



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

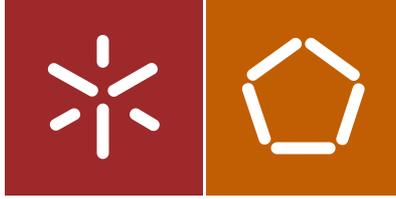
Fábio Silveira Martins de Oliveira Plano de Corte Otimizado para Cofragens em Contraplacado

Fábio Silveira Martins de Oliveira

Plano de Corte Otimizado para Cofragens em
Contraplacado

UMinho | 2019

novembro de 2019



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Fábio Silveira Martins de Oliveira

Plano de Corte Otimizado para Cofragens em
Contraplacado

Dissertação de Mestrado em Engenharia civil
Construção e Reabilitação Sustentáveis

Trabalho efectuado sob a orientação do
Prof. José Manuel Cardoso Teixeira

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos. Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada. Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



Atribuição

CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Foi muito difícil chegar até aqui. A trajetória foi longa, árdua e dura. Poucas pessoas chegam até este ponto. É por isto que agradeço imensamente à Deus por tudo que me deu e me confiou nesta vida. Agradeço imensamente a minha avó Amélia Silveira (in memoria), que me deu exemplos de amor, fraternidade e caridade. Meus pais Hildebrando Martins (in memoriam) e Sevy Silveira, que sempre me incentivaram e apoiaram em tudo. Meus tios Genival e Arlindo Silveira (in memoriam) e minha tia Iraci Silveira que sempre me trataram como filho. Raissa Martins, minha amada e doce esposa, que sempre me apoiou em todos os meus projetos. Minha filha Viviane Silveira, mentora intelectual deste mestrado, que providenciou e cuidou de tudo, cada detalhe de todas as etapas deste mestrado. Minha outra filha, Amanda Silveira, que deu todo suporte familiar, administrando nossa casa junto com sua mãe enquanto estive ausente. Beatriz Silveira, minha filha caçula, que soube manter e gerar paz, amor e harmonia no nosso lar. Ao meu genro Marcos Tenório que deu suporte a toda esta estrutura familiar. À minha irmã Denize e compadre Tarcisio. Meu irmão Hildebrando Jr e minha cunhada Alana. Minhas irmãs Gerlane e Yeda Silveira. Agradeço também aos meus sogros José Manoel (in memoriam) Doralice Gonçalves, que sempre rezou por mim pedindo a Deus que me protegesse e me iluminasse. MUITO OBRIGADO.

Agradeço a todo o povo português, que de forma direta e indireta trabalhou e me acolheu tão bem, e aqui pra representar todos, cito Carina Freitas. A todos os colaboradores da Universidade do Minho, a cada professor com quem convivi, aqui representados pelo Professor Luis de Bragança. Ao professor José Manuel Cardoso Teixeira, por sempre ter me dado excelente apoio e me acolhido como orientando. MUITO OBRIGADO.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração. Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

O sistema de cofragem tem grande importância na construção civil, pois representa a base do processo produtivo das construções em betão. É importante do ponto de vista econômico, produtivo, executivo e de qualidade da obra, pois interfere diretamente no estágio mais básico da construção com betão. Apesar da cofragem gerar um impacto relevante no custo da obra, há um equivocado descaso por essa etapa na construção, ficando muitas vezes em segundo plano. Isto ocorre devido a falta de projetos específicos, devidamente elaborados e detalhados e, em outras situações, devido ao baixo nível de detalhamento do processo produtivo das peças componentes destes projetos. A ausência do detalhamento mais minucioso na fase de produção das peças da cofragem, na maioria das vezes, faz com que a produção do sistema de cofragem detenha-se apenas aos carpinteiros de cofragens. Para contribuir com o tema, apresenta-se neste trabalho estudos que fundamentam a necessidade de implantação do detalhamento não apenas das cofragens, mas também das peças de contraplacado de madeira nos softwares de dimensionamento de cofragens e de dimensionamento de betão armado. Além disso, sugere-se a implantação de rotinas que viabilizem o detalhamento mais minucioso das cofragens com quantitativos de materiais e a análise dos seus custos. A implantação destas rotinas nos softwares para esse efeito trará a possibilidade de um uso mais racional da madeira, proporcionando economia financeira, maior velocidade para execução das cofragens, facilidade no levantamento dos quantitativos, além de permitir a integração das cofragens ao sistema BIM de forma mais próximo da realidade de execução.

Palavras-chave: cofragem, betão, BIM, otimização, plano de corte.

ABSTRACT

The formwork system is very important in civil construction, as it represents the basis of the production process of concrete constructions. It is important from an economic, productive, executive and quality point-of-view, as it directly interacts with the most basic stages of concrete construction. Although the formwork has a significant impact on the cost of the work, there is a mistaken neglect of this stage in construction, often being left in the background. This is due to the lack of specific projects properly elaborated and detailed, and in other situations, due to the low level of detail of the production process of the component parts of these projects. The absence of detailing in the formwork production phase most of the time means that the production of the formwork system is restricted to the formwork carpenters. To contribute to the theme, this thesis presents studies that support the need for implementation in formwork sizing and reinforced concrete sizing software, as well as the suggestion of implementing routines that make possible a more detailed formwork with quantitative measurements, materials and costs. The implementation of these routines in the software for this purpose will bring the possibility of a more rational use of wood, providing financial savings, faster speed in the execution of the formwork, easiness in the quantitative survey, besides allowing the integration of the formwork in the BIM system.

Keywords: formwork, concrete, BIM, optimization, cutting plan.

CONTEÚDO

1	INTRODUÇÃO	1
2	PROBLEMA DE PESQUISA E JUSTIFICATIVA	5
2.1	OBJETIVOS	6
2.1.1	Objetivo Geral	6
2.1.2	Objetivos Específicos	6
2.2	METODOLOGIA DA INVESTIGAÇÃO	6
2.3	RESULTADOS ESPERADOS E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	8
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
3.1	ESTADO DA ARTE	10
4	COFRAGENS	13
4.1	EVOLUÇÃO DA COFRAGEM	14
4.2	TIPOS DE COFRAGENS	15
4.3	DIMENSIONAMENTO DA COFRAGEM	16
5	A COFRAGEM NO BRASIL	19
5.1	EXEMPLOS ATUAIS DE COFRAGENS NO BRASIL	20
5.2	TIPOS DE COFRAGENS NO BRASIL	21
5.3	NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA	21
5.4	CUSTOS DE COFRAGEM	22
6	PROCESSO PROPOSTO: OTIMIZAÇÃO DO PLANO DE CORTE	25
6.1	PEÇAS PRODUZIDAS COM CHAPAS DE CONTRAPLACADOS DE MADEIRA	25
6.2	IDENTIFICAÇÃO DAS PEÇAS PARA CORTE	28
6.3	EXEMPLO PRÁTICO	31
6.4	PROCESSO PROPOSTO	42
7	ESTUDO DE CASO	46
7.1	DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS	47
7.2	APLICAÇÃO DO PROCESSO PROPOSTO	56
8	CONCLUSÃO	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Custo de fabrico de estrutura de betão armado. (Adaptado de Cabral (2013))	2
Figura 2	Variação dos custos unitários na indústria. (Fonte: Paulson Jr (1994))	3
Figura 3	Cofragem aplicada em obra.	20
Figura 4	Improviso inadequado na cofragem.	20
Figura 5	Fonte Cype (s.d.[a]). Acessado em 09/10/2019	23
Figura 6	Fonte Cype (s.d.[b]). Acessado em 09/10/2019.	23
Figura 7	Resíduos de contraplacado em construção residencial brasileira.	26
Figura 8	Detalhamento da viga – Eberick.	26
Figura 9	Detalhe inicial da cofragem.	27
Figura 10	Representação do corte das laterais da viga no contraplacado.	28
Figura 11	Representação de corte da cofragem do fundo da viga.	28
Figura 12	Divisão da cofragem para análise.	29
Figura 13	Detalhe dos painéis de cofragem com identificação.	30
Figura 14	Cofragem detalhada com elementos identificados	32
Figura 15	Detalhamento da viga V1 depois do uso dos três contraplacados.	35
Figura 16	Diagramação do plano de corte após o uso do terceiro contraplacado.	35
Figura 17	Detalhamento da viga V1 depois do aproveitamento de primeira ordem.	38
Figura 18	Diagramação do plano de corte depois do aproveitamento de primeira ordem.	39
Figura 19	Detalhamento final da viga V1.	41
Figura 20	Diagramação e plano de corte final.	41
Figura 21	Renderização do Galpão no Revit Architecture 2018.	46
Figura 22	Planta Baixa do Galpão em análise	47
Figura 23	Informações gerais do software utilizado	48
Figura 24	Lançamento da estrutura no Eberick	49
Figura 25	Planta de cofragem fornecida pelo Software	50
Figura 26	Detalhe da planta de cofragem fornecida pelo Software	51
Figura 27	Informações construtivas da planta de cofragem fornecida pelo Software	52
Figura 28	Detalhe da viga V1	53
Figura 29	Detalhe da viga V2	54
Figura 30	Corte - A A	55
Figura 31	Corte - B B	55
Figura 32	Quadros resumo da Vigas V1 e V2	56
Figura 33	Cortes na estrutura	57

Figura 34	Detalhamento inicial das cofragens das Vigas V1	57
Figura 35	Detalhamento inicial das cofragens das Vigas V2	58
Figura 36	Detalhamento das cofragens das V1 depois da adequação do tamanho dos elementos.	60
Figura 37	Detalhamento das cofragens da V2 depois da adequação do tamanho dos elementos.	60
Figura 38	Detalhamento da V1 depois da primeira utilização de seis contraplacados	64
Figura 39	Detalhamento da V2 depois da primeira utilização de seis contraplacados	64
Figura 40	Diagramação após o primeiro corte	65
Figura 41	Detalhamento da V1 depois aproveitamento de primeira ordem.	69
Figura 42	Detalhamento da V2 depois do aproveitamento de primeira ordem.	69
Figura 43	Diagramação depois aproveitamento de primeira ordem.	69
Figura 44	Detalhamento final da viga V1.	73
Figura 45	Detalhamento final da viga V2.	73
Figura 46	Diagramação final do plano de corte dos contraplacados.	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Tipos de cofragens ¹	16
Tabela 2	Comparação dos Softwares disponíveis no mercado	17
Tabela 3	Resumo de formação de código.	30
Tabela 4	Relação dos Elementos de Cofragem.	31
Tabela 5	Cálculo da área efetiva de cofragem.	31
Tabela 6	Tabela de adaptação de necessidade.	32
Tabela 7	Tabela de Adaptação de Necessidade.	33
Tabela 8	Tabela de Sobras para Reaproveitamento.	33
Tabela 9	TSC depois da sexta folha de contraplacado	34
Tabela 10	Tabela de Sobras para Reaproveitamento depois do 3º contraplacado.	34
Tabela 11	TSC com os elementos ordenados.	36
Tabela 12	TSR com os elementos ordenados.	36
Tabela 13	TSC depois do aproveitamento de primeira ordem.	37
Tabela 14	TSR depois do aproveitamento de primeira ordem.	38
Tabela 15	TSC final.	40
Tabela 16	TSR final.	40
Tabela 17	Relação dos Elementos de Cofragem	58
Tabela 18	Cálculo da área efetiva de cofragem	58
Tabela 19	Tabela de adaptação de necessidade.	59
Tabela 20	Tabela de Sequência de Corte .	61
Tabela 21	Tabela de Sobras para Reaproveitamento .	62
Tabela 22	TSC depois do uso do sexto contraplacado.	62
Tabela 23	Tabela de Sobras para Reaproveitamento.	63
Tabela 24	Tabela de Sobras para Reaproveitamento.	63
Tabela 25	TSC da primeira etapa de reaproveitamento.	66
Tabela 26	TSR da primeira etapa do reaproveitamento	67
Tabela 27	TSR da primeira etapa do reaproveitamento ordenada	68
Tabela 28	Tabela final de corte	70
Tabela 29	Tabela final de sobra total de material	71
Tabela 30	Tabela final de sobra total de material - Reordenada	72

INTRODUÇÃO

O betão, desde a sua concepção, é moldado em cofragens que permitem dar forma às peças da estrutura. De acordo com Fajersztajn (1987) o sistema de cofragem é conceituado como a estrutura que atua no processo de moldagem e sustentação do betão fresco até que ele atinja resistência suficiente para suportar os esforços a que está submetido. Portanto, a cofragem é uma estrutura provisória e deve atender condições específicas de montagem e desfôrma (descofragem) que garantam a modelagem projetada.

Segundo Salgado (2014), as cofragens para o betão armado precisam atender alguns requisitos como: execução rigorosamente de acordo com as dimensões indicadas no projeto, resistência adequada aos esforços para não se deformar sob a ação do betão fresco até que o mesmo atinja resistência mecânica suficiente para auto-suporte, e rugosidade superficial para o betão, conforme requerida de acordo com o projeto. As características principais que as cofragens devem apresentar, segundo de Brito e Pedro Paulo (2001), são as seguintes:

- permitir uma fácil betonagem;
- possibilitar uma fácil descofragem;
- garantir que as condições geométricas dos elementos se mantêm inalteráveis;
- permitir que o betão preencha todos os espaços vazios;
- possibilitar a vibração do betão com vibradores de agulhas, ou caso seja possível, a vibração direta na cofragem sem que perca a forma;
- assegurar o número mínimo de utilizações previstas, com poucas reparações;
- reduzir os trabalhos de limpeza dos moldes;
- resistir aos impulsos do betão, da vibração e da bombagem;
- garantir a estanqueidade de modo a não haver perda de água do betão, facilitando a cura.

O custo da mão-de-obra e dos materiais usados para a execução de cofragens podem ultrapassar os 50% do custo da estrutura de betão armado (especificamente nos edifícios), tal como se verifica na figura 1.

A optimização do sistema de cofragem deve centrar-se não apenas na redução dos custos com a mão-de-obra necessária para a sua produção, montagem, desmontagem, limpeza e transporte para uma nova fase.

Custos de Produção de betão armado

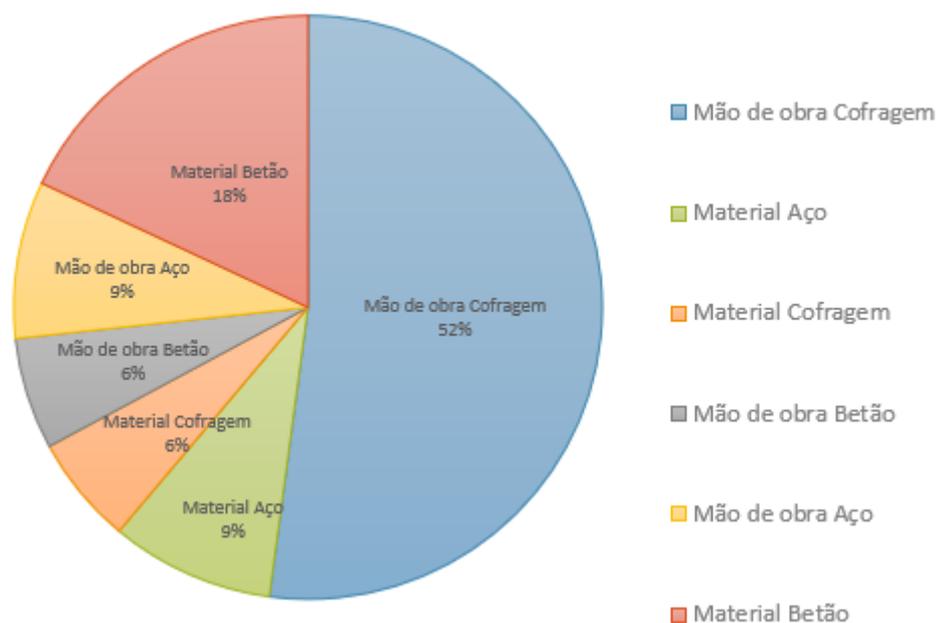


Figura 1: Custo de fabrico de estrutura de betão armado. (Adaptado de Cabral (2013))

Deve também focar na utilização mais sustentável e eficiente dos materiais empregados, além da otimização do processo construtivo da cofragem.

