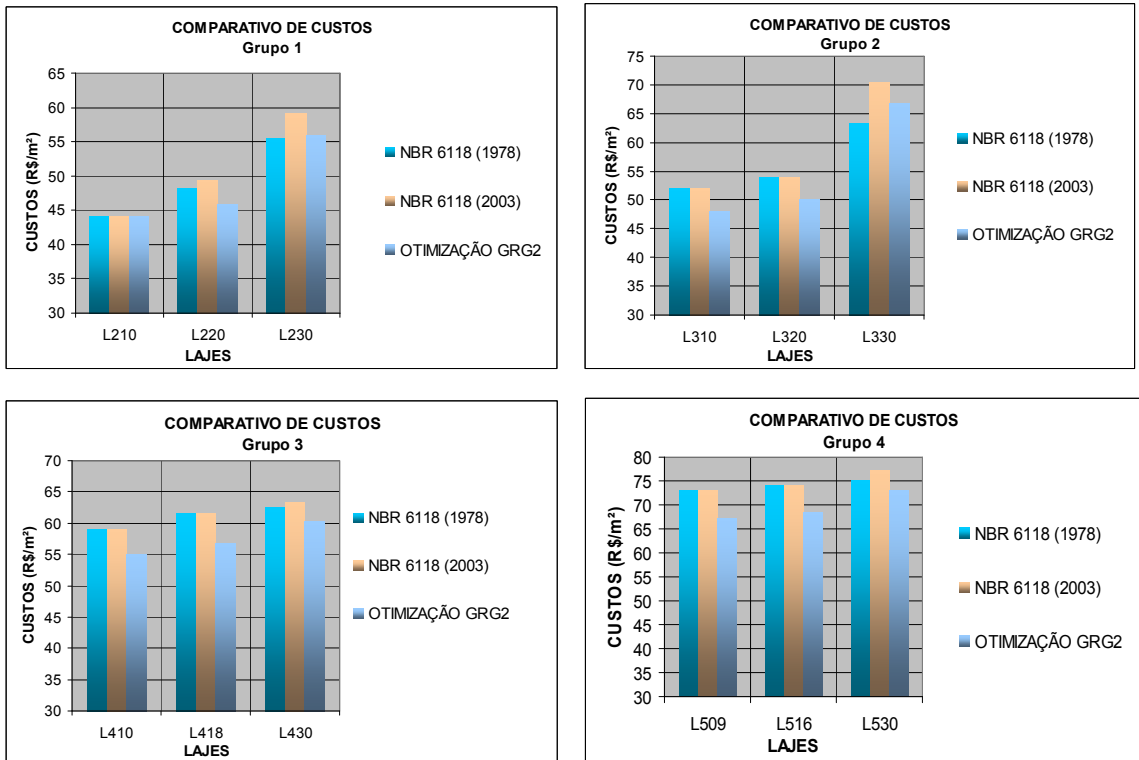


Figura 6.5 - Comparações de custos – EPS.

Ao utilizar o programa computacional para fins de minimização, constata-se que nas lajes de menores vãos em que se utiliza a lajota cerâmica como material de enchimento não há significativas diferenças de custo entre a NBR 6118 (1978) e NBR 6118 (2003). Nas lajes com vãos maiores, ou seja, L230, L330, L430 e L530, observa-se que ao aplicar a NBR 6118 (2003) obtém-se um maior custo quando comparado com os valores da minimização utilizando o GRG2, chegando a 16,36% e 26,17%, respectivamente, para as lajes L230 e L330. Estas diferenças são devido às novas verificações de flecha aplicadas pela NBR 6118 (2003).

No entanto, para as lajes em que se utilizam EPS como material de enchimento, observa-se que os valores dos custos obtidos com a minimização via GRG2 são menores que os valores de cálculo, tanto da nova norma quanto da NBR 6118 (1978), exceto para as lajes L220, L230, L330, L430 e L530, as quais são muito solicitadas na relação cargas aplicadas x dimensões. Quando este fato se verifica, observa-se que os custos obtidos com a minimização da NBR 6118 (2003) não são mais econômicos que as lajes calculadas segundo a NBR 6118 (1978).

Para as lajes em que se utiliza o EPS como material de enchimento, também não há significativas diferenças de custo, entre a NBR 6118 (1978) e (2003), nas lajes de menores vãos. Nas lajes com vãos maiores, faz-se as mesmas observações que as feitas para as lajes onde se utiliza a lajota cerâmica como material de enchimento, ou seja, ao aplicar a NBR 6118 (2003), obtém-se um maior de custo, chegando a 13,03% e 20,81%, respectivamente, para as lajes L230 e L330.

Com o objetivo de se analisar as variações ocorridas para uma das lajes estudadas neste trabalho, elabora-se uma tabela com dados complementares. A Tabela 6.3 apresenta os dados complementares para a laje L530.

Tabela 6.3 – Dados complementares para a laje L530.

ANÁLISE ESPECÍFICA PARA A LAJE L530 (500x750)				
		NBR 6118 (1978)	NBR 6118 (2003)	MINIMIZAÇÃO (GRG2)
CERÂMICA	Tipo de treliça	TR 20745	TR 20745	TR 20745
	f_{ck} (kN/cm ²)	2,00	3,50	3,60
	Carga acidental (kN/m ²)	3,00	3,00	3,00
	Altura da laje (cm)	25,00	25,5	25,00
	Altura da lajota cerâmica (cm)	20	20	20
	h capa (cm)	5,00	5,5	5,00
	Volume de concreto (m ³ /laje)	4,68	4,87	4,68
	Armadura adicional	2 ø 8.00	2 ø 8.00	2 ø 8.00
	As adicional (cm ²)	1,00	1,00	1,00
	Flecha admissível (cm)	1,67	2,00	2,00
	Flecha calculada (cm)	0,57	1,92	1,98
	Custo (R\$/m ²)	63,79	67,28	66,51
EPS	Tipo de treliça	TR 20745	TR 20745	TR 20745
	f_{ck} (kN/cm ²)	2,00	3,00	3,44
	Carga acidental (kN/m ²)	3,00	3,00	3,00
	Altura da laje (cm)	25,00	25,5	25,14
	Altura do enchimento de EPS (cm)	20	20	20
	h capa (cm)	5,00	5,5	5,14
	Intereixo (cm)	42,00	42,00	56,80
	Volume de concreto (m ³ /laje)	3,95	4,14	3,37
	Armadura adicional	1 ø 10.00	1 ø 10.00	1 ø 12.50
	As adicional (cm ²)	0,79	0,79	1,23
	Flecha admissível (cm)	1,67	2,00	2,00
	Flecha calculada (cm)	0,51	1,95	1,99
	Custo (R\$/m ²)	75,36	77,19	72,94

Ao analisar a laje L530 constituída de material de enchimento cerâmico, observa-se que no calculo segundo a NBR 6118 (1978) a flecha calculada é bem menor que a flecha admissível, o que implica em valores mínimos de dimensionamento ($f_{ck} = 2$ kN/m² e altura da capa de 5 cm), obtendo-se um custo de R\$ 63,79. No entanto, para mesma laje calculada segundo a NBR 6118 (2003), a flecha calculada é de 1,92 cm (flecha admissível igual a 2cm), considerando f_{ck} igual a 3,50 kN/cm² e altura da capa de 5,50 cm, resultando um custo final de R\$ 67,28. Ao aplicar o processo de minimização (GRG2), observa-se que o f_{ck} se altera para 3,60 kN/m² e altura da capa para 5,00 cm, obtendo um custo otimizado igual a R\$ 61,51.