"A importância das fôrmas para betão na concepção, na execução e nos custos da estrutura de um edifício, justifica plenamente um estudo detalhado do seu dimensionamento e a melhor escolha dos materiais" (Nazar 2007). Seguindo o conceito do autor, nas edificações habitacionais e comerciais com múltiplos pavimentos, o custo das fôrmas e escoramento, pode variar de 25% até 30% do total da estrutura.

Na construção civil, assim como nos demais setores industriais, o mercado consumidor seleciona as melhores práticas e os melhores produtos, e a produção deve ser orientada para as necessidades dos usuários. Segundo Barros Neto et al. (2002) os objetivos de desempenho mais utilizados são: qualidade, rapidez, flexibilidade e custos.

- Qualidade: Castro et al. (2017) argumenta que qualidade é 'fazer certo as coisas', porém essas "coisas" variam com o tipo do negócio. Qualidade é um objetivo que todas as operações devem zelar, afinal ela pode ser atrativa para que o consumidor retorne. A qualidade de um produto ou serviço é facilmente percebida numa organização, visto que "é algo que o consumidor acha relativamente fácil de julgar numa operação".
- Rapidez: Segundo Castro et al. (2017) rapidez significa "quanto tempo os consumidores precisam esperar para receber seus produtos e serviços". Quanto mais rápido a disposição de um produto ao consumidor, maior será a probabilidade de compra, "este é o principal objetivo da rapidez" entregar os bens e serviços para o consumidor.

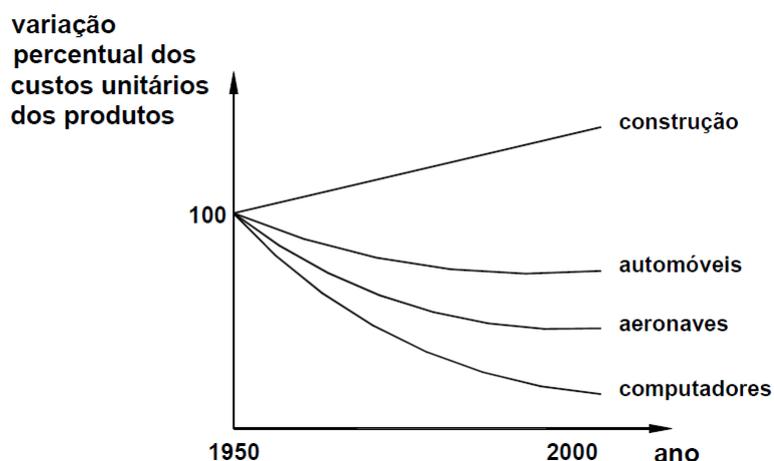


Figura 2: Variação dos custos unitários na indústria. (Fonte: Paulson Jr (1994))

- Flexibilidade: Flexibilidade significa capacidade da organização em se adequar a uma nova operação, estar preparado para alterar sua programação de produção. A flexibilidade é a capacidade de reagir ao inesperado mantendo tratamento único e individualizado ao consumidor. Isso dá à empresa a vantagem de flexibilidade.
- Custo: Para empresas em mercados que têm um forte apelo a preços baixos, o custo será seu principal objetivo de produção. Mesmo naquelas outras em que o custo não é seu principal enfoque, elas dão importância, visto que o dinheiro economizado será acrescido ao seu lucro. Os custos de produção podem ser divididos em: custo de funcionários, custo de instalações, custo de tecnologia e equipamentos, custo de materiais.

É preciso desmistificar o planejamento da produção das cofragens, uma prática comum na maior parte das obras de pequeno e médio porte. Em geral essa atividade fica a cargo do engenheiro da obra que, devido a intensidade de suas atribuições, acaba delegando esta tarefa ao mestre de obra ou ao encarregados de carpintaria.

Ao delegar a estes profissionais, a cofragem será executada conforme a técnica que trazem consigo de alguma experiência profissional anterior, mas também conforme vícios de produção e execução. Evidentemente, por esse caminho, as fôrmas são produzidas e executadas sem o necessário estudo racional de economia, sem verificação de resistência ou deformabilidade ou, no melhor dos casos, sem análise da facilidade de desforma para futuro reaproveitamento.

Tal prática contribui para elevar o índice de perda na indústria da construção civil. A falta de um planejamento para o corte de cada um dos elementos componentes da cofragem, é certamente um dos fatores que aumenta significativamente o consumo de material e o valor de fabricação das cofragens (Ruschel 2015).

No gráfico da Figura 2, Paulson Jr (1994) apresenta a variação percentual dos custos unitários dos produtos da indústria da construção comparada com algumas outras indústrias.

Segundo Assahi (2006), os custo das estruturas prediais de médio porte, representa algo em torno de 20 %, e o da cofragem, entre 25% a 40% da estrutura, equivalente a 5% a 8% do custo total. Para o autor, os principais

fatores que influenciam nesta variação são: são o sistema de forma adotado; o número de reaproveitamento dos materiais; a produtividade da equipe de mão de obra e o prazo de execução. *"O custo da cofragem merece atenção especial não só por sua representatividade, mas principalmente, pela sua suscetibilidade. Torna-se, na maioria das vezes, o único fator significativo de competitividade na execução de estrutura, uma vez que os itens armação e betão são pouco variáveis, independentes da metodologia de execução"* (Assahi 2006).

Deve ser considerada a possibilidade do reaproveitamento das cofragens, que passa a ser o único componente de custo variável. O mesmo não acontece com a massa de betão e a armação, lançadas para ficarem fazendo parte definitiva da estrutura. Surge, assim, o conceito de "Amortização dos Custos das Cofragens" pelo número de reutilizações alcançadas.

Os acréscimos nas dimensões das cofragens para compensar a sobreposição dos seus elementos devido ao sistema de execução adotado durante a montagem podem ser pré-definidas em software. É possível acrescentar 2 ou 3 centímetros na altura da cofragem, em relação ao tamanho real necessário da cofragem, para que durante o processo de montagem, esta cofragem se apoie lateralmente na cofragem do fundo da viga.

Ou em outro cenário, a cofragem lateral pode se apoiar diretamente sobre o fundo da viga. Independente do dimensionamento da cofragem, a diagramação para o corte das peças em contraplacados de madeira pode ser definida sem nenhum problema em fase de projeto de estrutura, pois o que vai variar quando do seu dimensionamento é a espessura da chapa, e isto não tem influência no plano de corte. A falta de um plano de corte para os contraplacados, no processo de produção das cofragens, faz com que este processo se desenvolva de maneira artesanal e empírica, mudando de obra para obra, de carpinteiro para carpinteiro. Desse modo a ideia de indústria fica completamente desvirtuada.

Além do desperdício e total falta de controle de material, por falta de métodos bem estabelecidos, o tempo para confecção das cofragens também aumenta. Com o processo do plano de corte pré-estabelecido e integrado ao software de estruturas, seguindo um método lógico, qualquer carpinteiro poderá fabricar as cofragens com o mínimo de perda e o máximo eficiência tanto de material como de mão-de-obra. Segundo Peurifoy (2011), a eficiência do sistema de formas pode acelerar o cronograma da construção e proporcionar a redução de custos. Além disso, promove um aumento da produtividade, como também melhora a segurança do processo e reduz a ocorrência de erros.

PROBLEMA DE PESQUISA E JUSTIFICATIVA

A escassez de informações para definir a execução de um plano de corte das peças que compõe um projeto de cofragem é uma das maiores causas do desperdício na fabricação das mesmas, (Vieira et al. 2017). A falta de informações detalhadas para os profissionais ligados diretamente com a produção das cofragens representa um problema, para o qual esse trabalho pretende contribuir. Faz-se necessário um estudo deste assunto, para trazer informações precisas, com softwares comerciais, para transformar o sistema de cofragem em um processo dimensionável, de rápida execução e de maior qualidade tanto na montagem como na desmontagem.

A escolha do sistema de cofragens para uma estrutura de betão armado é de fundamental importância no processo construtivo de um edifício. Isso ocorre devido a dois fatores: (i) o impacto que esse item representa no custo global da obra (podendo atingir até aproximadamente 12% do custo total) e (ii) o impacto no prazo da obra, pois a fase de montagem e desmontagem de todas as estruturas de formas correspondem de 50% a 60% do prazo de elevação da estrutura (Nazar 2007).

Existe pouco material didático específico, principalmente em relação ao detalhamento para o processo de produção (corte das peças) da cofragem nos projetos de estrutura em betão, e uma revisão bibliográfica foi realizada para identificar os principais métodos construtivos de cofragem de vigas de madeira.

Cada método construtivo do sistema de cofragens para um edifício possui suas características e componentes específicos. As cofragens de madeira possuem história dentre os sistemas de formas adotados há muitos anos no Brasil, por exemplo (Neto 2014). A madeira é a principal matéria prima para esse tipo de estrutura. No Brasil, seu consumo passou a ser otimizado após a substituição das tábuas de Pinho do Paraná (*Araucária angustifolia*) pelas chapas de madeira compensada (contraplacados) (Neto 2014). Outras madeiras, como o Pinus (*Pinus Elliotti Engelm*) e outras de reflorestamento, estão sendo mais usadas atualmente devido ao seu baixo custo.

De maneira contraditória, embora não haja muitos trabalhos na literatura apresentando soluções, a busca pela economia na execução do processo construtivo de cofragem é um assunto bastante abordado pela literatura (Nazar 2007). Isso justifica a busca pela racionalização desse processo construtivo como um todo, abordando os aspectos de custo, prazo e qualidade dentro do escopo da estrutura da edificação. Dessa forma, ter estruturas de betão armado mais baratas, com maior controle de qualidade e mais seguras, depende diretamente dos processos envolvendo suas cofragens correspondentes. Na busca pela otimização, precisão e compatibilidade do projeto com a execução, é natural voltar-se para o paradigma de Building Information Moduling (BIM). O BIM fundamenta-se na modelagem e simulação do modelo de informação da construção, capaz de ser compartilhado e acompanhado de forma interativa no desenvolvimento da obra e será a base deste trabalho.

2.1 OBJETIVOS

Nesta seção estarão destacados os objetivos deste trabalho de dissertação.

2.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é propor melhorias nos processos correntemente utilizados no detalhamento das cofragens de madeira, contribuindo para o uso mais racional, ecológico e sustentável do material e para a redução dos custos da obra.

2.1.2 Objetivos Específicos

- Propor um processo, método ou conceito que permita a otimização dos materiais usados no fabrico de cofragens de madeira, permitindo reduzir custos de material, e de tempo de execução.
- Analisar os detalhes das plantas de detalhamento dos softwares correntemente usados no projeto de engenharia de estruturas, de modo a identificar possíveis melhorias quanto ao detalhamento das cofragens que venham contribuir para a redução dos custos da obra, e para a utilização mais racional da madeira.
- Identificar os principais avanços no tema em estudo através de uma revisão bibliográfica cuidada e da análise e seleção dos softwares que tratam o problema em apreço.
- Análise do detalhamento das cofragens fornecido pelos softwares selecionados, identificando os pontos falhos, elencando os principais atributos do método a ser proposto e propondo uma abordagem que promova a melhoria ou correção dos pontos passíveis de otimização.

2.2 METODOLOGIA DA INVESTIGAÇÃO

Adotamos a metodologia da pesquisa construtiva (constructive research) apresentada por Lukka (2003) por ser uma das mais compatíveis com o presente trabalho.

Lukka (2003) delinea o método da pesquisa construtiva em 7 etapas:

- Etapa 1: identificar um problema prático relevante;
- Etapa 2: examinar o potencial de pesquisa em conjunto com o setor-alvo;
- Etapa 3: obter conhecimento teórico e prático da área;
- Etapa 4: propor uma solução inovadora e desenvolver uma construção que solucione o problema identificado;
- Etapa 5: implementar e testar a solução;

- Etapa 6: avaliar aplicabilidade da solução; e
- Etapa 7: identificar e analisar as contribuições teóricas.

A aplicação desta metodologia à presente pesquisa resultou nas seguintes etapas:

- Etapa 1: Identificação de cenários práticos da construção civil brasileira que se beneficiariam com uma solução otimizada. Para o efeito, far-se-á uso do conhecimento pessoal, em virtude dos 28 anos de experiência do autor do presente estudo nessa área: o problema da cofragem, sentido na realidade prática, durante a experiência profissional do autor, foi identificado como a necessidade de otimização do plano de corte da cofragem, utilizando as tecnologias atualmente disponíveis.
- Etapa 2: Avaliação do potencial de pesquisa. Para o efeito, auscultar-se-á a opinião de profissionais desta área de trabalho - afinal, colegas de profissão do autor - através de inquérito informal sobre as vivências e dificuldades sentidas na utilização de cofragens de madeira. Complementarmente, consultar-se-ão colegas portugueses do autor, no decurso da componente letiva do presente mestrado. O resultado esperado desta etapa é a constatação de que, apesar de práticas diferentes inerentes a cada geografia ou nacionalidade, o problema continua sem uma solução satisfatória.
- Etapa 3: Análise do estado do conhecimento sobre este tema. Para o efeito, realizar-se-á uma revisão da bibliografia relevante no tema e das normas de cofragens vigentes tanto no Brasil quanto em Portugal e analisar-se-á os softwares de análise estrutural e os disponibilizados pelos fabricantes de cofragens. O resultado desta etapa será a síntese dos conhecimentos adquiridos, e a consolidação da ideia inicial, que se está, efetivamente, em presença de um problema que carece de resposta. Note-se que, na procura de resposta, o autor pretende percorrer vários caminhos, de maneira a assegurar-se que o problema não está resolvido, o que é essencial para a justificação da necessidade da presente dissertação.
- Etapa 4: Proposta de solução, apoiada na experiência profissional do autor e dos profissionais inquiridos (ver Etapa 2) e no contato com carpinteiros de cofragem que, por vezes, executaram o corte da cofragem sem projeto. A partir das nuances observadas e dos parâmetros necessários para realização do plano de corte, pretende-se estruturar um passo-a-passo que corresponda à solução desejada.
- Etapa 5: Validação do método proposto, com o auxílio de planilhas eletrônicas e software de dimensionamento de estruturas, permitindo corrigir eventuais falhas detectadas e aperfeiçoar iterativamente o método proposto.
- Etapa 6: Avaliação da aplicabilidade da proposta, através de um estudo de caso - adotando o processo desenvolvido na Etapa 4 e validado na Etapa precedente – avaliando eventuais reduções na perda de materiais em resultado da otimização do plano de corte que o modelo proporcionará.
- Etapa 7: Desenvolvimento de ferramentas de aplicação prática do método, materializadas em diversas tabelas e sequências lógicas passíveis de reprodução, que possam facilmente ser implementadas por *softwares*, ou aplicações BIM.

Notas: na Etapa 3 buscar-se-ão índices de perdas adotados nas planilhas de custo unitário do serviço (*benchmark*), de maneira a poder comprá-los com os resultados alcançados na Etapa 6; na Etapa 6 utilizar-se-á um exemplo real da prática do autor, compreendendo um projeto de fôrmas de algumas vigas de um empreendimento comercial.

2.3 RESULTADOS ESPERADOS E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A principal contribuição deste trabalho será aplicar o que já existe no mercado com as adaptações necessárias, de modo a viabilizar sua aplicação otimizada. Além disso, este trabalho propõe um modelo de identificação para o reaproveitamento das peças e estruturas utilizadas na cofragem. Tecnologias disponíveis no mercado como o RFID (Radio-Frequency Identification) têm custo acessível e se integram facilmente com diversos softwares comerciais, identificando o destino de cada parte ainda na fase de corte.

Para desenvolver tal proposta, um estudo do estado da arte e das tecnologias foi desenvolvido e será discutido no capítulo 3. Em seguida, as cofragens serão contextualizadas no capítulo 4 e no capítulo 5 será abordada a realidade atual da cofragem no Brasil no tocante às normas e demais aspectos relevantes. No capítulo 6, o processo de otimização será detalhado em etapas acompanhado de um exemplo. Já no capítulo 7, um estudo de caso com a aplicação do processo proposto será avaliado. Por fim, no capítulo 8 ter-se-ão as conclusões.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na construção civil, a cofragem é um elemento construtivo utilizado para que materiais, tais qual o betão armado, adquiram a forma desejada após a secagem. De acordo com Fajersztajn (1987), o sistema de cofragem é conceituado como a estrutura que atua no processo de moldagem e sustentação do betão fresco até que ele atinja resistência suficiente para suportar os esforços a que está submetido.

Em 2007, já se discutia a importância de um detalhamento maior da cofragem: "A importância das fôrmas para concreto na concepção, na execução e nos custos da estrutura de um edifício, justifica plenamente um estudo detalhado do seu dimensionamento e a melhor escolha dos materiais" (Nazar 2007).

Cofragens para peças de formatos não-planos, como por exemplo um elemento em curva, traz um grau de dificuldade ainda maior para sua confecção, que em muitos casos, o carpinteiro de cofragens produz a peça de forma errada e precisa refazer várias vezes a mesma peça, até que ela fique adequadamente cortada, possibilitando a perfeita confecção da cofragem de acordo com a necessidade do projeto (Müller 2017). Esses erros, além de causar prejuízo do material na fase da execução (fabrico e montagem) da cofragem, continuarão a causar prejuízos se a mesma for aplicada com dimensões erradas, produzindo uma peça de betão fora de suas dimensões (Biotto et al. 2015).

A proposta deste trabalho é analisar e propor melhorias no projeto e detalhamento de cofragem, que podem ser adotadas em nível de software de modo que seja extraído o maior índice de aproveitamento da madeira e otimizando a execução das cofragens, por meio de uma interface mais rica em detalhes, facilitando o processo do fabrico.

Os softwares de desenho, como AutoCad, e de projetos, como o Revit, estão voltados exclusivamente para modelos, e não para dimensionamento das peças. A aplicação destes softwares não possibilitará um detalhe minucioso das cofragens que viabilize a produção delas, para que se apresente ao carpinteiro o detalhe de cada elemento constituinte da cofragem.

Existem aplicativos que detalham cofragens em AutoCad a partir de bibliotecas. Também é possível criar famílias no Revit e em outros programas de plataforma BIM, que representam a cofragem, mas em nenhum dos casos permite ou viabiliza o detalhamento e layout do corte dos contraplacados otimizando o seu aproveitamento nem das outras peças constituintes da cofragem.

De um modo geral, os softwares de cofragem estão voltados para o dimensionamento das peças, indicando dimensão, quantidade, espaçamento. O detalhamento das partes componentes da cofragens, de cada peça constituinte, bem como o resumo da quantidade de material necessário para sua execução, também são apre-

sentados. A produção e identificação de cada elemento construtivo da cofragem precisa de uma atenção maior, tendo em vista que esse é um dos principais pontos onde podemos intervir para evitar desperdícios.

Neste trabalho, é analisado um aspecto ainda não explorado pelos softwares de estruturas, no que se refere ao detalhamento do processo de produção das cofragens. De maneira mais específica, o fornecimento de um plano de corte para os contraplacados de madeira utilizado na cofragem. Fornecidos já a partir do software de estruturas viabilizará uma produção das cofragens de forma mais otimizada. É importante destacar, que o plano de corte dos contraplacados de madeira são completamente independentes do dimensionamento da cofragem. O dimensionamento da cofragem vai determinar as dimensões das peças e aqui é proposto a forma como estas peças serão produzidas.

Outros segmentos industriais, como a confecção de móveis, já possuem softwares que desenvolvem e otimizam o plano de corte. Nas cofragens para as peças de betão, no entanto, as suas dimensões atingem com facilidade comprimentos maiores que o tamanho das folhas de contraplacados, forçando, com isto, a emenda das peças para que atinjam o comprimento do elemento. Além disso, é conveniente destacar que grande parte das peças dos móveis, necessitam que as peças sejam inteiras e não admitem emendas, diferente das cofragens, que podem ser constituídas por vários elementos sem nenhuma perda de sua funcionalidade, características e acabamento.

A maioria das estruturas de betão não necessitam de perfeito acabamento, pois receberão revestimentos de argamassa ou outros materiais, garantindo a qualidade visual desejada. Sendo assim, as peças de contraplacados de madeira das cofragens que darão forma as peças de betão, não precisam, necessariamente, serem inteiras, podendo estas serem formadas por recortes de contraplacados, sem nenhum prejuízo à cofragem ou à estrutura.

Do ponto de vista de dimensionamento, os programas com tecnologia BIM, podem facilmente definir as alturas das cofragens com relação a posição da viga, identificando cada face da mesma, se é externa ou interna, para compensar ou não a altura da laje. Além disso, os softwares em BIM podem identificar a posição da laje em relação à viga, facilitando o detalhamento das peças de contraplacados de madeira da cofragem a serem produzidas.

3.1 ESTADO DA ARTE

A quebra de paradigmas resultantes da Modelagem da Informação da Construção (do inglês, Building Information Modeling - BIM) está nas novas tecnologias e novos processos para o setor de Arquitetura e Construção Civil (AEC). BIM possibilita o desenvolvimento de um ou mais modelos virtuais de informação da construção, além de facilitar um processo de projeto e construção mais integrados e colaborativos.

A partir daí, vários estudos não só confirmaram a importância do seu correto dimensionamento como também visavam a sua otimização. A pesquisa de Jarkas (2010) conclui que, embora a cofragem seja uma importante atividade de trabalho intensivo, na maioria das vezes, seu custo de mão-de-obra é estimado de forma grosseira ou agregado ao custo de outras atividades, reforçando a importância da aplicação dos princípios de racionalização e normalização à fase de concepção dos projetos de construção.

O estudo de Kaveh (2010) utiliza um algoritmo de busca de harmonia para identificar o projeto ideal de cofragem. Esse método é uma técnica de otimização numérica desenvolvida recentemente que imita o processo de performance musical, quando um músico procura por um melhor estado de harmonia.

No trabalho de Veenendaal et al. (2011), observa-se a evolução do uso de tecido como elemento construtivo de cofragem. Esse artigo apresenta uma visão geral abrangente da cofragem com tecidos, listando os principais inovadores, desenvolvimentos tecnológicos e suas vantagens, e oferecendo exemplos de estruturas construídas com esses métodos. Apesar de extremamente relevante, apenas o trabalho de Kenzo Unno leva em consideração a ideia de “zero-waste”, ou seja, uma otimização implícita.

Outros trabalhos se destacam por apresentarem modelos computacionais de otimização, como o proposto por Meadati et al. (2011). Nele, os autores propõem um repositório de objetos BIM relativos à cofragem, de modo a adicionar esses elementos à modelagem do projeto como um todo. É um importante passo não só para a otimização, como também para a integração com as plataformas de projeto mais utilizadas na construção civil.

Em seu trabalho, Dikmen (2011) utiliza redes neurais artificiais¹ para estimar o custo de horas trabalhadas para execução do projeto de cofragem. O custo de mão-de-obra associado à cofragem constitui uma parte importante dentro dos custos dos edifícios de estrutura de betão armado. O estudo proposto pelos autores sugere um método baseado em redes neurais artificiais desenvolvido para estimar as horas de trabalho necessárias para a atividade de cofragem de tais edifícios. A partir do método proposto pelos autores, pode-se estimar o custo da cofragem em relação ao custo total da obra. O trabalho não entra no mérito do projeto da cofragem em si, mas justifica que o processo é de relevância para o custo efetivo total da obra.

Outra evidência da relevância do tema é encontrada no trabalho de Elbeltagi et al. (2012). Nele, um modelo de lógica Fuzzy foi desenvolvido para identificar qual o melhor tipo de cofragem para um determinado empreendimento. Tal princípio evidencia a necessidade de otimização da cofragem abordando um outro ponto do projeto.

O trabalho de Ruschel (2015) propõe-se uma biblioteca de componentes para o projeto de cofragens de madeira, incluindo usos de BIM tais como a Modelagem, a Quantificação, a Simulação 4D e procedimentos associados.

Em sua tese de doutoramento, Hack (2018) propõe um processo de fabricação robótica, que unifica cofragens de betão e reforço estrutural e, portanto, reduz potencialmente os desperdícios de formas e os custos de construção de edificações de betão armado não padronizadas. Nesse caso, a otimização ocorre não só em nível de execução como também na viabilidade de fôrmas mais complexas.

Já no trabalho de Hyun et al. (2018), através do desenvolvimento de um sistema automático de cofragem com base em BIM (Building Information Modeling), esta pesquisa otimiza o processo de cofragem necessário para realizar os cálculos para o dimensionamento da cofragem, extraindo automaticamente as propriedades e dados de um modelo BIM. O resultado do estudo de caso revela que a eficiência do processo de projeto de cofragem pode ser muito melhorada utilizando o sistema de projeto de cofragem proposto. Esse é um dos primeiros trabalhos a integralizar quase todos os aspectos de otimização da cofragem, porém não propõe o layout de corte otimizado.

¹ Redes Neurais Artificiais (RNA) é uma técnica de resolução de problemas que imita os princípios básicos de funcionamento do cérebro humano.

Atualmente, Ko (2019) propõe o uso do pensamento Lean no projeto de cofragem para melhorar a correção do projeto e eliminar o desperdício, por meio do estabelecimento de um processo de projeto de cofragem Lean. No processo de design, o conceito de design simultâneo é adotado para fornecer uma plataforma de comunicação visual para os membros da equipe de projeto usando o Building Information Modeling (BIM). O Industry Foundation Classes (IFC) é usado como um protocolo para compartilhar artefatos de design. A correção do design é estabelecida para revisar e corrigir erros de design, permitindo a construção de um ambiente organizacional de aprendizado.

Os trabalhos de Hyun et al. (2018) e Ko (2019) são os dois pilares dessa dissertação. Utilizando o sistema proposto por Hyun et al. (2018) com o processo de projeto proposto por Ko (2019), essa dissertação conclui o processo de otimização da cofragem por meio da sua principal contribuição: a otimização do plano de corte da cofragem.

COFRAGENS

A produção da cofragem destinada ao fabrico do betão armado é um processo que, apesar de simples, está devidamente normalizado de acordo com os órgãos competentes de cada país. No Brasil, a NBR 15 696 faz referência ao processo de produção e determina que “a fabricação dos equipamentos deve assegurar a qualidade e as especificações originais do projeto desenvolvido”. Não faz menção a nenhuma técnica ou especificações do ponto de vista de otimização ou segurança. Em Portugal, a NP EN 13670 aplica-se à execução de estruturas de betão objetivando o nível pretendido de segurança e de utilização durante a sua vida útil, como estabelecido nas normas: EN 1990, EN 1992 e EN 1994 com os parâmetros determinados a nível nacional (NDP) aplicáveis no local da utilização. Percebe-se que em Portugal já há uma legislação mais específica para estruturas de betão porém também há pouca informação no tocante as cofragens. No item 5, da referida norma encontra-se os seguintes requisitos básicos:

- Os cimbres e as cofragens, incluindo os seus apoios e fundações, devem ser dimensionados e construídos de modo a que sejam: (i) capazes de resistir a qualquer ação a que fiquem submetidos durante a construção e (ii) suficientemente rígidos para assegurar que as tolerâncias especificadas para a estrutura são satisfeitas e que a integridade do elemento estrutural não é afetada.
- A forma, função, aspecto e durabilidade das obras permanentes não devem ser danificados ou deteriorados pelo comportamento dos cimbres e das cofragens ou pela sua remoção.
- Os cimbres e as cofragens devem estar em conformidade com as normas europeias, tais como a EN 1065.

As cofragens são feitas, comumente, a partir de duas matérias primas: a madeira e o contraplacado marítimo. Algumas construções específicas fazem uso de chapas metálicas, moldes perdidos de betão vazado, betão leve ou polielisteno expandido. As Fôrmas de madeira ainda são as mais utilizadas, por apresentarem melhor custo-benefício. Podem ser fabricadas no próprio canteiro de obra, com madeira de reaproveitamento, e dimensionadas de acordo com cargas e pressão do betão, o que varia a cada obra, atendendo as mais diversas formas geométricas para elementos estruturais. Apesar da vasta aplicação das fôrmas modulares metálicas, há casos em que a madeira ainda é indispensável. Como visto anteriormente, no capítulo 1, as cofragens para serem efetivas devem possuir oito características fundamentais. Já a NP EN 13670, sumariza os seguintes requisitos para cofragens:

- Conservar o betão na forma pretendida até este endurecer;
- As cofragens e as juntas entre painéis ou pranchas devem ficar suficientemente estanques para evitar a perda de finos;
- Quando susceptíveis de absorver quantidades significativas de água ou de facilitar a evaporação, as cofragens deverão ser adequadamente umedecidas para reduzir a saída de água do betão – a não ser casos em que o propósito é deliberado;
- A superfície interior das cofragens deve estar limpa. Se as cofragens forem utilizadas para produzir superfícies de betão aparente, o tratamento das suas superfícies deve ser o adequado a obtenção do acabamento pretendido;
- Permitir a fácil descofragem sem introduzir danos nas estruturas.

Apesar de possuir menos itens, a NP EN 13670 corrobora em diversos aspectos com o que foi apresentado no capítulo 1. Isto é, ambos sugerem que cofragens devem: (i) permitir fácil descofragem, (ii) os moldes devem ser limpos, (iii) garantir que o betão permaneça na forma desejada até o seu total endurecimento. A norma não prevê utilização mínima dos moldes, requisito que foi citado por (de Brito e Pedro Paulo 2001). Neste aspecto, pode-se considerar que para o presente estudo, este requisito não será necessário, pois a otimização se dará por meio da utilização do mínimo número de peças de contraplacado.

O projeto da cofragem também possui requisitos mínimos de acordo com a legislação europeia vigente NP EN 13670, tais como:

- A ação principal nas cofragens é a correspondente ao impulso do betão no estado fresco;
- O projeto deve ser realizado de acordo com a regulamentação em vigor de acordo com o material utilizado (Estrutura metálica, de madeira, ...);
- Deve ter em conta as ações atuantes;
- Deve garantir a resistência e uma reduzida deformabilidade (prever eventualmente contraflechas).

Nas seções a seguir serão abordados tópicos de relevância para a construção do conhecimento necessário para a elaboração do modelo de otimização proposto.

4.1 EVOLUÇÃO DA COFRAGEM

A cofragem é um sistema cuja origem data de muito tempo atrás. As primeiras tentativas do uso da cofragem datam dos tempos Romanos quando havia necessidade de erguer grandes superestruturas (Ching et al. 2017). O betão romano consistia em três partes: cal hidratada, cinzas pozolanas e alguns pedaços de rochas do tamanho de punhos. O truque para um vínculo forte não estava apenas na mistura, mas também na aplicação adequada. A cofragem era construída em madeira na forma desejada. Os trabalhadores misturaram manualmente a cal

e as cinzas vulcânicas em uma caixa de argamassa com muito pouca água para obter uma composição quase seca.