Ao analisar a laje L530 constituída de material de enchimento EPS, observa-se que no calculo segundo a NBR 6118 (1978) a flecha calculada também é bem menor que a flecha

admissível ($0,51 < 1,67$), o que implica em valores mínimos de dimensionamento ($f_{ck} = 2 \text{ kN/m}^2$ e altura da capa de 5 cm,) para um entreixo de 42 cm, obtendo-se um custo de R\$ 75,36. No entanto, a mesma laje sendo calculada segundo a NBR 6118 (2003) observa-se que a flecha calculada é de 1,95 cm e a flecha admissível 2,00 cm ($f_{ck} = 3 \text{ kN/m}^2$ e altura da capa de 5,50 cm), obtendo-se um custo de R\$ 77,19. Observa-se que ao aplicar o processo de minimização via GRG2, o f_{ck} otimizado é de 3,44 kN/m^2 e altura da capa de 5,14 cm, resultando um custo final igual a R\$ 72,94. Na L530 com EPS, o custo via minimização, é mais econômico quando comparado com a NBR 6118 (1978). Isso ocorre, porque com o entreixo variando de 42,00 cm para 56,80 cm, tem-se uma redução de vigotas e do volume de concreto, embora o custo do material de enchimento seja maior. A Tabela 6.4 apresenta os custos para cada etapa.

Tabela 6.4 – Custos dos insumos NBR 6118 (1978).

	NBR 6118 (1978)			GRG2		
Processo Produtivo						
VIGOTA						
Armadura adicional	$Q_8 =$	1	-	$Q_8 =$	1	-
	$P_9 =$	2,36	R\$/kg	$P_9 =$	2,24	R\$/kg
	$P_{ad} =$	0,617	kg/m	$P_{ad} =$	0,963	kg/m
	$C_9 =$	1,46	R\$/m	$C_9 =$	2,16	R\$/m
Total		7,09	R\$/m		7,79	R\$/m
	$Q_{11} =$	9000	cm	$Q_{11} =$	6500	cm
Total da Vigota	$C_{11} =$	17,01	R\$/m²	$C_{11} =$	13,50	R\$/m²
ENCHIMENTO (EPS)	$Q_{12} =$	170	peça	$Q_{12} =$	130	peça
	$P_{10} =$	3,12	R\$/peça	$P_{10} =$	4,66	R\$/peça
Total	$C_{12} =$	14,14	R\$/m²	$C_{12} =$	16,14	R\$/m²
COXINHO	$Q_{13} =$	170	peça	$Q_{13} =$	130	peça
	$P_{11} =$	0,78	R\$/peça	$P_{11} =$	1,16	R\$/peça
Total	$C_{13} =$	3,54	R\$/m²	$C_{13} =$	4,04	R\$/m²
Total do Processo Produtivo =	R\$ 47,14/m²			R\$ 26,83/m²		
Custo total da laje:		75,36	R\$/m²		72,94	R\$/m²

Observa-se que para o cálculo segundo a NBR 6118 (1978), a armadura adicional selecionada é de 1 $\varnothing$ 10.00 mm, cujo preço é de R\$2,36/kg, com total de R\$1,46/m. A quantidade de vigotas pré-fabricadas é de 90 m, obtendo-se assim um custo total da vigota de R\$17,01/m².

Ao analisar o material de enchimento, observa-se que suas dimensões em centímetros são 40 x 30 x 20, totalizando um volume de 0,024 m³. Como o preço do EPS considerado é de R\$130/m³, obtém-se para P_{10} o preço de R\$3,12/peça, com um custo total de R\$14,14/m². As dimensões do coxinho são 30 x 20 x 10 (cm), totalizando 0,006m³, obtendo-se para P_{11} o valor de R\$ 0,78/peça com um custo total de R\$3,54/m².

No processo de montagem e concretagem, o volume de concreto é de 3,95m³ e o preço do concreto de R\$132,15/m³, com custo total de R\$13,91/m².

Para o cálculo via GRG2, o intoreixo se altera de 42,00 cm para 56,80 cm, portanto, a armadura adicional selecionada é de 1 $\varnothing$ 12.50 mm, cujo preço é de R\$2,24/kg, com total de R\$2,16/m. A quantidade de vigotas pré-fabricadas é de 65 m, obtendo-se assim um custo total da vigota de R\$13,50/m².

Ao analisar o material de enchimento, observa-se que suas dimensões em centímetros são 40 x 44,77 x 20, totalizando um volume de 0,036 m³. Como o preço do EPS considerado é de R\$130/m³, obtém-se para P_{10} o valor de R\$4,66/peça, com custo total de R\$16,14/m². As medidas do coxinho são 44,77 x 20 x 10 (cm), totalizando 0,0089 m³, obtendo-se para P_{11} o preço R\$ 0,78/peça, com um custo total de R\$4,04/m².

Já no processo de montagem e concretagem, o concreto tem um volume de 3,37m³ para esta laje, totalizando custo de R\$12,83/m².

Portanto, comparando os custos obtidos em cada etapa, obtém-se a diferença de custo final de R\$2,42/m², onde o processo de transporte não se altera. Na Tabela 6.5 visualizam-se estas diferenças de custo para cada etapa.

Tabela 6.5 – Diferenças de custos para cada etapa.

	Custo [R\$/ m²]		Diferença de Custo [R\$/m²]
	NBR 6118 (1978)	GRG2	
Processo Produtivo	47,14	45,8	1,34
Processo de Montagem e Concretagem	27,91	26,83	1,08
		Total	2,42

Observa-se, então, a diferença de custo utilizando-se a NBR 6118 (1978) e a minimização via GRG2, em que o aumento do intereixo, resulta em um menor volume de concreto e um menor número de vigotas.

6.5. ESTUDO DA VARIAÇÃO DOS PREÇOS DOS INSUMOS

Com o intuito de verificar as alterações ocorridas na minimização da Função Custo, ao se impor variações nos preços iniciais de alguns insumos, analisa-se as Figuras 6.5, 6.8, 6.10 e 6.12, onde se observa que a maior representatividade no custo total das lajes é devido ao concreto e a armadura. Portanto, selecionou-se o grupo das lajes L509, L516 e L530 e determinou-se uma variação, para mais e para menos, de 40% no preço do concreto e da armadura. Estas análises são feitas tanto para as lajes de material de enchimento cerâmico como de EPS. Todos os custos obtidos empregando os critérios da NBR 6118 (2003) e, posteriormente, minimizados. Os resultados obtidos para as lajes com elementos cerâmicos estão apresentados nas Tabelas 6.6, 6.7 e 6.8.

Tabela 6.6 - Variações dos preços do concreto e da armadura para a L509.

	Laje 509 (300x350)- Cerâmica									
	Função Custo NBR 6118 (2003)					Minimização GRG2				
	Referência	+ 40% Concreto	- 40% Concreto	+ 40% Armadura	- 40% Armadura	Referência	+ 40% Concreto	- 40% Concreto	+ 40% Armadura	- 40% Armadura
Concreto	31,02%	37,91%	22,40%	27,90%	34,92%	31,02%	37,91%	22,40%	27,90%	34,92%
Armadura	34,16%	30,74%	38,42%	38,35%	28,91%	34,16%	30,74%	38,42%	38,35%	28,91%
Cerâmica	9,16%	8,24%	10,30%	8,24%	10,31%	9,16%	8,24%	10,30%	8,24%	10,31%
Escoramento	3,37%	3,03%	3,79%	3,03%	3,79%	3,37%	3,03%	3,79%	3,03%	3,79%
Mão-de-Obra	8,34%	7,51%	9,39%	7,51%	9,39%	8,34%	7,51%	9,39%	7,51%	9,39%
Administração	13,44%	12,09%	15,12%	14,51%	12,10%	13,44%	12,09%	15,12%	14,51%	12,10%
Transporte	0,52%	0,47%	0,58%	0,47%	0,58%	0,52%	0,47%	0,58%	0,47%	0,58%
Custo Final [R\$/m²]	59,40	66,00	52,81	66,04	52,77	59,40	66,00	52,81	66,04	52,77
Custo Final [%]	-	11,11%	-11,09%	11,18%	-11,16%	-	11,11%	-11,09%	11,18%	-11,16%

Tabela 6.7 - Variações dos preços do concreto e da armadura para a L516.

	Laje 516 (400x700) - Cerâmica									
	Função Custo NBR 6118 (2003)					Minimização GRG2				
	Referência	+ 40% Concreto	- 40% Concreto	+ 40% Armadura	- 40% Armadura	Referência	+ 40% Concreto	- 40% Concreto	+ 40% Armadura	- 40% Armadura
Concreto	30,18%	36,97%	21,74%	26,99%	34,21%	30,18%	36,97%	21,74%	26,99%	34,21%
Armadura	35,08%	31,67%	39,32%	39,39%	29,62%	35,08%	31,67%	39,32%	39,39%	29,62%
Cerâmica	9,04%	8,16%	10,14%	8,09%	10,25%	9,04%	8,16%	10,14%	8,09%	10,25%
Escoramento	3,30%	2,98%	3,70%	2,95%	3,74%	3,30%	2,98%	3,70%	2,95%	3,74%
Mão-de-Obra	8,18%	7,38%	9,17%	7,32%	9,27%	8,18%	7,38%	9,17%	7,32%	9,27%
Administração	13,72%	12,38%	15,37%	14,81%	12,33%	13,72%	12,38%	15,37%	14,81%	12,33%
Transporte	0,51%	0,46%	0,57%	0,45%	0,58%	0,51%	0,46%	0,57%	0,45%	0,58%
Custo Final [R\$/m ²]	60,53	67,20	54,12	67,82	53,50	60,53	67,20	54,12	67,82	53,50
Custo Final [%]	-	10,78%	-10,78%	11,80%	-11,80%	-	10,78%	-10,78%	11,80%	-11,80%

Tabela 6.8 - Variações dos preços do concreto e da armadura para a L530.

	Laje 530 (500x750) - Cerâmica									
	Função Custo NBR 6118 (2003)					Minimização GRG2				
	Referência	+ 40% Concreto	- 40% Concreto	+ 40% Armadura	- 40% Armadura	Referência	+ 40% Concreto	- 40% Concreto	+ 40% Armadura	- 40% Armadura
Concreto	32,57%	39,73%	23,48%	28,96%	36,38%	31,79%	35,55%	22,88%	29,67%	38,02%
Armadura	35,11%	31,38%	39,84%	39,63%	29,68%	35,52%	33,56%	40,16%	39,24%	28,92%
Cerâmica	8,09%	7,23%	9,18%	7,19%	9,36%	8,18%	7,73%	9,25%	7,12%	9,12%
Escoramento	2,97%	2,66%	3,37%	2,64%	3,44%	3,01%	2,84%	3,40%	2,62%	3,35%
Mão-de-Obra	7,37%	6,59%	8,36%	6,55%	8,53%	7,45%	7,04%	8,43%	6,48%	8,31%
Administração	13,44%	12,01%	15,25%	14,62%	12,07%	13,59%	12,84%	15,37%	14,47%	11,76%
Transporte	0,46%	0,41%	0,52%	0,41%	0,53%	0,46%	0,44%	0,52%	0,40%	0,52%
Custo Final [R\$/m ²]	67,28	75,27	59,28	75,67	58,88	66,51	74,19	58,82	74,90	58,11
Custo Final [%]	-	11,88%	-11,89%	12,47%	-12,49%	-	11,55%	-11,56%	12,61%	-12,63%

Observa-se, inicialmente, que para as lajes L509 e L516 não há diferenças de custo utilizando-se a NBR 6118 (2003) e a minimização via GRG2. Isto ocorre porque os valores obtidos no dimensionamento são os mínimos valores de f_{ck} e de altura de capa permitido, não sofrendo alterações ao variar os preços dos insumos.

Nas tabelas pode-se observar, baseado nos valores de referência, quando se eleva o preço do concreto em 40% a porcentagem do custo final se eleva em torno de 12,00%. Ao diminuirmos o preço de concreto, seu custo final reduz na faixa dos mesmos 12,00%.

Analisando os custos finais relativos ao aumento do preço da armadura em 40%, observa-se que estes se elevam em torno de 12,5%. Ao diminuir o preço da armadura em 40%, seu custo final reduz também na faixa de 12,5%.

Nas lajes L509, L516 e L530 há diferenças de custo entre os valores obtidos pela NBR 6118 (2003) e a minimização via GRG2, pois como se observa na Tabela 6.9, a laje L530 é a que tem seus custos alterados quando calculada utilizando a NBR 6118 (1978), a NBR 6118 (2003) e o processo de minimização via GRG2. Na referida laje, os custos calculados segundo a NBR 6118 (2003) partem de R\$ 67,28 (valor de referência) para R\$ 75,27 com o aumento de 40% do preço do concreto e para R\$ 75,67 com o aumento de 40% do preço da armadura. Aumento de 11,88% e 12,47%, respectivamente. Com a diminuição de 40% do custo do concreto e da armadura, o custo final diminui em 11,89% e 12,49%, respectivamente.

Os resultados para as lajes com EPS estão apresentados nas Tabelas 6.9, 6.10 e 6.11.

Tabela 6.9 - Variações dos preços do concreto e da armadura para a L509.

Laje 509 (300x350) - EPS										
	Função Custo NBR 6118 (2003)					Minimização GRG2				
	Referência	+ 40% Concreto	- 40% Concreto	+ 40% Armadura	- 40% Armadura	Referência	+ 40% Concreto	- 40% Concreto	+ 40% Armadura	- 40% Armadura
Concreto	21,74%	27,29%	15,27%	19,92%	23,91%	25,08%	31,98%	18,17%	23,55%	28,32%
Armadura	27,81%	25,84%	30,11%	31,82%	23,00%	24,14%	25,75%	30,97%	32,14%	23,28%
EPS	24,23%	22,51%	26,23%	22,21%	26,66%	25,09%	19,07%	22,94%	19,07%	22,93%
Escoramento	2,74%	2,55%	2,97%	2,51%	3,02%	3,01%	2,54%	3,05%	2,54%	3,05%
Mão-de-Obra	6,79%	6,31%	7,35%	6,23%	7,47%	7,24%	6,29%	7,57%	6,29%	7,56%
Administração	16,27%	15,11%	17,61%	16,92%	15,48%	14,97%	13,99%	16,83%	16,02%	14,39%
Transporte	0,42%	0,39%	0,46%	0,39%	0,46%	0,46%	0,39%	0,47%	0,39%	0,47%
Custo Final [R\$/m ²]	72,96	78,53	67,39	79,60	66,32	67,15	72,05	62,07	71,57	62,72
Custo Final [%]	-	7,63%	-7,63%	9,10%	-9,10%	-	7,30%	-7,57%	6,58%	-6,60%

Tabela 6.10 - Variações dos preços do concreto e da armadura para a L516.