Iniciado o processo de assentamento do betão, ele teve que ser realizado sem pausa para evitar costuras. Verter grandes estruturas era um processo complexo e ininterrupto. O betão moderno, por ser mais úmido, diminui de volume quando seca e, portanto, é menos durável do que o dos antigos. E embora os trabalhadores de betão hoje vibrem o betão úmido depois de lançarem para garantir que preencham a cofragem, o betão romano era triturado – como o engenheiro David Moore descobriu, sendo um elemento importante no processo químico que deixa o material mais resistente (Ching et al. 2017).

Para cúpulas, apenas betão era usado. O vazamento, feito contra uma cofragem temporária de madeira, teve que ser sem emendas, colocado de baixo para cima sem pausa, a fim de garantir a coesão do todo (Ching et al. 2017).

A partir do desenvolvimento da concepção arquitetônica, da engenharia e das técnicas de construção um grande desenvolvimento dos sistemas de cofragem surgiu em todo o mundo, particularmente após a criação do cimento Portland e do betão armado.

Quando surgiram como equipamento fundamental no fabrico do betão, as cofragens eram apenas uma adaptação dos taipais utilizados no fabrico de grandes blocos de terra, a chamada taipa. Em geral eram obtidas em madeira trabalhada, peça a peça, de forma a conferir ao elemento estrutural a forma final pretendida. Esta técnica aproveitava a grande abundância de matéria prima, mão de obra e, especialmente, tempo.

Atualmente, cofragem não resume-se apenas às fôrmas de madeira. Diversos materiais são utilizados para finalidades e acabamentos diferentes. Os tipos de cofragens, distinguidos por seus respectivos materiais e manuseios serão apresentados na seção a seguir.

4.2 TIPOS DE COFRAGENS

Como dito anteriormente, um sistema de cofragem consiste num conjunto de materiais que interagem de forma a moldar o betão de modo a garantir-lhe a forma até que seque e o suporte necessário através da superfície cofrante. O principal diferencial está na capacidade da cofragem ser recuperável, perdida ou descartável. No primeiro caso a reutilização da cofragem já é prevista, por outro lado contrário, nas cofragens perdidas ou descartáveis apenas usufruímos por uma vez do seu serviço.

Uma outra diferença proporciona uma subdivisão de acordo com a sofisticação da solução no caso das cofragens recuperáveis. Pires (2015) compilou na tabela abaixo uma classificação proposta que esquematiza e contextualiza de forma clara o assunto a expor baseado nos conteúdos encontrados em construlink.com. As cofragens perdidas ou descartáveis não serão objetos deste trabalho devido a inviabilidade do seu reaproveitamento.

As cofragens tradicionais são as mais comuns e em geral são executadas em barrotes e tábuas de madeira maciça e utilizam pregos como conectores. O maior atributo dessa solução é a sua versatilidade.

As cofragens semi-racionalizadas são cofragens tradicionais adicionadas de alguns elementos de caráter racionalizado como vigas metálicas ou madeira e painéis de contraplacado, entre outros elementos. Já as cofragens

Tabela 1: Tipos de cofragens ¹

	Tradicionais	Madeira
	Recuperáveis	Semi-racionalizadas ou tradicionais recuperáveis
Racionalizadas		Ligeiras ou desmembráveis
		Semi-desmembráveis
		Pesadas ou monolíticas
Especiais		Vigas de lançamento
		Carro de avanço
		Pneumáticas
	Pré-lajes	
Perdidas	Estruturais ou colaborantes	Pavimentos aligeirados
		Chapas de aço galvanizado
		Abobadilhas
	Não-estruturais ou não-colaborantes	Blocos de material expandido
		Cofragens plásticas
Descartáveis		

¹ Adaptado de Pires (2015).

racionalizadas são estruturas provisórias de sustentação produzidas em fábrica, sendo constituídas por elementos normalizados e executadas em materiais fortemente reutilizáveis e as ligações entre os constituintes de uma cofragem deste tipo são muito otimizadas para uma fácil montagem e desmontagem.

As cofragens racionalizadas baseiam-se no peso dos sistemas a que se destinam e podem ser de três tipos: ligeiras (os elementos de suporte e o conjunto dos painéis é composto por módulos), semi-desmembráveis (consiste no acoplamento de painéis por meio dos elementos de ligação necessários em um sistema de grande porte) ou monolíticas (constituída de uma peça única, em que os painéis e suporte são indissociáveis).

Por fim, as cofragens perdidas são sistemas que contêm malhas e, após a betonagem dos elementos de betão, ficam agarradas aos mesmos e não podem voltar a serem utilizadas, reforçando a obra. Normalmente usada para fazer sapatas e enrijecer os pavimentos e distribuir as forças pelas estruturas verticais do edifício, em caso de sismo por exemplo, assim retiram-se os antigos soalhos e colocam-se estas malhas servindo como armadura da estrutura. Com base nessas definições, as cofragens tradicionais e semi-racionalizadas serão o foco deste trabalho.

4.3 DIMENSIONAMENTO DA COFRAGEM

O dimensionamento de uma cofragem é geralmente bastante desconsiderado a nível da sua importância no processo construtivo. Alguns softwares de construção civil apresentam funcionalidades referentes às cofragens.

A tabela abaixo apresenta um comparativo dos softwares encontrados tanto no mercado brasileiro quanto no mercado lusitano.

O Cypecad é uma solução completa para construção civil, abrangendo diversos projetos associados ao processo construtivo e conta com a tecnologia BIM. A Doka, fabricante de cofragens, possui uma ferramenta online

– o Doka-Tools¹ que permite o cálculo dos produtos oferecidos pela empresa para a aplicação do usuário. A PERI, empresa especializada em cofragem, possui ferramentas² para cálculo da pressão do betão na cofragem bem como uma ferramenta³ para calcular o layout, espaçamento e distribuição de conjuntos MULTIFLEX. No Brasil, há o Corte Certo⁴, que não é voltado para construção civil, porém permite realizar o plano de corte em 2D com a identificação das partes a serem cortadas. Por fim, o Promob possui uma solução para corte de madeira para moveis projetados (Promob Cut⁵) e que também pode ser utilizado para a madeira utilizada nas cofragens. Há também o Eberick⁶, software de estruturas da AltoQI especializado em cálculos estruturais. Além dos softwares já citados, no Brasil temos a TQS⁷ que possui um sistema de cálculo e dimensionamento estruturais com suporte a BIM. No mercado português, há o SAP 2000⁸: um programa de elementos finitos, com interface gráfica 3D orientado a objetos, preparado para realizar, de forma totalmente integrada, a modelação, análise e dimensionamento do mais vasto conjunto de problemas de engenharia de estruturas.

A tabela 2 a seguir não é exaustiva e sintetiza os principais atributos dos softwares mencionados até o momento.

Tabela 2: Comparação dos Softwares disponíveis no mercado

Software	BIM	Dimensionamento de carga	Diagramação	Superfície de Cofragem
Cypecad	✓	✓	×	✓
Doka-Tools	×	✓	×	✓
PERI	×	✓	×	✓
Paschal Plan Pro	×	✓	✓	✓
CorteCerto	×	×	✓	×
Promob Cut	×	×	✓	×
Eberick	✓	×	×	✓
TQS	✓	✓	×	✓
SAP 2000	✓	✓	×	✓

Percebe-se que a maioria dos softwares já possui modelos pré-estabelecidos de cofragem pertencentes aos próprios fabricantes e fornecedores do software. Isto inviabiliza não só a otimização e reutilização das cofragens como também o desenvolvimento de soluções de baixo-custo. Apesar disso, na maioria das construções a modelagem do betão é feita de forma tradicional: com cofragens personalizadas para cada peça. Segundo Pires (2015) este é um método que se revela ineficaz nos principalmente nos seguintes aspetos:

- Elevado custo pela pouca reutilização;

1 <https://utiposweb01.doka.com/dokatools/?language=pt>

2 <https://www.peri.pt/produtos/aplica%C3%A7%C3%B5es-e-programas/calculadora-impulsos-bet-o.html>

3 <https://www.peri.pt/produtos/aplica%C3%A7%C3%B5es-e-programas/peri-multiflex-configurador.html>

4 <https://cortecerto.com/glossario/plano-de-corte/>

5 <http://kb.promob.com/cut/Paginas/Home.aspx>

6 <https://www.altoqi.com.br/eberick/>

7 <http://www.tqs.com.br>

8 <https://www.csiportugal.com/software/2/sap2000>

- Elevado custo em mão-de-obra pela personalização da cofragem;
- Sobredimensionamentos com acréscimos desnecessários de gastos em cofragem;
- Aumento da sinistralidade devido a segurança estrutural pouco cuidada com maior risco de aluimento e outros acidentes.

Devido a estes fatores, o dimensionamento destes sistemas provisórios, nomeadamente o cálculo dos seus componentes, deve ser tão cuidado quanto o dimensionamento das estruturas finais. Além disso, o dimensionamento não leva em consideração a otimização da reutilização, nem a otimização do plano de corte das fôrmas utilizadas. Essa otimização será abordada no capítulo 6, a partir do processo proposto.

A aquisição dos softwares destinados ao dimensionamento de cofragens geralmente são dispensados em função de dois aspectos:

- **Custo × Benefício:** De forma errada, as empresas e construtores consideram o valor investido no software e o tempo que um engenheiro leva para elaborar um projeto de cofragem não vale a pena financeiramente. Considera-se que a prática dos profissionais estão muito próximos aos resultados que podem ser obtidos por um software e que a economia gerada pelo uso desses softwares não gera retorno financeiro compatível ao investimento.
- **Falta de Conhecimento:** De um modo geral, os softwares de dimensionamento e detalhamento de cofragens não atingiram o mercado com tanta popularidade quanto os outros tipos de dimensionamento: estruturais, elétricos, hidráulicos ou térmicos. Com a falta de obrigatoriedade de apresentação do projeto de cofragens tanto em Portugal como no Brasil, faz com que se torne menos popular – o que não o torna menos importante.

A COFRAGEM NO BRASIL

A tecnologia de cofragens, atualmente utilizada pela maioria das construtoras brasileiras inciou-se nos canteiros de obra por volta do fim da década de 60 (Assahi 2006).

O Eng. Toshio Ueno foi o primeiro brasileiro a produzir estudos que uniam os conhecimentos da engenharia civil e as observações e experiências do dia-a-dia dos canteiros. Seu principal objetivo, na época, era a otimização dos custos através da melhoria da produtividade e do menor consumo de materiais, com aumento do número de reaproveitamento dos mesmos.

No sistema de Toshio Ueno, todas as peças de madeira que compõem a cofragem passaram a ser pré-confeccionadas na bancada com sua dimensão definitiva, a partir de um desenho específico. Além disto, definiu-se a sequência de montagem, passo a passo, vinculando-a com a de inspeção.

A grande novidade era a de ter peças com dimensões definitivas, considerando-se todos os detalhes de seus encontros. A montagem foi planejada para ser executada sem o uso de serrotes, apenas acertando-se os encontros, substituindo-se o processo até então utilizado: baseado no ajuste das dimensões “*in-loco*”, dado que as peças eram apenas semiprontas.

A outra mudança proposta por Ueno no processo produtivo de cofragens, foi a da utilização de escoras estrategicamente distribuídas, para permitir a retirada da maior parte da cofragem (entre 80% a 90%). Somente as demais permaneciam prendendo uma pequena parte da cofragem, chamada de tiras de reescoramento, ainda com a estrutura em plena fase de cura, com idade entre 3 a 5 dias (Neto 2014).

Percebeu-se que, tendo-se a exatidão na medida de confecção das partes da cofragem, normalmente retalhada para se obter peso adequado para transporte e manuseio manual, bastaria montá-las sem que abrissem frestas entre as peças ou que não remontassem uma sobre outra para se obter medida total correta. Baseado neste raciocínio criou-se o procedimento de inspeção de controle da qualidade geométrica eficaz, apenas com observação cuidadosa, sem a necessidade de utilização de qualquer instrumento de medição durante a montagem.

Na época, o dimensionamento ainda era manual e não havia automatização do processo construtivo. Atualmente, o processo proposto por Toshio ao ser revisitado sob a luz das novas tecnologias, pode trazer não só a otimização da estrutura da cofragem, mas também a otimização do plano de corte da cofragem.

5.1 EXEMPLOS ATUAIS DE COFRAGENS NO BRASIL

A cofragem na realidade brasileira é um tanto distinta da portuguesa. O tipo de cofragem mais utilizado ainda é o de contraplacado de madeira devido ao seu baixo custo e larga disponibilidade. Nas figuras a seguir, observa-se o uso de cofragens em empreendimentos residenciais de alto padrão na cidade de Campina Grande, Paraíba.



Figura 3: Cofragem aplicada em obra.



Figura 4: Improviso inadequado na cofragem.

Na figura 3 e 4 acima, temos a cofragem de uma viga em uma residência com estrutura independente em betão armado. Pode-se observar facilmente que os improvisos por falta de projeto, a falta de planejamento na produção e o baixo controle de qualidade na execução das cofragens são visivelmente deficientes e facilmente identificados.

Os principais erros que observamos nestas fotos acima, são no fabrico das cofragens, onde foi utilizado um painel com altura insuficiente (menor que a desejada). Pra corrigir este erro, foi feito um complemento do painel com sobras de madeira de forma inadequada, produzindo uma emenda grosseira e que pode não ter atingido a dimensão exata desejada da peça.

Em seguida observamos também outro painel com uma altura maior do que a desejada, promovendo duas alturas de cofragens diferentes para um vão da viga que tem altura constante. É fácil perceber este erro, pois, mesmo depois da concretagem é possível visualizar a sobra de painel em relação ao betão. Além destes erros no fabrico da cofragem é possível verificar erro na aplicação do painel, provocando a falta de estanqueidade. Estes erros podem comprometer a dimensão final da peça e a qualidade do betão.

5.2 TIPOS DE COFRAGENS NO BRASIL

Na construção civil, a madeira pode ser utilizada tanto de maneira temporária, como de maneira permanente (Matos 2017). Quando utilizada de maneira temporária, é destinada modelagem *in-loco* de peças de cofragem de betão armado, como vigas, pilares, lajes, blocos de fundação, etc. Além disso, pode ser utilizada como escoras de lajes – principalmente utilizado em obras de pequeno porte. Por outro lado, quando utilizada de maneira permanente em obra, pode ser aplicada em assoalhos, *decks*, portas, janelas e principalmente em estruturas de telhado (Di Mauro 2013).

O tratamento dado à madeira é o grande diferencial entre seu uso temporário e permanente. No caso da cofragem, em geral utiliza-se madeirites plastificados no Brasil (em Portugal o contraplacado marítimo), que consistem em um painel compensado composto de lâminas de madeira sobrepostas e coladas com adesivo fenol-formaldeído ou uréia-formaldeído. Neste caso, o madeirite é utilizado e reutilizado algumas vezes, de acordo com seu desgaste, e posteriormente descartado.

Assim, o derivado de madeira não necessita ser da melhor qualidade e seu valor de mercado relativamente elevado decorre do tipo de cola utilizada na fabricação. Agora, tendo como exemplo estruturas de telhado, estas sim necessitam ser compostas por madeira tratada, a fim de se evitar o desgaste desta por aparecimento de fungos e ou cupins (Miana 2007).