Laje 516 (400x700) - EPS										
	Função Custo NBR 6118 (2003)					Minimização GRG2				
	Referência	+ 40% Concreto	- 40% Concreto	+ 40% Armadura	- 40% Armadura	Referência	+ 40% Concreto	- 40% Concreto	+ 40% Armadura	- 40% Armadura
Concreto	21,14%	26,58%	14,84%	19,29%	23,40%	24,64%	31,24%	17,69%	22,85%	27,78%
Armadura	28,63%	26,65%	30,92%	32,78%	23,59%	25,20%	26,56%	31,79%	33,11%	23,88%
EPS	23,98%	22,33%	25,90%	21,88%	26,54%	24,53%	18,91%	22,64%	18,78%	22,83%
Escoramento	2,69%	2,51%	2,91%	2,45%	2,98%	2,95%	2,50%	2,99%	2,48%	3,01%
Mão-de-Obra	6,67%	6,21%	7,21%	6,09%	7,39%	7,09%	6,19%	7,41%	6,15%	7,48%
Administração	16,46%	15,33%	17,78%	17,14%	15,65%	15,13%	14,22%	17,02%	16,25%	14,56%
Transporte	0,41%	0,39%	0,45%	0,38%	0,46%	0,45%	0,38%	0,46%	0,38%	0,46%
Custo Final [R\$/m ²]	74,33	79,84	68,83	81,49	67,18	68,47	73,26	63,35	73,44	63,49
Custo Final [%]	-	7,41%	-7,40%	9,63%	-9,62%	-	7,00%	-7,48%	7,26%	-7,27%

Tabela 6.11 - Variações dos preços do concreto e da armadura para a L530.

	Laje 530 (500x750) - EPS									
	Função Custo NBR 6118 (2003)					Minimização GRG2				
	Referência	+ 40% Concreto	- 40% Concreto	+ 40% Armadura	- 40% Armadura	Referência	+ 40% Concreto	- 40% Concreto	+ 40% Armadura	- 40% Armadura
Concreto	22,92%	28,73%	16,06%	20,86%	25,42%	19,52%	24,82%	14,02%	22,00%	23,16%
Armadura	28,64%	26,48%	31,19%	32,88%	23,49%	26,41%	24,67%	28,21%	29,47%	20,65%
EPS	22,90%	21,18%	24,94%	20,85%	25,40%	27,66%	25,84%	29,55%	23,42%	30,24%
Escoramento	2,59%	2,40%	2,82%	2,36%	2,87%	2,74%	2,56%	2,93%	2,46%	2,94%
Mão-de-Obra	6,42%	5,94%	6,99%	5,85%	7,12%	6,63%	6,19%	7,08%	5,96%	7,06%
Administração	16,12%	14,91%	17,56%	16,84%	15,25%	16,62%	15,53%	17,76%	16,30%	15,51%
Transporte	0,40%	0,37%	0,43%	0,36%	0,44%	0,42%	0,39%	0,45%	0,38%	0,45%
Custo Final [R\$/m ²]	77,19	83,49	70,89	84,79	69,59	72,94	78,08	68,28	81,14	68,11
Custo Final [%]	-	8,16%	-8,16%	9,85%	-9,85%	-	7,05%	-6,39%	11,24%	-6,62%

Ao se analisar as Tabelas 6.10, 6.11 e 6.12, onde os custos finais foram obtidos segundo a NBR 6118 (2003), pode-se observar, baseado nos valores de referências, que quando se eleva o preço do concreto em 40% a porcentagem do custo final se eleva em torno de 7% à 8%, e ao diminuir o preço de concreto, seu custo final reduz na faixa de 7% à 8%.

Analisando os custos finais relativos ao aumento do preço da armadura em 40%, observa-se que estes se elevam em torno de 9% à 10%, ao diminuirmos o preço da armadura em 40%, seu custo final reduz na faixa dos mesmos 9% à 10%.

Para as lajes em que se utiliza material de enchimento cerâmico, pode-se observar que com o aumento de 40% do preço do concreto, a porcentagem deste insumo no custo final se eleva em torno de 7% para as lajes L509 e L516, e em torno de 8% para a L530. Ao reduzir o preço do concreto de 40%, há uma diminuição de aproximadamente 8,5% do custo do concreto no custo final, passando de 30,18% para 21,74% , no caso da L520.

Observa-se também que com o aumento de 40% do preço do concreto, a porcentagem da armadura no custo final diminui 3,41% para as lajes L509 e L516, ou seja, passando de 34,16% para 30,74% (conforme Tabela 5.50) para a laje L509 e de 35,08% para 31,67% (conforme a Tabela 5.51) para a laje L516, e finalmente um redução de 3,73% para a L530.

De mesmo modo, ao se reduzir o preço do concreto de 40%, há um aumento de aproximadamente 4,5% do custo da armadura no custo final, passando de 35,52% para 39,84% , no caso da L530.

De mesmo modo quando se estuda o aumento e a diminuição da armadura em 40%, observa-se que com o aumento de 40% do preço da armadura, a percentagem deste insumo no custo final se eleva em torno de 4% para as três lajes. Ao reduzir o preço da armadura de 40%, há uma diminuição de aproximadamente 5,5% para as lajes L509 e L516 e de 6,5% da armadura no custo final, para a laje L530, passando de 35,52% para 29,30%.

Observa-se também que com o aumento de 40% do preço da armadura, a percentagem de concreto no custo final diminui em torno de 3,0% para as três lajes. Ao reduzir o preço da armadura de 40%, há um aumento de aproximadamente 4,0% do custo do concreto no custo final, para as lajes L509 e L516 e de 5,4% para a laje L530, passando de 31,79% para 37,21%.

Para o EPS, pode-se observar que com o aumento de 40% do preço do concreto, a percentagem deste insumo no custo final se eleva em torno de 5,5% para as três lajes. Ao reduzir o preço do concreto de 40%, há uma diminuição de aproximadamente 6,45% do custo do concreto no custo final, para as lajes L509 e L516, e de 6,85% para a laje L530.

Observa-se que com o aumento de 40% do preço do concreto, a percentagem da armadura no custo final, diminuiu em torno de 2% para as lajes. Ao reduzir o preço do concreto de 40%, há um aumento em torno de 6,5% do custo da armadura no custo final para as lajes.

De mesmo modo que analisado para o material cerâmico, ao se observar o aumento e a diminuição da armadura em 40%, constata-se que com o aumento de 40% do preço da armadura, a percentagem deste insumo no custo final se eleva em torno de 4% para as três lajes. Ao reduzir o preço da armadura de 40%, há uma diminuição em torno de 5% da armadura no custo final para as três lajes, passando de 28,64% para 23,49%, para a L530.

Observa-se com o aumento de 40% do preço da armadura, a percentagem de concreto no custo diminui em torno de 2,0% para as três lajes. Ao reduzir o preço da armadura de 40%, há um aumento em torno de 2,5% do custo do concreto no custo final para as três lajes.

As Tabelas 6.12 e 6.13 resumem as variações relativas aos valores de referência explicadas anteriormente onde se observa para cada tipo de material de enchimento, segundo a

NBR 6118 (2003), de quanto foi a variação final do insumo analisado. O sinal positivo significa aumento e o negativo, diminuição.

Tabela 6.12 - Variações relativas do concreto e armadura para cerâmica - NBR 6118 (2003).

NBR 6118 (2003) - Material de enchimento – Cerâmica					
		40% + CONCRETO	40% - CONCRETO	40% + ARMADURA	40% - ARMADURA
Concreto	L509	6,89%	-8,62%	4,20%	-5,25%
	L516	6,79%	-8,44%	4,31%	-5,46%
	L530	7,94%	-8,31%	4,12%	-6,22%
Armadura	L509	-3,41%	4,27%	-3,12%	3,90%
	L516	-3,41%	4,24%	-3,18%	4,04%
	L530	-4,13%	4,33%	-2,83%	5,42%

Tabela 6.13 - Variações relativas do concreto e da armadura para EPS - NBR 6118 (2003).

NBR 6118 (2003) - Material de enchimento – EPS					
		40% + CONCRETO	40% - CONCRETO	40% + ARMADURA	40% - ARMADURA
Concreto	L509	5,55%	-6,47%	4,01%	-4,81%
	L516	5,44%	-6,31%	4,15%	-5,04%
	L530	5,82%	-6,85%	4,23%	-5,16%
Armadura	L509	-1,97%	2,30%	-1,81%	2,18%
	L516	-1,97%	2,29%	-1,86%	2,25%
	L530	-2,16%	2,55%	-2,05%	2,50%

Para a elaboração das Tabelas 6.12 e 6.13, analisou-se qual a percentagem de aumento ou diminuição em relação ao valor de referência. Por exemplo, na L509 ao analisar o aumento de 40% do preço do concreto, observa-se que a percentagem de concreto vai de 21,74% para 27,29%, ou seja, 5,55% conforme indicado na Tabela 6.10. No mesmo exemplo, ao se analisar o aumento de 40% do preço da armadura, observa-se que a percentagem de concreto vai de 21,74% para 19,92%, ou seja, diminuição 1,81% conforme indicado na Tabela 6.10 e assim sucessivamente. Analisa-se nas Figuras 6.6, 6.7 e 6.8 as variações dos percentuais dos insumos, para as lajes L509, L516 e L530, otimizadas via GRG2. Nestas figuras estão compreendidas as lajes com materiais de enchimento cerâmico.

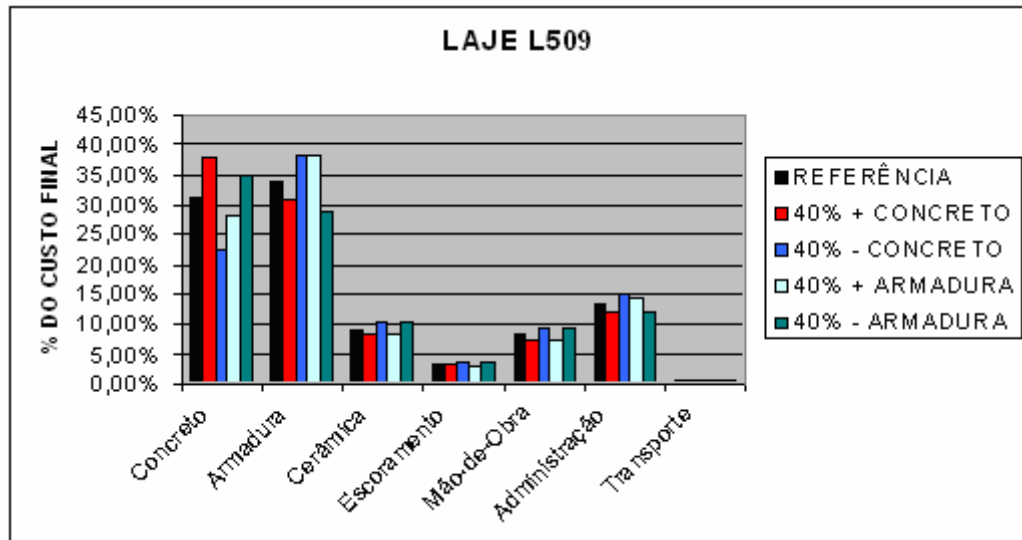


Figura 6.6 - Análise dos percentuais dos insumos (GRG2) L509 – Cerâmica.

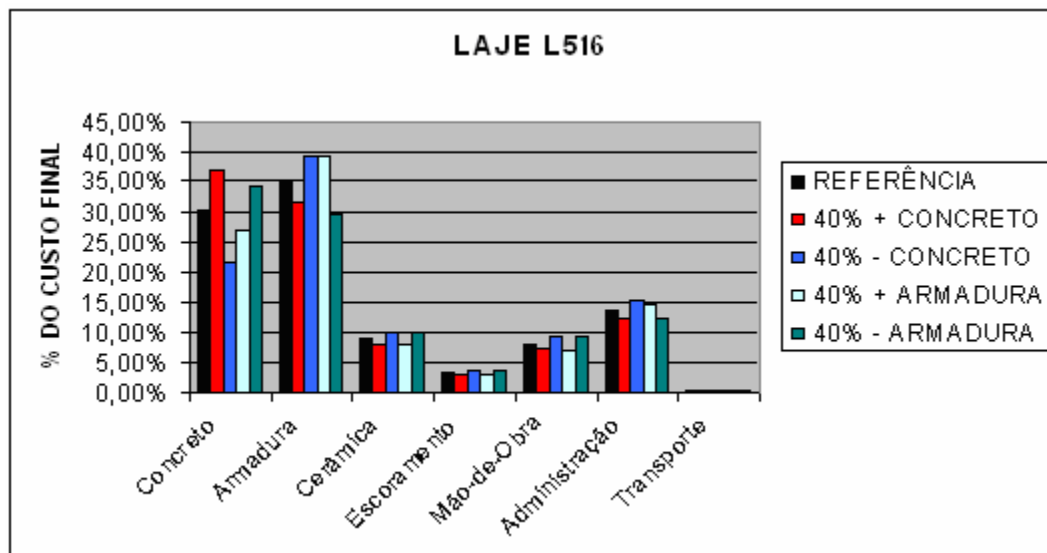


Figura 6.7 - Análise dos percentuais dos insumos (GRG2) L516 – Cerâmica.