Além da madeira, a utilização de cofragens mistas (painéis modulares cuja estrutura é feita de metal em conjunto com a chapa de madeira compensada), também é bastante difundida no país. Esse sistema pode ser comprado ou locado por meio de uma empresa especializada que fornece a cofragem e seus acessórios, além de prestar serviços de engenharia como projetos, planejamentos e supervisão técnica para a aplicação das mesmas.

O BNH (Banco Nacional da Habitação) deu um grande impulso às habitações em larga escala, promovendo ações de financiamento de habitações de pequeno porte. Com isto foi possível a entrada das cofragens metálicas para betão, inicialmente importadas (dos Santos 2008).

5.3 NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA

A norma brasileira regulamentadora das cofragens e escoramentos para estruturas de betão é a NBR15696 (2009), que passou a vigorar a partir de 15/05/2009. Esta norma regulamenta os projetos, dimensionamentos e procedimentos executivos das cofragens e escoramentos, ou seja, determina os procedimentos e condições que devem ser obedecidos para a execução das cofragens e escoramentos em estruturas de betão *in loco*.

De acordo com a NBR15696 (2009), cofragens são: "*estruturas provisórias que servem para moldar o concreto fresco, resistindo a todas as ações provenientes das cargas variáveis resultantes das pressões do lançamento do concreto fresco, até que o concreto se torne autoportante*".

No item 4.1.2.2 da referida norma, especifica-se que os projetos de cofragens devem:

- especificar os materiais utilizados;

- definir clara e exatamente o posicionamento de todos os elementos utilizados;
- mencionar os critérios adotados para o dimensionamento da cofragem, tais como a pressão do concreto, a velocidade de lançamento, altura de concretagem e de vibração, consistência do concreto, metodologia de lançamento etc.;
- ser detalhado com plantas, cortes, vistas e demais detalhes, de tal forma que não fiquem dúvidas para a correta execução da montagem.

De acordo com a norma, o projeto da cofragem só será completo com a devida identificação das peças (um método para tal será proposto no capítulo 6) bem como seu detalhamento em planta, com cortes e vistas (também proposto no capítulo 6).

A norma adiciona ainda que: *A critério do responsável técnico da obra, quando da utilização de equipamentos industrializados com cargas admissíveis comprovadas para um tipo específico de montagem, o projeto de fôrma ou escoramento pode incorporar catálogos técnicos, manuais de instrução e montagem.*

É interessante notar que a norma é bem mais específica no tocante aos projetos das cofragens de que em relação às cofragens em si. Neste ponto, é apenas definido que as cofragens devem:

- ter rigidez para assegurar o formato e as dimensões das peças da estrutura projetada, respeitando minimamente as tolerâncias indicadas em 9.2.4 da ABNT NBR 14931:2003;
- ser suficientemente estanques, de modo a impedir a perda de pasta de cimento, admitindo-se como limite o surgimento do agregado miúdo da superfície do concreto.

A norma também trata do impacto ambiental e da destinação dos resíduos de madeira. Recomenda-se que toda madeira usada para cofragens e escoramentos seja oriunda de reflorestamento e, na impossibilidade, seja originada de florestas nativas, porém com planos de manejos sustentados devidamente aprovados pelos órgãos competentes e comprovados pelo fornecedor da madeira. Além disso, resíduos de madeira devem ser retirados da obra e destinados de forma adequada.

5.4 CUSTOS DE COFRAGEM

Analisando o custo de fabricação das cofragens no Brasil através do simulador de Preços do Cype¹, considerando o serviço **EHV011 - Sistema de escoramento e fôrmas para viga**, que tem como unidade de medição m^2 , com o sistema utilizado apenas uma vez.

Na figura 5, o custo unitário do serviço é de R 54,86 por m^2 de cofragem. Observa-se que o maior custo da composição (R 22,32) é com o item “painel de madeira compensada” (contraplacado), que atinge 41,44% do custo total do serviço e 70,10% do custo dos materiais. Além disso, é possível verificar também que o rendimento deste item (1,15) reflete um índice de perda de 15%. Sem dúvida, é um valor bastante significativo para se aceitar pacificamente, induzindo a necessidade de implantação de medidas para aumentar o rendimento.

1 <https://www.cype.pt>

Montagem e desmontagem de sistema de escoramento e fôrmas para formação de viga alta, reta, de concreto armado, em piso de até 3 m de altura livre, formado por: superfície moldante de painéis de madeira compensada, plastificados de 15 mm de espessura; sarrafos de madeira serrada; estrutura suporte de escoras metálicas telescópicas e cruzetas metálicas, amortizáveis em 150 utilizações. Inclusive líquido desmoldante para evitar a aderência do concreto às fôrmas.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt08ebr010w	m²	Painel de madeira compensada, plastificado de 15 mm de espessura, com bordas retas, segundo NBR ISO 1096.	1,15	19,41	R\$ 22,32
mt08ebr030a	Un	Escora metálica telescópica, até 3 m de altura.	0,013	55,15	R\$ 0,72
mt08ebr100	Un	Cruzeta metálica para escora telescópica.	0,013	15,65	R\$ 0,20
mt08ebr050	m	Sarrafo de madeira serrada, de pinus (pinus spp), de 2,5x7 cm, de 2ª qualidade, segundo ABNT NBR 11700.	2,78	2,98	R\$ 8,28
mt08var200c	kg	Pregos comuns 17x21 com cabeça, de 3 mm de diâmetro e 48 mm de comprimento.	0,05	3,86	R\$ 0,19
mt08dba010b	l	Agente desmoldante, à base de óleos especiais, emulsionante em água para fôrmas metálicas, fenólicas ou de madeira.	0,03	4,47	R\$ 0,13
mo044	h	Montador de fôrmas.	0,527	23,7	R\$ 12,49
mo091	h	Ajudante de montador de fôrmas.	0,527	18,08	R\$ 9,53
	%	Custos diretos complementares	2	53,86	R\$ 1,00
				Total:	R\$ 54,86

Figura 5: Fonte Cype (s.d.[a]). Acessado em 09/10/2019

Como podemos verificar nas fichas de custos apresentadas na figura 6, a medida que aumenta o número de utilização das cofragens, o custo unitário por m^2 de cofragem diminui. Vejamos o custo da cofragem para utilização do sistema por 6 vezes.

Montagem e desmontagem de sistema de escoramento e fôrmas para formação de viga alta, reta, de concreto armado, em piso de até 3 m de altura livre, formado por: superfície moldante de painéis de madeira compensada, plastificados de 15 mm de espessura, amortizáveis em **6 utilizações**; sarrafos de madeira serrada, amortizáveis em 6 utilizações; estrutura suporte de escoras metálicas telescópicas e cruzetas metálicas, amortizáveis em 150 utilizações. Inclusive líquido desmoldante para evitar a aderência do concreto às fôrmas.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt08ebr010w	m²	Painel de madeira compensada, plastificado de 15 mm de espessura, com bordas retas, segundo NBR ISO 1096.	0,192	19,41	3,73
mt08ebr030a	Un	Escora metálica telescópica, até 3 m de altura.	0,013	55,15	0,72
mt08ebr100	Un	Cruzeta metálica para escora telescópica.	0,013	15,65	0,2
mt08ebr050	m	Sarrafo de madeira serrada, de pinus (pinus spp), de 2,5x7 cm, de 2ª qualidade, segundo ABNT NBR 11700.	0,463	2,98	1,38
mt08var200c	kg	Pregos comuns 17x21 com cabeça, de 3 mm de diâmetro e 48 mm de comprimento.	0,05	3,86	0,19
mt08dba010b	l	Agente desmoldante, à base de óleos especiais, emulsionante em água para fôrmas metálicas, fenólicas ou de madeira.	0,03	4,47	0,13
mo044	h	Montador de fôrmas.	0,527	23,7	12,49
mo091	h	Ajudante de montador de fôrmas.	0,527	18,08	9,53
	%	Custos diretos complementares	2	28,37	0,57
				Total:	28,94

Figura 6: Fonte Cype (s.d.[b]). Acessado em 09/10/2019.

O custo unitário teve uma redução apenas nominal no seu valor, pois se considerarmos que o quantitativo será multiplicado por 6, o que ocorreu na verdade foi um aumento substancial no valor final. Isto já era de se esperar, pois o trabalho para desmontar, limpar e restaurar com pequenas manutenções as cofragens, foi considerado

equivalente ao tempo de produção. Isto se verifica nos coeficientes de rendimento da mão de obra presente na planilha que permanece o mesmo nos dois casos.

Analisando os custos agora neste novo cenário de reaproveitamento por seis vezes, o rendimento do item “painel de madeira compensada” (contraplacado), atinge apenas 13,15% do custo total do serviço e 58,74% do custo dos materiais. Além disto, é possível verificar também que o rendimento deste item, apesar de ter diminuído nominalmente (0,192), atinge o mesmo percentual quando multiplicado pelo número de utilizações, refletindo o mesmo índice de perda, 15%.

PROCESSO PROPOSTO: OTIMIZAÇÃO DO PLANO DE CORTE

Como observado em capítulo anterior, há metodologias ou softwares de cálculo de estruturas em betão analisados que produzem um dimensionamento que seja adequado a produção otimizada de cofragens para vigas. A falta de uma diagramação otimizada para o plano de corte de cada uma das partes que compõem a cofragem pode causar grande impacto ao custo do processo.

Elaborando uma relação simples dos elementos feitos com contraplacado da cofragem de cada viga, como se faz em um quadro de ferragens, para melhor exemplificar, onde tem-se todas as especificidades de cada barra utilizada na viga acompanhado ao detalhamento da viga em construção. Esta identificação pode ser feita com nomenclaturas e/ou cores previamente identificadas.

Aqui, apresenta-se uma metodologia de otimização dos elementos de cofragem produzidos utilizando chapas planas de madeira (contraplacado).

6.1 PEÇAS PRODUZIDAS COM CHAPAS DE CONTRAPLACADOS DE MADEIRA

Existe hoje no mercado construtivo brasileiro a prática de confeccionar no canteiro de obra as cofragens de acordo com a necessidade de andamento da obra. Essa metodologia não contempla um plano de corte da cofragem estudado previamente, nem um planejamento de uso e reuso das peças. O carpinteiro, que é o encarregado pelo serviço, executa da forma mais prática e acessível ao seu processo diário, sem preocupar-se com a economia de material. A figura 7 é uma fotografia dos resíduos de madeira encontrados comumente em obras residenciais brasileiras. Percebe-se o grande volume de resíduos e que isto reflete em recursos mal-administrados, e portanto, custos elevados.

Como proposta para um melhor aproveitamento desses recursos, inicia-se o processo de avaliação no detalhamento das peças componentes de uma cofragem fazendo uma análise macroscópica nos desenhos. Para facilitar o entendimento, tomamos como exemplo o desenho de detalhamento de cofragem de apenas uma viga isolada, apoiada em dois pilares e sem ligação com lajes, com 6,50 m de comprimento e seção retangular de 12 × 60 cm como detalhado na Figura 8.



Figura 7: Resíduos de contraplacado em construção residencial brasileira.

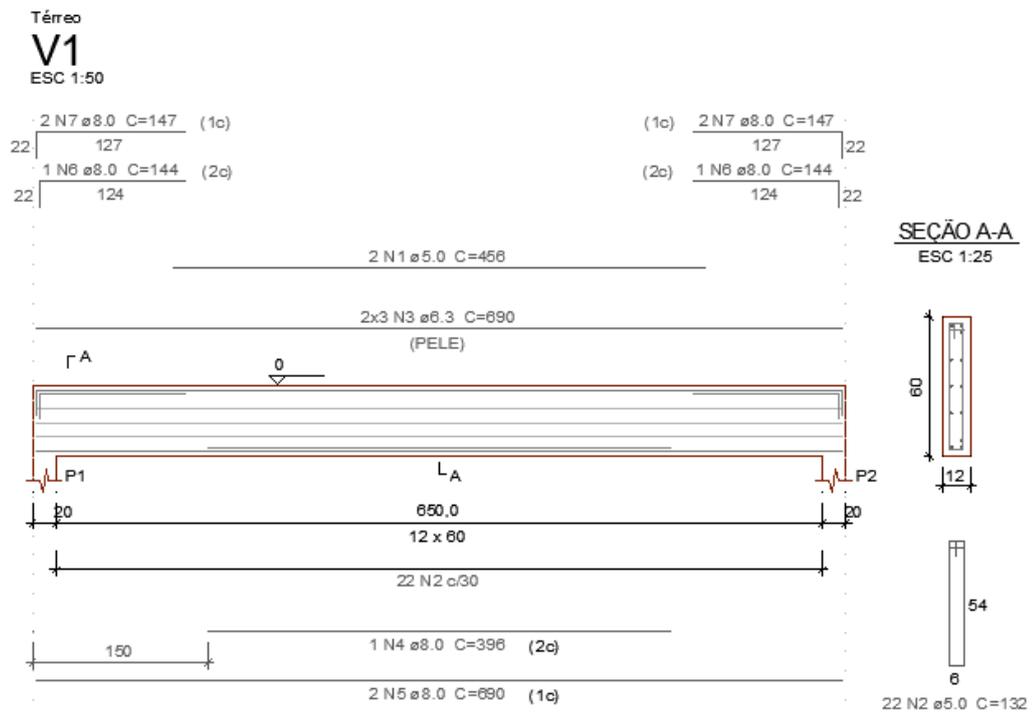


Figura 8: Detalhamento da viga – Eberick.

Este detalhamento é o mais frequente apresentado pelos softwares de estruturas, indicando apenas a forma e as dimensões das peças de betão que é encaminhado ao carpinteiro de cofragem. Observe que não tem nenhuma referência e nem detalhes de nenhuma das partes componentes da cofragem. Considera-se neste exemplo a título de estudo e exemplificação, que as peças da cofragem terão a mesma dimensão da viga, não considerando o acréscimo necessário devido ao modelo adotado de montagem. Sendo assim, a primeira ideia da cofragem para a viga acima seria a forma mais elementar como mostra a Figura 9.

Cofragem - viga V1

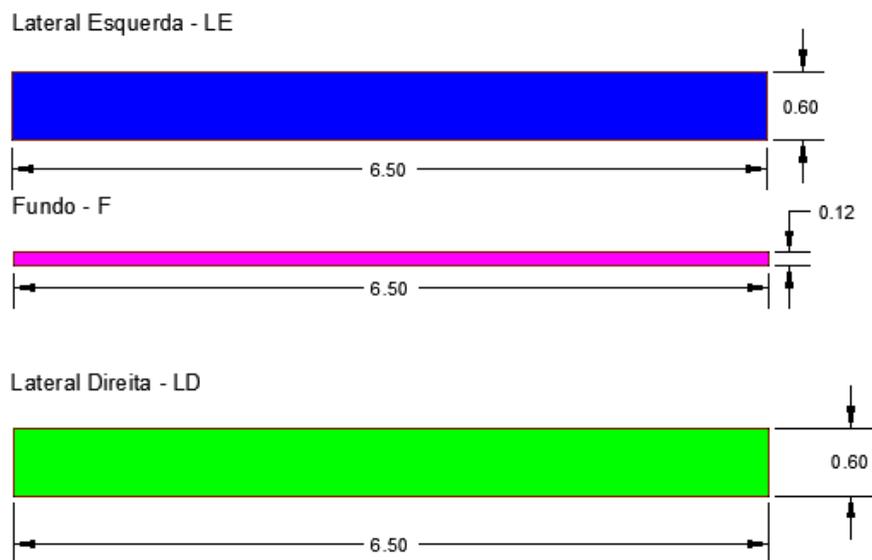


Figura 9: Detalhe inicial da cofragem.