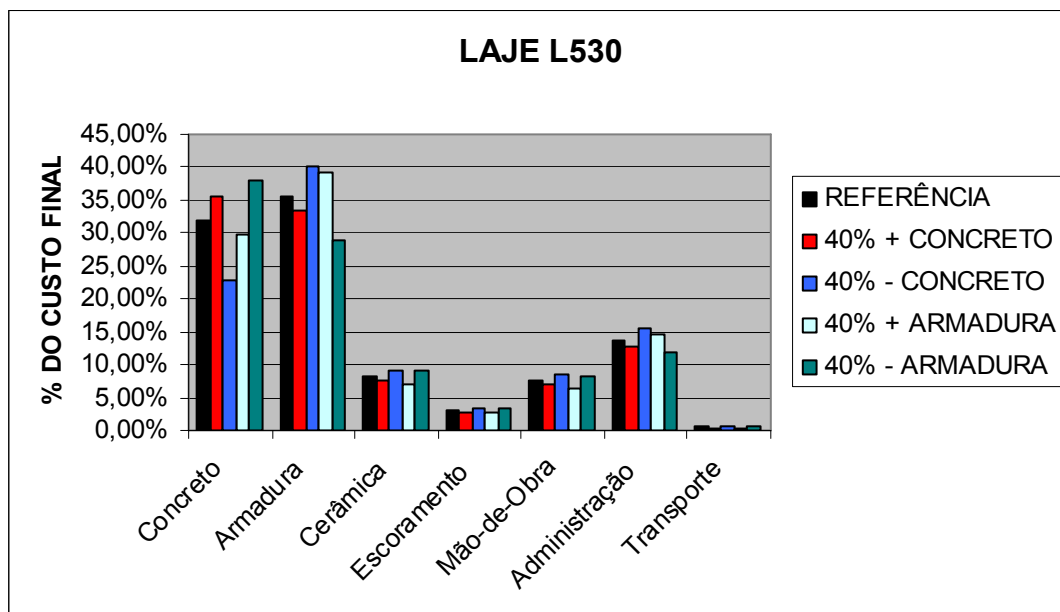


Figura 6.8 - Análise dos percentuais dos insumos (GRG2) L530 – Cerâmica.

Pode-se observar que com o aumento de 40% do preço do concreto, a percentagem deste insumo no custo final se eleva em torno de 7% para as lajes L509 e L516, e em torno de 4% para a L530. Ao reduzir o preço do concreto de 40%, há uma diminuição de aproximadamente 8,5% do custo do concreto no custo final, passando de 30,18% para 21,74% , no caso da L516.

Observa-se também que com o aumento de 40% do preço do concreto, a percentagem da armadura no custo final diminui em torno de 3,4% para as lajes L509 e L516, e em torno de 2% para a L530. Ao reduzir o preço do concreto de 40%, há um aumento de aproximadamente 4,5% do custo da armadura no custo final, passando de 35,52% para 40,16% , no caso da L530.

De mesmo modo quando estudamos o aumento e a diminuição da armadura em 40%, observa-se que com o aumento de 40% do preço da armadura, a percentagem deste insumo no custo final se eleva em torno de 4% para as três lajes. Ao reduzir o preço da armadura de 40%, há uma diminuição de aproximadamente 5,5% para as lajes L509 e L516 e de 6,5% da armadura no custo final, para a laje L530, passando de 35,52% para 28,92%.

Observa-se também que com o aumento de 40% do preço da armadura, a percentagem de concreto no custo final diminui em torno de 3,0% para as três lajes. Ao reduzir o preço da

armadura de 40%, há um aumento de aproximadamente 4,0% do custo do concreto no custo final, para as lajes L509 e L516 e de 6,2% para a laje L530, passando de 31,79% para 38,08%.

As Figuras 6.9, 6.10 e 6.11 apresentam estes percentuais para as lajes em que se utiliza EPS como material de enchimento.

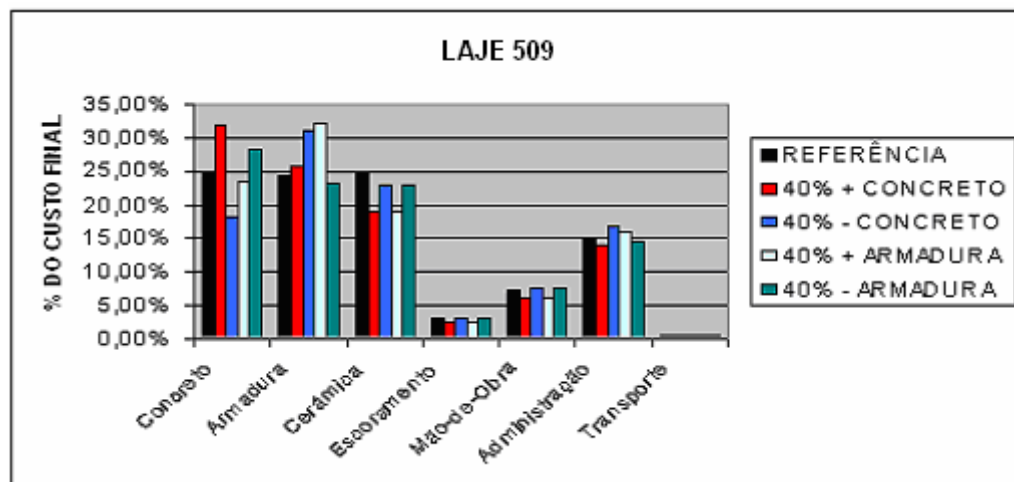


Figura 6.9 - Análise dos percentuais dos insumos (GRG2) L509 – EPS.

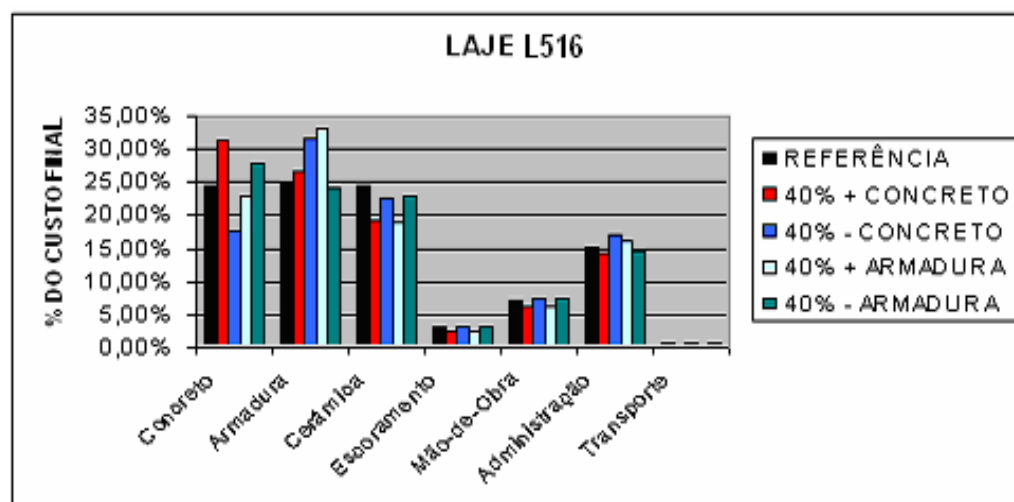


Figura 6.10 - Análise dos percentuais dos insumos (GRG2) L516 – EPS.

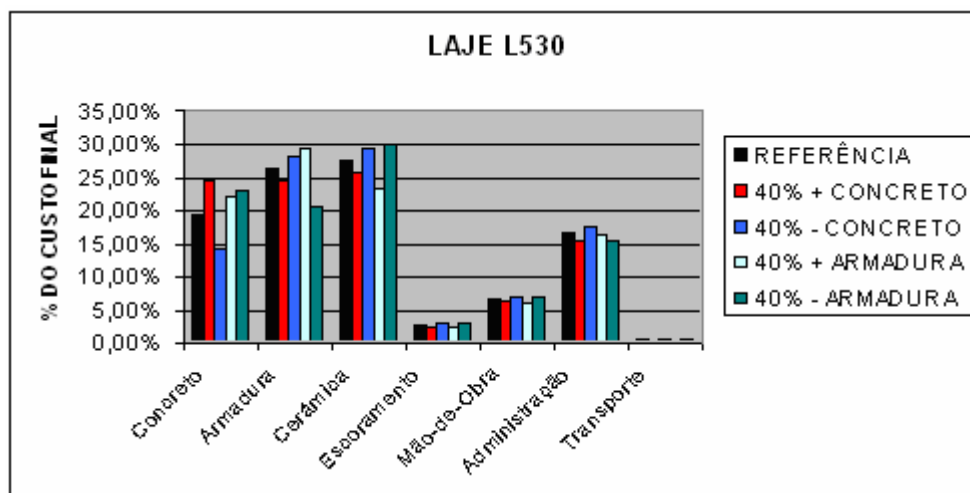


Figura 6.11 - Análise dos percentuais dos insumos (GRG2) L530 – EPS.

Para o EPS, pode-se observar que com o aumento de 40% do preço do concreto, a percentagem deste insumo no custo final se eleva em torno de 6,5 à 7% para as lajes L509 e L516, e em torno de 5,5% para a L530. Ao reduzir o preço do concreto de 40%, há uma diminuição de aproximadamente 6,9% do custo do concreto no custo final, para as lajes L509 e L516, e de 5% para a laje L530, passando de 19,52% para 14,02%.

Observa-se também que com o aumento de 40% do preço do concreto, a percentagem da armadura no custo final também aumentou em torno de 1,5% para as lajes L509 e L516, e diminuiu de 2% para a L530. Ao reduzir o preço do concreto de 40%, há um aumento de aproximadamente 7% do custo da armadura no custo final para as lajes L509 e L516, e de 1,8% para a laje L530.

De mesmo modo que analisado para o material cerâmico, quando se estuda o aumento e a diminuição da armadura em 40%, observa-se que com o aumento de 40% do preço da armadura, a percentagem deste insumo no custo final se eleva em torno de 8% para as lajes L509 e L516 e de 3% para a L530. Ao reduzir o preço da armadura de 40%, há uma diminuição de aproximadamente 1% da armadura no custo final para as lajes L509 e L516 e de 5,76%, passando de 26,41% para 20,65% , no caso da L530.

Observa-se também que com o aumento de 40% do preço da armadura, a percentagem de concreto no custo final diminui em torno de 1,5% para as lajes L509 e L516 e aumenta em

torno de 2,5% para a laje L530. Ao reduzir o preço da armadura de 40%, há um aumento de aproximadamente 3,0% do custo do concreto no custo final para as três lajes.

As Tabelas 6.14 e 6.15 resumem as variações relativas aos valores de referência explicadas anteriormente onde se observa para cada tipo de material de enchimento, aplicando a minimização via GRG2, de quanto foi a variação final do insumo analisado. O sinal positivo significa aumento e o negativo, diminuição.

Tabela 6.14 - Variações relativas do concreto e da armadura para cerâmica (GRG2).

GRG2 - Material de enchimento – Cerâmica					
		40% + CONCRETO	40% - CONCRETO	40% + ARMADURA	40% - ARMADURA
Concreto	L509	6,89%	-8,62%	4,20%	-5,25%
	L516	6,79%	-8,44%	4,31%	-5,46%
	L530	3,76%	-8,91%	3,72%	-6,60%
Armadura	L509	-3,41%	4,27%	-3,12%	3,90%
	L516	-3,41%	4,24%	-3,18%	4,04%
	L530	-1,96%	4,64%	-2,12%	6,23%

Tabela 6.15 - Variações relativas do concreto e da armadura para EPS (GRG2).

GRG2 - Material de enchimento – EPS					
		40% + CONCRETO	40% - CONCRETO	40% + ARMADURA	40% - ARMADURA
Concreto	L509	6,90%	-6,90%	8,00%	-0,86%
	L516	6,60%	-6,95%	7,91%	-1,32%
	L530	5,29%	-5,50%	3,06%	-5,76%
Armadura	L509	1,60%	6,83%	-1,53%	3,24%
	L516	1,36%	6,59%	-1,79%	3,14%
	L530	-1,74%	1,80%	2,48%	3,64%

7.1. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresenta a Função Custo das lajes formadas por vigotas pré-fabricadas de concreto armado, considerando o processo de produção das vigotas treliçadas, o transporte, a montagem e a concretagem da laje.

Com base nos resultados obtidos, as principais conclusões deste trabalho são descritas a seguir:

- A consideração criteriosa de todas as etapas envolvidas desde a produção até a montagem e concretagem das lajes permite quantificar a porcentagem de cada insumo no custo final. Foi observado que os custos com materiais foram em torno de 74%, com a mão-de-obra por volta de 12%, os custos administrativos equivalem aproximadamente a 13% e com o transporte 1%. Da parcela referente ao custo com materiais, o custo com a armadura é aproximadamente 5% superior ao custo com o concreto.
- Foram calculados quatro grupos de lajes armadas em uma direção com alturas de 12, 16, 20 e 25cm. Para estas lajes foram traçados gráficos do custo ($y=f(x)$) em função da área (x), o que permite obter equações simplificadas de segundo, terceiro e quarto graus das linhas de tendências. Embora algumas linhas de tendência possuam um baixo valor de R^2 , estes valores são representativos do custo final real, conforme demonstrado ao longo do trabalho.

- Os custos de algumas lajes quadradas armadas em uma e duas direções foram calculados para quantificar as vantagens de se optar pelas facilidades executivas das lajes unidirecionais. Foram observadas pequenas variações de custos das lajes quadradas de pequenas dimensões (até 4m^2). Entretanto, os cálculos obtidos permitem concluir que as lajes bidirecionais são mais econômicas, chegando à 12,60% para a laje $4\text{x}4\text{m}^2$ com 12cm de altura. Observa-se que além das lajes armadas em duas direções serem mais econômicas, estas apresentam uma distribuição mais homogênea de cargas para as vigas de bordo. Segundo Carvalho (2004), as lajes unidirecionais apresentam desvantagens neste sentido, pois além de ter um esforço de flexão maior quando comparadas às lajes maciças, concentram quase toda carga em uma só direção, ou seja, na direção de apoio das vigotas treliçadas. Estruturalmente, estas lajes apresentarão flechas maiores e vigas de bordo superarmadas, que recebem as vigotas treliçadas, e vigas de bordos subarmadas, perpendiculares à direção das vigotas treliçadas.
- Na otimização desenvolvida aplicando o GRG2, observa-se que em lajes de vãos pequenos, as quais não necessitam de armadura adicional, os resultados obtidos são praticamente os mesmos que os obtidos aplicando a Função Custo. Já para lajes de médios e grandes vãos, observa-se que ao utilizar o *Microsoft Excel Solver* pode-se obter uma melhor combinação dos quantitativos dos insumos, de tal modo que se obtenha custo menor.
- Os custos otimizados das lajes com material de enchimento cerâmico foram inferiores, como era se esperar, aos obtidos aplicando diretamente a função custo proposta neste trabalho, para as verificações da NBR 6118 (2003). Para a laje L330 ($5\text{x}6\text{m}^2$) com 16 cm de altura, a economia foi de 2,73%. Vale observar que nas lajes com enchimento cerâmico o comprimento do intereixo é fixo e igual a 42cm. As variáveis otimizadas nas análises foram a altura da capa e o f_{ck} do concreto.
- Nas lajes com enchimento de EPS, cujo intereixo é também uma variável do processo de otimização, além da altura da capa e do f_{ck} do concreto, obteve-se custos inferiores aos obtidos verificando as exigências da NBR 6118 (1978 e 2003). Com relação à aplicação da NBR 6118 (2003), a economia obtida do processo de otimização foi de 7,4% para a laje L330 ($5\text{x}6\text{m}^2$) com 16 cm de altura.