Por falta de projetos e detalhes, o carpinteiro pode executar a produção desta cofragem da maneira que lhe for conveniente, pois não há detalhamento dela. A tendência natural, é do carpinteiro com pouca experiência produzir inicialmente as laterais da viga, por ser de maior dimensão, o que é correto, utilizando folhas de madeira laminadas (contraplacado) novas, até conseguir a quantidade de laterais suficientes para atender a cofragem, ou seja, 3 painéis em cada lado com 2,20 m para atingir os 6,50 m do comprimento da viga, conforme detalhado na Figura 10 totalizando 6 folhas. O carpinteiro tende a executar o corte desta forma para aproveitar o gabarito de corte colocado na bancada de serra, visando ganhar tempo. O resultado são 6 folhas cortadas como mostra a Figura 10.

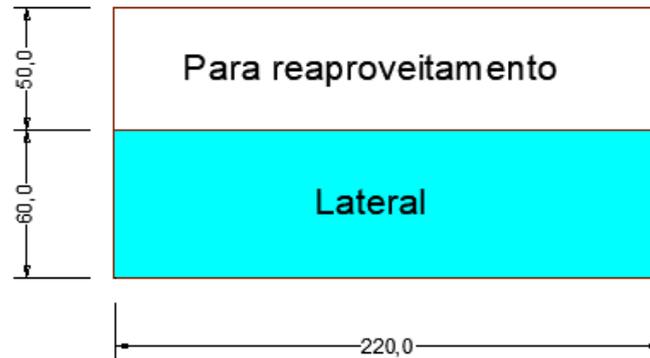


Figura 10: Representação do corte das laterais da viga no contraplacado.

Nas dimensões acima não foram considerados as perdas causadas pelo disco da serra, pois sua espessura depende do tipo e do fabricante. Este valor poderá ser parametrizado no software e levado em conta toda vez que um corte for efetuado.

Desta forma, faltaria apenas a produção da cofragem da base da viga. Em apenas 1 peça destas destinadas para reaproveitamento seria possível produzir os 6,50 m do fundo da viga que falta para completar a cofragem, como mostra a Figura 11.

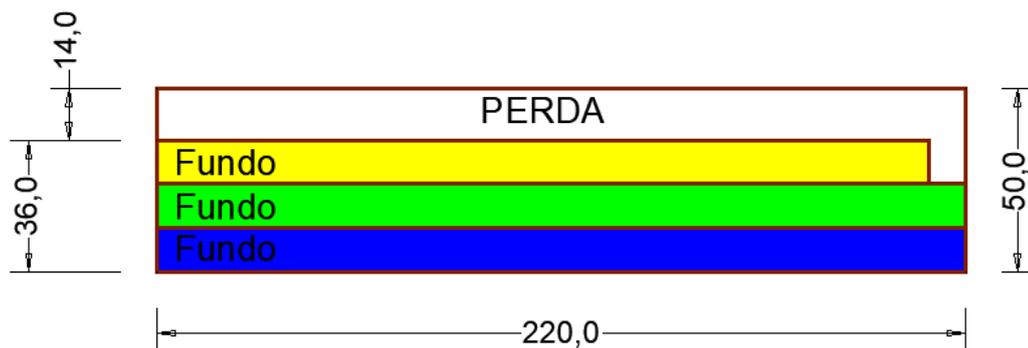


Figura 11: Representação de corte da cofragem do fundo da viga.

A sobra de madeira neste modelo de produção, seria, além da peça detalhada acima, mais 5 peças de $0,50 \times 2,20$, gerando uma perda total de mais de 40% que equivale a aproximadamente $5,81 \text{ m}^2$ (mais de duas folhas inteiras).

6.2 IDENTIFICAÇÃO DAS PEÇAS PARA CORTE

Propõe-se detalhar e referenciar cada peça utilizada na cofragem, seguindo uma lógica, para se tornar mais fácil a identificação de cada elemento durante o corte e posteriormente na fase de montagem, direcionando o trabalho do carpinteiro.

Inicialmente desenvolve-se um sistema de código que permita identificar e referenciar cada elemento que vai ser cortado, identificando a obra, o elemento e sua posição na cofragem.

A cofragem de cada viga da estrutura deverá ser analisada em cada vão, levando-se em conta a altura de cada painel, considerando a sua ligação com a laje e a sua posição na estrutura. Dividiremos aqui a cofragem da viga em três painéis distintos, lateral esquerda, fundo e lateral direita. Lembramos que nossa viga em estudo foi considerada isolada de outros elementos estruturais e tem apenas um vão. Tomando como base as dimensões da figura 8 e ??, e considerando que nossa cofragem em análise foi dividida nos três painéis, teremos:

- Lateral Esquerda e Lateral Direita – A cofragem lateral esquerda tem o mesmo comprimento do vão entre os pilares P1 e P2, e a sua altura vamos considerar a mesma altura da viga. Os acréscimos devido ao modelo adotado da montagem da cofragem não foram aqui considerados. Estes podem ser parametrizados no software.
- Fundo - Tem o mesmo comprimento do vão entre os pilares P1 e P2, e a sua largura vamos considerar a mesma largura da viga, também sem considerar os acréscimos devido ao modelo adotado da montagem da cofragem. Estes também podem ser parametrizados no software de acordo com o modelo de execução a ser adotado.

Cada painel será composto pelos elementos com as dimensões indicadas na Figura 5.

Cofragem - viga V1

Lateral Esquerda - LE

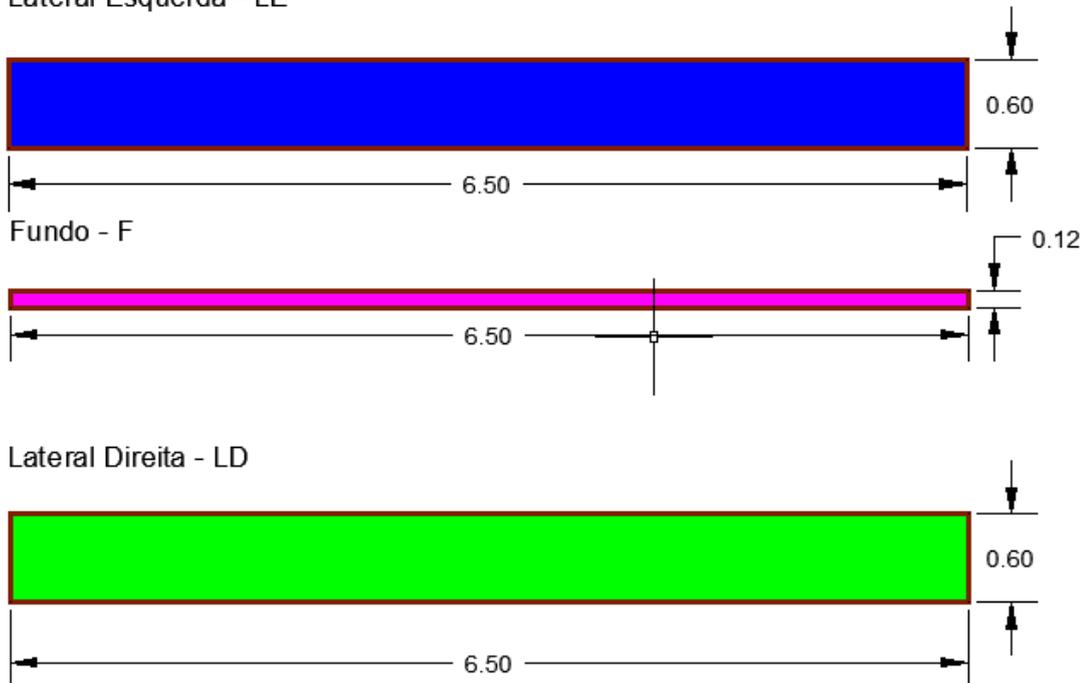


Figura 12: Divisão da cofragem para análise.

A metodologia aqui aplicada para formação dos códigos identificadores das peças componentes da cofragem, seguirão as seguintes regras:

1. Identifica-se inicialmente **a obra** (01) onde será aplicado o material. Isto permite que uma empresa efetue a produção (corte) das peças em um local diferente de onde será montado, podendo encaminhar os elementos de cofragem como um kit de montagem;
2. O **elemento** (Viga) também vem explicitado na referência, evitando que peças com dimensão semelhantes sejam aplicadas de forma indevida;
3. O **número de identificação** do elemento (01) que está identificado no projeto estrutural;
4. A **posição da peça** na cofragem, que pode ser lateral esquerda (LE) ou direita (LD), fundo (F), complemento (C), ou outra letra que facilite a sua identificação;
5. Por fim, o **número da peça** que deverá estar indicado no desenho da cofragem.

Desta maneira, cria-se uma sequência intercalada de números e letras que não se confundem e viabilizam uma identificação das peças de maneira quase intuitiva.

Aplicando a metodologia descrita acima para identificação das peças da cofragem, agora é possível identificar cada peça no desenho. A Figura 13 mostra as três faces da cofragem da viga em um desenho, mesmo que em 2D, com um maior nível de detalhamento, que permite identificar com maior precisão cada elemento constituinte da cofragem.

Veja o exemplo detalhado, mostrado na Tabela 3 e na figura 13.

Obra	Elemento	Ref	Posição	Peça
01	V	01	LE	3

Tabela 3: Resumo de formação de código.

Cofragem - viga V1

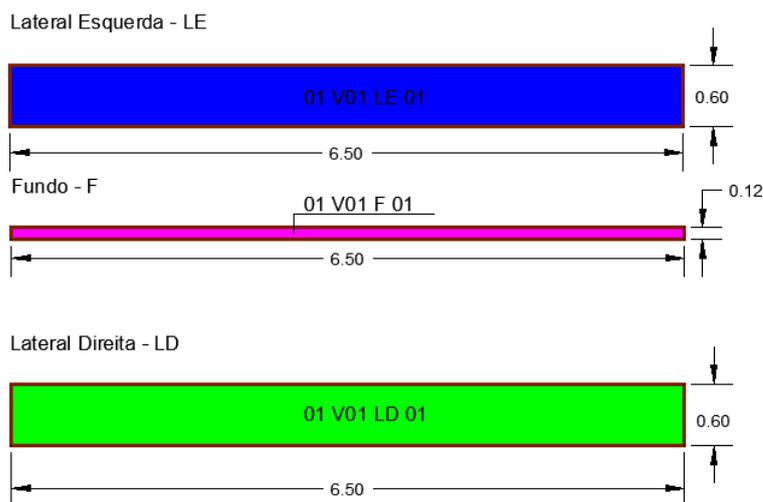


Figura 13: Detalhe dos painéis de cofragem com identificação.

6.3 EXEMPLO PRÁTICO

Para facilitar, o acompanhamento do processo, vamos numerar cada etapa:

1. Com este detalhamento é possível a elaboração da nossa tabela 4: REC - Relação dos Elementos de Cofragem. Para facilitar, não vamos ficar repetindo em cada elemento o número da obra, já que estamos tratando da mesma obra neste exemplo.

REC - Relação dos Elementos de Cofragem

Ordem	Viga	Posição	Ref.	Código	L1	L2	Área Efetiva	Dimensão compatível
1	1	LE	1	V01LE01	6.50	0.60	3.90	N
2	1	F	1	V01F01	6.50	0.12	0.78	N
3	1	LD	1	V01LD01	6.50	0.60	3.90	N

Tabela 4: Relação dos Elementos de Cofragem.

2. Dela podemos determinar nossa estimativa de consumo de material, na tabela 5 abaixo.

Área Total	8.58	m^2
Quantidade de contraplacado	3.55	folhas

Tabela 5: Cálculo da área efetiva de cofragem.

- A área útil de cofragem necessária para o fabrico da viga é de $8,58 m^2$, totalizando 3,55 chapas de contraplacado. Neste caso serão necessários no mínimo a aquisição de 4 chapas de contraplacado. Aqui podemos verificar uma grande discrepância do consumo real de contraplacado e o gasto promovido pelo carpinteiro descrito anteriormente, sem os projetos detalhados.
3. A próxima etapa é a identificação dos elementos de contraplacado antes de serem cortados. Algumas outras informações podem ser acrescentadas ou suprimidas na codificação das peças além destas aqui propostas, para que possam atender as necessidades específicas de cada obra ou fabricante, como por exemplo a dimensão dos elementos produzidos.
 4. Ajustando os elementos da Tabela 4 para as dimensões máxima de uma folha de contraplacado, teremos a tabela 6 a seguir.

TAN -Tabela de Adaptação de Necessidade

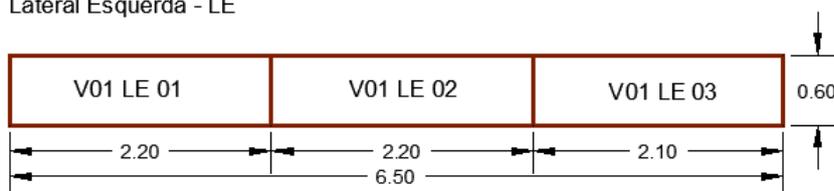
Ordem	Viga	Posição	Ref.	Código	L1	L2	Área Efetiva	Dimensão compatível
1	1	LE	1	V01LE01	2.20	0.60	1.32	
4	1	LE	2	V01LE02	2.20	0.60	1.32	
5	1	LE	3	V01LE03	2.10	0.60	1.26	
2	1	F	1	V01F01	2.20	0.12	0.26	
6	1	F	2	V01F02	2.20	0.12	0.26	
7	1	F	3	V01F03	2.10	0.12	0.25	
3	1	LD	1	V01LD01	2.20	0.60	1.32	
8	1	LD	2	V01LD02	2.20	0.60	1.32	
9	1	LD	3	V01LD03	2.10	0.60	1.26	

Tabela 6: Tabela de adaptação de necessidade.

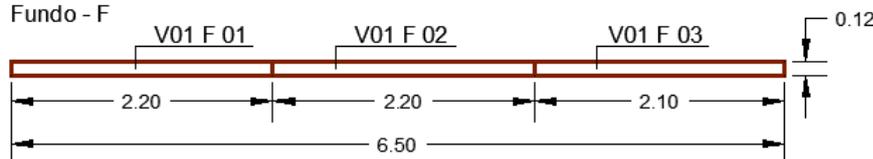
Observe que elemento de ordem 1 foi desmembrado em 3 elementos que resultam no mesmo tamanho original. O elemento de ordem 1 manteve a ordem e a referência, mas mudou o seu L1. E por consequência foram criados os elementos de ordem 4 e 5, nas linhas imediatamente abaixo, para facilitar o acompanhamento de formação da tabela. Este novo elemento recebeu um novo código com uma referência maior do que aquele que já tinha no painel inicial da cofragem. Tomando como exemplo o item 4 da tabela, temos o código V01LD01, sendo V01 (viga 01) LE (posição lateral direita) 01(referência), com as dimensões $2,20 \times 0,60$ m .

Cofragem - viga V1

Lateral Esquerda - LE



Fundo - F



Lateral Direita - LD

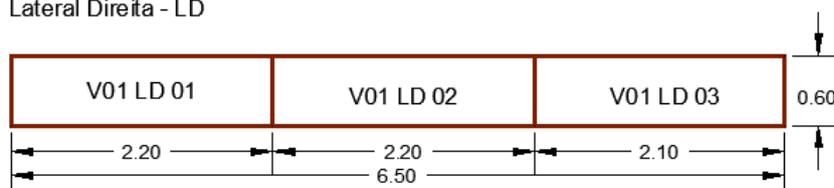


Figura 14: Cofragem detalhada com elementos identificados

5. Organizando a TSC -Tabela de Sequência de Corte partindo da Tabela 6, adotando os critérios de maior área, maior L1 e maior L2 respectivamente, teremos a tabela 7 a seguir.

TAN -Tabela de Adaptação de Necessidade

Ordem	Viga	Posição	Ref.	Código	L1	L2	Área Efetiva	Dimensão compatível
1	1	LE	1	V01LE01	2.20	0.60	1.32	
4	1	LE	2	V01LE02	2.20	0.60	1.32	
3	1	LD	1	V01LD01	2.20	0.60	1.32	
8	1	LD	2	V01LD02	2.20	0.60	1.32	
5	1	LE	3	V01LE03	2.10	0.60	1.26	
9	1	LD	3	V01LD03	2.10	0.60	1.26	
2	1	F	1	V01F01	2.20	0.12	0.26	
6	1	F	2	V01F02	2.20	0.12	0.26	
7	1	F	3	V01F03	2.10	0.12	0.25	

Tabela 7: Tabela de Adaptação de Necessidade.

6. Iniciaremos o processo de simulação de corte. Tomando uma folha de contraplacado e promovendo o primeiro plano de corte para produzir o elemento de ordem 1 (V01LE01) da TSC Figura 12. Ao promover o primeiro corte, a peça de ordem 1 (V01LE01) fica produzida sem a necessidade de corte para ajustar o seu L2.
7. Aplicaremos seu código identificador na peça produzida. Da mesma forma, aplicaremos outro código identificador na sobra do contraplacado. O código da peça de reaproveitamento é formado pelo número de ordem da folha de contraplacado que deu origem ao elemento, seguido da letra R (reaproveitamento) e o número de sequência da ordem de cortes que o contraplacado sofreu até chegar nesta dimensão.
8. Da primeira folha sobrou um elemento de 2,20 x 0,50 m . Percorremos novamente a TSC - Tabela de Sequência de Corte, procurando elementos que possam ser produzidos com esta peça de reaproveitamento no seu tamanho integral. Caso não tenhamos nenhum elemento com estas mesmas dimensões, esta peça irá pra uma nova tabela chamada de TSR – Tabela de Sobras para Reaproveitamento.
9. Criaremos agora a tabela 8: TSR – Tabela de Sobras para Reaproveitamento com o elemento que sobrou da peça recém utilizada de contraplacado com suas dimensões atuais.

TSR - Tabela de Sobras para Reaproveitamento

Ordem	Folha origem	Ref.	Nº do corte	Código	L1	L2	Área Efetiva	Controle
1	1	R	1	01R01	2.20	0.50	1.10	
2								
3								

Tabela 8: Tabela de Sobras para Reaproveitamento.

O código da peça é formado pelo número da folha de origem do elemento, seguido da letra R (reaproveitamento) e do número da quantidade de cortes que a peça já sofreu até chegar na atual dimensão.

Esta operação se repete até atingir a quantidade inteira do número de contraplacados previsto na Tabela 5. Assim, depois de promover o corte na terceira folha de contraplacado, teremos as tabelas 9 e 10 a seguir.

TSC - Tabela de Sequência de Corte

Ordem	Viga	Posição	Ref.	Código	L1	L2	Área Efetiva	Produzida	Origem
1	1	LE	1	V01LE01	2.20	0.60	1.32	T	1
4	1	LE	2	V01LE02	2.20	0.60	1.32	T	2
3	1	LD	1	V01LD01	2.20	0.60	1.32	T	3
8	1	LD	2	V01LD02	2.20	0.60	1.32		
5	1	LE	3	V01LE03	2.10	0.60	1.26		
9	1	LD	3	V01LD03	2.10	0.60	1.26		
2	1	F	1	V01F01	2.20	0.12	0.26		
6	1	F	2	V01F02	2.20	0.12	0.26		
7	1	F	3	V01F03	2.10	0.12	0.25		

Tabela 9: TSC depois da sexta folha de contraplacado

Na tabela acima, a coluna “Produzida”, é usada para acompanhar a condição de fabrico da peça. A letra T, representa que a peça foi produzida em sua totalidade. A letra S, diz que a peça teve alguma de suas dimensões alteradas, ou foi produzida parcialmente e substituída por um novo elemento de dimensões complementar na tabela. A coluna “Origem”, aponta de qual peça do contraplacado o elemento foi produzido.

TSR - Tabela de Sobras para Reaproveitamento

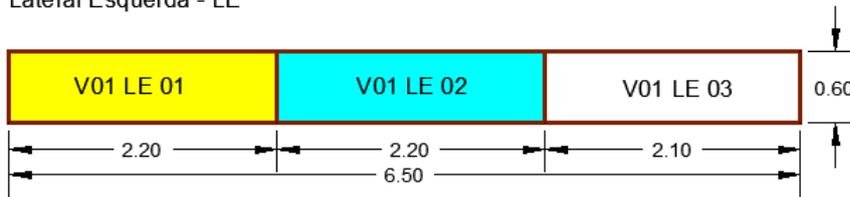
Ordem	Folha origem	Ref.	Nº do corte	Código	L1	L2	Área Efetiva	Controle
1	1	R	1	01R01	2.20	0.50	1.10	
2	2	R	1	02R01	2.20	0.50	1.10	
3	3	R	1	03R01	2.20	0.50	1.10	

Tabela 10: Tabela de Sobras para Reaproveitamento depois do 3º contraplacado.

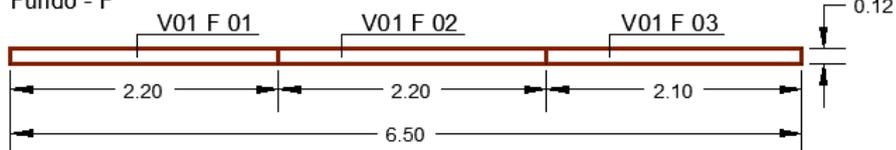
Depois de promover os cortes nas tres primeiras folhas de contraplacados, teremos o detalhamento da figura 15 e 16 a seguir.

Cofragem - viga V1

Lateral Esquerda - LE



Fundo - F



Lateral Direita - LD

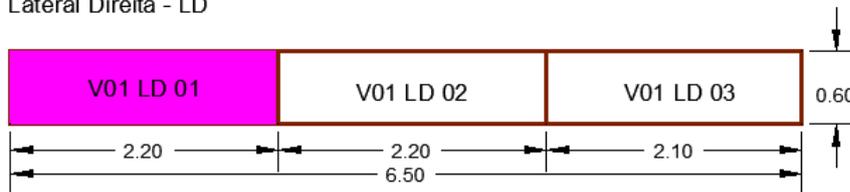


Figura 15: Detalhamento da viga V1 depois do uso dos três contraplacados.

Plano de corte



Figura 16: Diagramação do plano de corte após o uso do terceiro contraplacado.

- Para seguir o processo, precisamos ordenar os elementos da Tabela 9 e da Tabela 10, seguindo os mesmos critérios aplicado para o realinhamento da Tabela 7, adotando maior área, maior L1 e maior

L2 respectivamente. Neste caso, coincidentemente tanto a TSC como a TSR permanecerão da mesma forma, já que todos os elementos já estão devidamente organizados.

TSC - Tabela de Sequência de Corte

Ordem	Viga	Posição	Ref.	Código	L1	L2	Área Efetiva	Produzida	Origem
1	1	LE	1	V01LE01	2.20	0.60	1.32	T	1
4	1	LE	2	V01LE02	2.20	0.60	1.32	T	2
3	1	LD	1	V01LD01	2.20	0.60	1.32	T	3
8	1	LD	2	V01LD02	2.20	0.60	1.32		
5	1	LE	3	V01LE03	2.10	0.60	1.26		
9	1	LD	3	V01LD03	2.10	0.60	1.26		
2	1	F	1	V01F01	2.20	0.12	0.26		
6	1	F	2	V01F02	2.20	0.12	0.26		
7	1	F	3	V01F03	2.10	0.12	0.25		

Tabela 11: TSC com os elementos ordenados.

TSR - Tabela de Sobras para Reaproveitamento

Ordem	Folha origem	Ref.	Nº do corte	Código	L1	L2	Área Efetiva	Controle
1	1	R	1	01R01	2.20	0.50	1.10	
2	2	R	1	02R01	2.20	0.50	1.10	
3	3	R	1	03R01	2.20	0.50	1.10	

Tabela 12: TSR com os elementos ordenados.

- Trataremos agora do reaproveitamento das peças que sobraram depois do primeiro corte, aqui chamado de “Aproveitamento de primeira ordem”.

A dimensão mínima das peças para reaproveitamento nesta etapa é definida por cada projetista atendendo a realidade de cada projeto. Vale ressaltar que quanto maior for esta dimensão, maior também será o índice de perda. Este valor deve ser parametrizado no software. Neste exemplo adotamos que elementos com lado menor de 10 cm não serão reaproveitados no aproveitamento de primeira ordem.

Com isto, neste exemplo, todos os elementos podem ser aproveitamento de primeira ordem Alguns elementos da TSR, podem ter dimensão muito próximas às da TSC, precisando de pequenos complementos. Podemos aqui (também parametrizável no software) definir outros valores de tamanhos mínimos para aceitação de peças para complemento. Este procedimento só seria aplicável depois finalizar o processo de “aproveitamento de primeira ordem”.

Estas peças de complemento precisam ser de tamanho que permitam bom manuseio no processo de fabrico da cofragem. Definimos que só será permitido a cada elemento da TSR receber complemento em uma das suas dimensões, para evitar que se perca muito tempo com aproveitamento um elemento

de pequenas dimensões. O que se economizaria com o custo do elemento, talvez não compense com o custo da mão de obra. Neste exemplo adotaremos para peças de complemento os valores mínimos de L1 sendo 1,10 m ou o tamanho idêntico ao do elemento a ser produzido, e L2 de 0,05 m .

12. Da TSC Tabela 11, vemos que ainda falta produzir os elementos de ordem 8 em diante. Como o objetivo é aproveitar ao máximo os elementos da TSR, começaremos o processo agora tomando os menores elementos (área), com as menores dimensões desta TSR Tabela 12, buscando o maior elemento da TSC Tabela 11 que possa ser produzido com o elemento da TSR. Continuaremos a repetir o processo de simulação de corte, agora seguindo esta nova sequência, procurando produzir todos os elementos que ainda não foram produzidos da Tabela 11.

Caso tenha sobra de contraplacado depois de produzido o elemento da TSC, deveria surgir na TSR um novo elemento como o descrito na etapa 9 com dimensões deste elemento de sobra. Quando o elemento da sobra do contraplacado não atende as dimensões mínimas para reaproveitamento e/ou complemento, ele passa a ser descartado como perda e não entra na tabela TSR.

Depois de iniciado o processo de corte de um elemento da TSR, este deverá ser reutilizado até que suas dimensões atinjam valores inadequado ao reaproveitamento, ou a busca chegue ao fim da TSC. Depois de cada corte efetuado, quando surgir um novo elemento, a TSR precisa ser reorganizada para seguir o procedimento.

TSC - Tabela de Sequência de Corte

Ordem	Viga	Posição	Ref.	Código	L1	L2	Área Efetiva	Produzida	Origem
1	1	LE	1	V01LE01	2.20	0.60	1.32	T	1
4	1	LE	2	V01LE02	2.20	0.60	1.32	T	2
3	1	LD	1	V01LD01	2.20	0.60	1.32	T	3
8	1	LD	2	V01LD02	2.20	0.60	1.32	S	03R01
5	1	LE	3	V01LE03	2.10	0.60	1.26	S	02R01
9	1	LD	3	V01LD03	2.10	0.60	1.26	S	01R01
2	1	F	1	V01F01	2.20	0.12	0.26		
6	1	F	2	V01F02	2.20	0.12	0.26		
7	1	F	3	V01F03	2.10	0.12	0.25		
10	1	LD	4	V01LD04	2.20	0.10	0.22		
11	1	LE	4	V01LE04	2.10	0.10	0.21		
12	1	LD	5	V01LD05	2.10	0.10	0.21		

Tabela 13: TSC depois do aproveitamento de primeira ordem.

Os elementos com dimensões inferiores as mínimas para reaproveitamento e complemento, passam a ser considerados e descartados como perda, e nem entra na tabela. Assim a nova TSR está apresentada na tabela 14 a seguir.

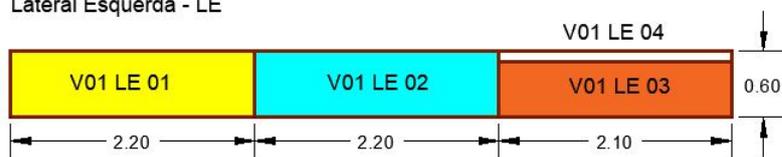
TSR - Tabela de Sobras para Reaproveitamento

Ordem	Folha origem	Ref.	Nº do corte	Código	L1	L2	Área Efetiva	Controle
1	1	R	1	01R01	2.20	0.50	1.10	S
2	2	R	1	02R01	2.20	0.50	1.10	S
3	3	R	1	03R01	2.20	0.50	1.10	S
4	2	R	2	02R02	0.50	0.10	0.05	
5	1	R	2	01R02	0.50	0.10	0.05	

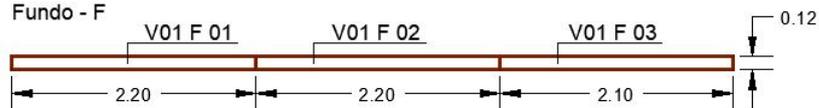
Tabela 14: TSR depois do aproveitamento de primeira ordem.

Cofragem - viga V1

Lateral Esquerda - LE



Fundo - F



Lateral Direita - LD

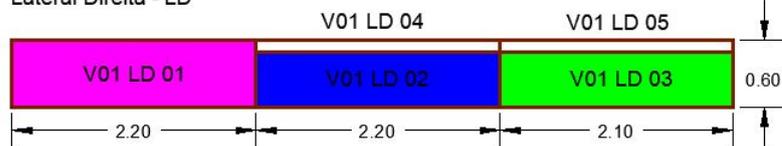


Figura 17: Detalhamento da viga V1 depois do aproveitamento de primeira ordem.

Plano de corte

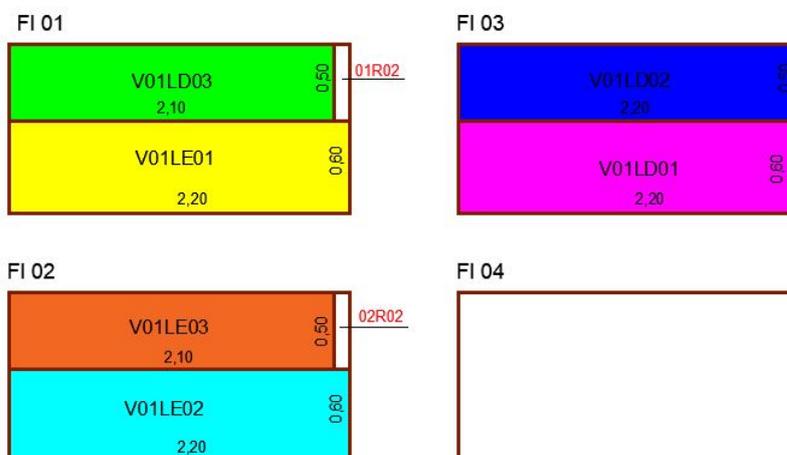


Figura 18: Diagramação do plano de corte depois do aproveitamento de primeira ordem.