- Para as lajes com enchimento de EPS, a economia obtida da minimização dos custos aplicando o GRG2, especialmente pelo fato dos custos finais obtidos terem sido inferiores aos calculados aplicando as recomendações da NBR 6118 (1978), foi devido ao aumento do entreixo, resultando em menor volume de concreto e menor número de vigotas treliçadas. Da otimização, observou-se que houve aumento do f_{ck} e da área de armadura adicional, porém de forma menos significativa.
- O efeito da variação dos custos dos insumos mais significativos foram avaliados em três lajes (L509 , L516 e L530). Foram considerados aumento e diminuição de 40% no custo do concreto e da armadura. Observa-se que nas lajes com material de enchimento cerâmico, o aumento e a diminuição no custo final das lajes, foi em torno de 12%, para as duas situações. Porém, nas lajes com EPS, uma vez que o entreixo é uma variável do processo de otimização, os custos finais alteraram em torno de 7 a 8% para variações no preço do concreto e de 6 a 11% para variações no preço da armadura.
- A revista TÉCHNE (Setembro, 2003) traz uma composição de custos para uma laje de dimensões 8,80x5,50m² no valor de R\$ 4,511/m² para a vigota e de R\$ 18,371/m² da laje pré-fabricada. Esta mesma laje calculada aplicando a Função Custo proposta neste trabalho resulta num custo de R\$4,83/m² para a vigota e um custo de R\$ 19,71/m² da laje pré-fabricada. A PUMA apresenta um custo de R\$ 15,83/m², a revista Cotação de Materiais (2003) apresenta na tabela de lajes para piso um valor de R\$ 19,00/m² e a revista PINI Construção e Mercado (Setembro de 2004) indica um preço de R\$ 16,94/m².

7.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

É importante considerar outras variáveis nas análises de otimização, como por exemplo, o momento fletor negativo nas lajes contínuas, bem como as áreas de armadura negativa.

Uma vez que o GRG2 limita-se à obtenção de valores para as variáveis em um espaço contínuo, o que não é o mais interessante para os casos de engenharia, sugere-se a análise de outros programas computacionais de otimização, que permitam a minimização da função custo por meio de variáveis discretas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado*. Rio de Janeiro, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7480: Barras e fios de aço destinados para concreto armado*. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 14859-1: Laje pré-fabricada– Requisitos – Parte 1: Lajes unidirecionais*. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 14859-2: Laje pré-fabricada– Requisitos – Parte 2: Lajes bidirecionais*. Rio de Janeiro, 2002.

ACERTAR – ASSOCIAÇÃO DAS CERÂMICAS DE TATUÍ E REGIÃO. Acesso: em 17 jun. 2005. Disponível em <<http://www.acertar.org.br/index.php?area=canaletas>>.

BOCCHILE, C. Vãos maiores com menos peso. *TÉCHNE*, São Paulo, v.11, n.78, p. 44-47, 2003.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO, J. R. *Calculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2003*, 374 p. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

CASTILHO, V. C. *Minimização de componentes de concreto pré-moldado protendidos mediante algoritmos genéticos*. 283p. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

CONSTRUÇÃO E MERCADO - PINI. Habitação, São Paulo, ano 57, n. 38. Setembro 2004.

CONSIDERAÇÕES DO MÉTODO GRG. Acesso em: 19 set. 2005. Disponível em <<http://www.mpri.lsu.edu/textbook/Chapter6-c.htm>>.

COTAÇÃO DE MATERIAL. Concrenasa S/A. Ribeirão Preto, n. 329. Setembro 2003.

COTAÇÃO DE MATERIAL. Lafix 18 anos de sucesso. Ribeirão Preto, n. 340. Setembro 2003.

DI PIETRO, J. E. *Projeto, execução e produção de lajes com vigotas pré-moldadas*. 99 p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1993.

EL DEBS, M. K. *Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações*, 441 p. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

KILAJE – LAJES PRÉ-FABRICADAS. Acesso em: 17 jun. 2005. Disponível em <<http://www.kilaje.com.br/produtos.htm>>.

LAJEPOR LAJOTA DE ISOPOR. Acesso em: 17 jun. 2005. Disponível em <http://www.lajepor.com.br/index.asp?link=Prod_S&prod_id=33>.

MEDITERRÂNEA PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO LTDA. *Sistema Trelaçado global*. 4ª ed. Campinas. Paginação irregular (Ano 2, nº 1). Set, 1994, Boletim Técnico.

PUMA - ARMAÇÃO TRELIÇADA. *Manual de fabricação – lajes trelaçadas*. São Paulo, 2002. Acesso em: 01 abr 2004. Disponível em <<http://www.puma.com.br/defaultb.htm>>.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

ABADIE, J. and CARPENTIER, J. *Generalization of the Wolfe Reduced Gradient Method to the Case of Nonlinear Constraints, in Optimization*. London: R. Fletcher: Academic Press, 1969.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 14862: Armações treliçadas eletrossoldadas - Requisitos*. Rio de Janeiro, 2002.

LASDON, L. S. *A Survey of Nonlinear Programming Algorithms and Software, Foundations of Computer-Aided Chemical Process Design*, New York: Vol. 1, p. 185, American Institute of Chemical Engineers, 1981.

LAWRENCE, J.G. *Princípios da administração financeira*. São Paulo: Marbra, 1998. 840 p.

PADOVEZE, C.L. *Curso básico gerencial de custos*. São Paulo: Thompson, 377 p.

SISTEMA TRELIÇADO MEDITERRÂNEA: Dimensionamento de lajes treliçadas unidirecionais com bordos simplesmente apoiados. Versão TRL05, 2003. 1 CD-ROM.

TQS informática ltda: CAD / TQS. Versão 11.6.92, 2003. 1 CD-ROM.

VIZOTTO, I. *Guia de instruções para manuseio, aplicação e utilização de lajes pré-fabricadas com vigotas treliçadas*. São Paulo, 2001.

WILDE, D. J. and C. S. BEIGHTLER. *Foundations of Optimization*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1967.

WOLFE, P. *Methods of Nonlinear Programming in Recent Advances in Mathematical Programming*. New York: Ed. R. L. Graves and P. Wolfe, McGraw - Hill Book Company, 1963.