13. Quando mais nenhum elemento da TSR tiver tamanho compatível com os elementos das TSC, retomaremos o processo de adaptação de necessidade. Fraciona-se o maior elemento da TSC de modo a atingir o tamanho máximo da TSR, de modo que o elemento complementar que vai ser gerado pelo fracionamento não tenha sua dimensão inferior ao mínimo adotado (10 cm) ou menor que a metade da dimensão do elemento da TSC.

Repete-se esta operação utilizando cada elemento da TSR para produzir os elementos da TSC que ainda não foram produzidos, até que os elementos da TSR tenham acabado ou atingido dimensões com valores considerados inadequados ao uso.

Nosso primeiro elemento disponível para reaproveitamento na TSR da Tabela 14 é o elemento de ordem 5 - 02R02 (0,50 × 0,10 m). O primeiro elemento disponível para produção na TSC Tabela 13 é o elemento de ordem 2 - V01F01 (2,20 × 0,12). Veja que o L1 e o L2 da TSC são menores do que o L1 e L2 da TSR. Se for fracionar o elemento da TSC para seguir a dimensão da TSR, teríamos que produzir uma peça com dimensão menor que o limite adotado (2,20 × 0,02). Assim, em nosso caso, não devemos executar este procedimento.

14. Por fim, depois de executadas todas as operações descritas anteriormente, tomaremos a última folha de contraplacado para produzir os elementos que faltam na nossa última TSC. Neste caso estamos falando da Tabela 13 e os elementos são os de ordem 2, 6, 7, 10, 11 e 12 que faltam ser produzidos para concluir o processo de simulação de corte.

Temos na tabela 15 a seguir os resultados finais.

Os elementos com dimensões inferiores às mínimas para reaproveitamento e complemento, passam a ser considerados e descartados como perda, e nem entra na tabela. Assim a nova TSR está na tabela 16 a seguir.

TSC - Tabela de Sequência de Corte

Ordem	Viga	Posição	Ref.	Código	L1	L2	Área Efetiva	Produzida	Origem
1	1	LE	1	V01LE01	2.20	0.60	1.32	T	1
4	1	LE	2	V01LE02	2.20	0.60	1.32	T	2
3	1	LD	1	V01LD01	2.20	0.60	1.32	T	3
8	1	LD	2	V01LD02	2.20	0.60	1.32	S	03R01
5	1	LE	3	V01LE03	2.10	0.60	1.26	S	02R01
9	1	LD	3	V01LD03	2.10	0.60	1.26	S	01R01
2	1	F	1	V01F01	2.20	0.12	0.26	T	4
6	1	F	2	V01F02	2.20	0.12	0.26	T	04R01
7	1	F	3	V01F03	2.10	0.12	0.25	T	04R02
10	1	LD	4	V01LD04	2.20	0.10	0.22	T	04R03
11	1	LE	4	V01LE04	2.10	0.10	0.21	T	04R05
12	1	LD	5	V01LD05	2.10	0.10	0.21	T	04R07

Tabela 15: TSC final.

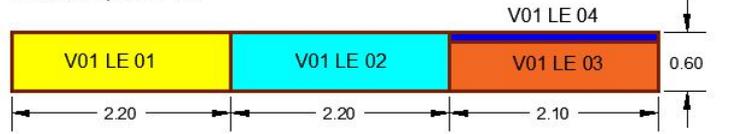
TSR - Tabela de Sobras para Reaproveitamento

Ordem	Folha origem	Ref.	Nº do corte	Código	L1	L2	Área Efetiva	Controle
6	4	R	1	04R01	2.20	0.98	2.16	S
7	4	R	2	04R02	2.20	0.86	1.89	S
8	4	R	3	04R03	2.20	0.74	1.63	S
10	4	R	5	04R05	2.20	0.64	1.41	S
12	4	R	7	04R07	2.20	0.54	1.19	S
1	1	R	1	01R01	2.20	0.50	1.10	S
2	2	R	1	02R01	2.20	0.50	1.10	S
3	3	R	1	03R01	2.20	0.50	1.10	S
13	4	R	8	04R08	2.20	0.44	0.97	
4	2	R	2	02R02	0.50	0.10	0.05	
5	1	R	2	01R02	0.50	0.10	0.05	
9	4	R	4	04R04	0.12	0.12	0.01	
11	4	R	6	04R06	0.10	0.10	0.01	
14	4	R	9	04R09	0.10	0.10	0.01	

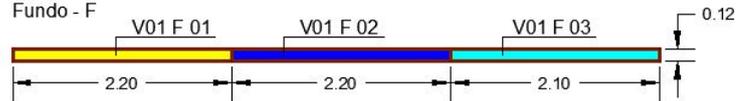
Tabela 16: TSR final.

Cofragem - viga V1

Lateral Esquerda - LE



Fundo - F



Lateral Direita - LD

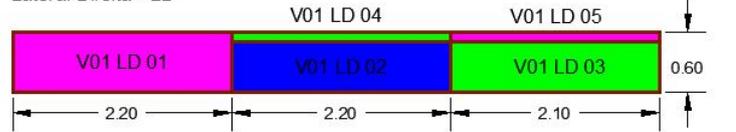


Figura 19: Detalhamento final da viga V1.

Plano de corte

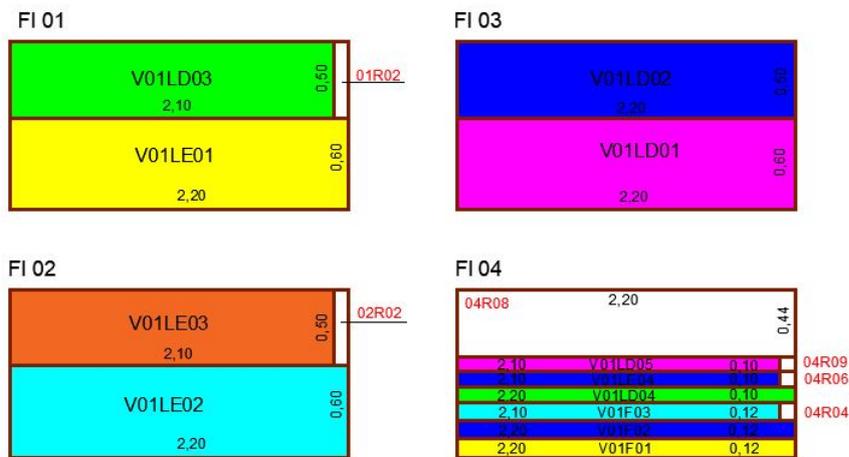


Figura 20: Diagramação e plano de corte final.

Consideramos a sobra do sétimo contraplacado 04R08 como sendo a sobra efetiva total de contraplacado, já que os outros elementos não têm dimensões significativas para ser reaproveitado. Os elementos de ordem 13, 4, 5, 9, 11 e 14 da TSR foram considerados como sendo perda.

Com a metodologia descrita acima, utilizamos 3,6 contraplacados para a produção total das cofragens. Desta forma, tivemos uma variação de 1,4% a mais do que da área efetiva mínima calculada. Esta proposta além viabilizar uma melhor gestão no processo de produção da cofragem, aumenta a eficiência do uso da madeira através da diminuição do desperdício no processo de corte para a fabricação da cofragem, permitindo ainda fornecer ao carpinteiro um plano de corte de cada chapa de madeira, de forma detalhada como segue nas Figura

19 e Figura 20 onde, mesmo que sejam cortadas fora da sequência de fabricação, será possível identificar a posição de cada peça com facilidade.

Além do lado ecológico, o econômico também deve ser levado em conta. Observar que o custo que será gerado em material como a produção de peças auxiliares de madeira (costela), prego e da mão de obra para aproveitar um pequeno pedaço de emplacado, pode não justificar o seu aproveitamento. Esta análise de custos deve ser facilitada pelo software, de modo que sua simulação seja feita de forma rápida, fácil e precisa, informando o índice de perda e a quantidade de material utilizado de acordo com a parametrização.

6.4 PROCESSO PROPOSTO

Para facilitar, o acompanhamento do processo, vamos numerar cada etapa.

1. Identifica-se cada vão da(s) viga(s) dividindo a cofragem em elementos finitos mensurando e codificando cada um deles. Dividiremos a cofragem da viga em três painéis distintos, lateral esquerda, fundo e lateral direita.
 - Laterais Esquerda e Direita – A cofragens laterais tem o mesmo comprimento do vão da viga, limitado pelos elementos estruturais com que as vigas se ligam, ou de acordo com a variação de sua altura. Enquanto que a altura da cofragem se obtém em cada vão, observando o espaço livre entre o fundo de viga percorrendo seu desenvolvimento ou sendo seccionado por alguma laje. Os acréscimos devido ao modelo adotado da montagem da cofragem podem ser determinados pelo projetista e acrescido destes valores. Estes podem ser parametrizados no software.
 - Fundo - Tem o mesmo comprimento do vão entre os pilares, e a sua largura será a mesma largura da viga, acrescidos ou não de valores preestabelecidos devido ao modelo montagem da cofragem adotado. Estes também podem ser parametrizados no software de acordo com o modelo de execução a ser adotado.

A cofragem de cada viga da estrutura deverá ser analisada em cada vão, levando-se em conta a altura de cada painel, considerando a sua ligação com a laje e a sua posição na estrutura.

2. A partir desta codificação elabora-se a tabela REC - Relação dos Elementos de Cofragem.
3. Com os dados da tabela REC, calcula-se o consumo mínimo de contraplacado necessário para produzir as cofragens.
4. A próxima etapa é a identificação provisória dos elementos de contraplacado antes de ser cortado. Este processo pode ser sofisticado, utilizando dispositivos eletrônicos (RFID), ou com o uso de etiquetas de papel ou plástico com código de barras, ou ainda optar por uma das maneiras mais simples e de custo mais baixo utilizando giz de cera ou similar, escrevendo por exemplo, a seguinte referência: **01V01LE3**.

Algumas outras informações podem ser acrescentadas ou suprimidas na codificação das peças além destas aqui propostas, para que possam atender as necessidades específicas de cada obra ou fabricante, como por exemplo a dimensão das peças.

5. Ajusta-se os elementos da REC, para que as dimensões (L1 e L2) não sejam maior que o tamanho da folha de contraplacado que vai ser usada no plano de corte, que dará origem a uma nova tabela chamada TAN – Tabela de Ajuste de Necessidade. Cada elemento desta tabela não pode ter o L1 maior do que o L1 do contraplacado. Da mesma forma que L2 do elemento também não pode ser maior que o L2 do contraplacado. Nesta tabela será verificado se todos os elementos têm dimensão inferior ao tamanho do contraplacado.
 - Quando um elemento possuir o L1 ou o L2 maior que o L1 e o L2 do contraplacado respectivamente, este deverá ser dividido, gerando um novo elemento que terá o L1 e o L2 do mesmo tamanho do contraplacado e outro elemento com as dimensões complementares do elemento inicial.

O elemento de ordem n que for dividido, além de seu código atual com suas dimensões ajustadas ao tamanho do contraplacado, criará um novo código de ordem n+1 com as dimensões complementares do elemento de origem.

Caso a ordem n+1 já exista antes desta divisão, o elemento de ordem n adotado será o de maior valor da posição da cofragem. Ex: A lateral esquerda da viga 02 possui 5 elementos.

O elemento de ordem 3 da lateral esquerda precisa ser dividido, assim para esta divisão, o nosso n atual é 5. O elemento da obra 01 da lateral esquerda da viga 02, de ordem 03 01V02LE03, criará o elemento de ordem 06 da lateral esquerda da viga 02, 01V02LE06.

Esta operação se repete até que todos os elementos da tabela tenham dimensões menores ou igual aos do contraplacado a ser usado no processo de corte.

Com esta metodologia evita-se que uma peça perca sua referência de posição e ordem de criação ao longo do processo causando conflito de informações.

6. A partir da TAN, cria-se a TSC – Tabela de Sequência de Corte com o objetivo de facilitar o controle da produção dos elementos.
7. Organiza-se os elementos da TSC -Tabela de Sequência de Corte, adotando os critérios de maior área, maior L1 e maior L2 respectivamente.
8. Inicia-se o processo de simulação de corte. Tomando uma folha de contraplacado e promovendo o primeiro plano de corte para produzir o elemento de ordem 1 da TSC. Geralmente será o V01LE01. Ao promover o primeiro corte, a peça de ordem 1 (V01LE01) fica parcialmente produzida, podendo ter a necessidade de ser necessário mais um corte para ajustar o seu L2.
9. Aplica-se o código identificador (definitivo) na peça produzida.

10. Da mesma forma, aplica-se outro código identificador temporário na sobra do contraplacado. O código desta peça destinada ao reaproveitamento é formado pelo número de ordem da folha de contraplacado que deu origem ao elemento, seguido da letra R (reaproveitamento) e o número da quantidade de cortes que o contraplacado sofreu até chegar na sua atual dimensão.
11. De posse do elemento que sobrou após o primeiro corte, percorre-se novamente a TSC - Tabela de Sequência de Corte, procurando elementos que possam ser produzidos com esta peça de reaproveitamento no seu tamanho integral. Caso não tenhamos nenhum elemento com estas mesmas dimensões, esta peça irá pra uma nova tabela chamada de TSR – Tabela de Sobras para Reaproveitamento.
12. Cria-se agora a TSR – Tabela de Sobras para Reaproveitamento, com o elemento que sobrou da peça recém utilizada de contraplacado nas suas mesmas dimensões atuais.

O código da peça é formado pelo número da folha de origem do elemento, seguido da letra R (reaproveitamento) e do número da quantidade de cortes que o contraplacado já sofreu até chegar no elemento atual.

Esta operação se repete até atingir a quantidade inteira do número de contraplacados previsto na etapa 3. Assim, depois de promover o corte nas folhas de contraplacado, identifica-se na TSC os dados de acompanhamento da produção.

Nesta tabela, a coluna “Produzida”, é usada para acompanhar a condição de fabrico da peça. A letra T, representa que a peça foi produzida em sua totalidade. A letra S, diz que a peça teve alguma de suas dimensões alteradas, foi produzida parcialmente e criado um novo elemento de dimensões complementar a ser produzido. A coluna “Origem”, aponta de qual elemento do contraplacado o elemento da TSC foi produzido.
13. Para seguir o processo, precisamos ordenar os elementos da TSC e da TSR, seguindo os mesmos critérios aplicado para o realinhamento da etapa 6, adotando maior área, maior L1 e maior L2 respectivamente.
14. Inicia-se agora o processo de reaproveitamento das peças que sobraram depois do primeiro corte, contidas na TSR, aqui chamado de “Aproveitamento de primeira ordem”.
 - Determina-se para o projeto a dimensão mínima das peças para reaproveitamento. Elementos com dimensão abaixo deste valor não serão reaproveitados nesta etapa de aproveitamento de primeira ordem;
 - Determina-se também as dimensões mínimas para peças de complemento. Estas peças são dedicadas para completar alguns elementos da TSR, que tenham dimensão muito próximas às da TSC, precisando apenas de pequenos complementos. Este procedimento de complemento só será aplicável depois finalizar o processo de “aproveitamento de primeira ordem”. Estas peças de complemento precisam ser de tamanho que permitam boa trabalhabilidade no processo de fabrico da cofragem.

- Quando os complementos forem de tamanho inferior aos determinados anteriormente, adotaremos ao complemento as dimensões mínimas pré-determinadas, e o elemento que precisava de complemento terá suas dimensões subtraídas desta. Por exemplo: a peça V02LD08 tem dimensão $1,80 \times 0,52$ e estamos tentando usar a 03R05 $1,80 \times 0,50$. Neste caso vamos precisar de um complemento de $1,80 \times 0,02$. Considerando que o valor para peças mínimas de complemento foi de 0,05 então, adota-se o valor do elemento de complemento como sendo de $1,80 \times 0,05$ e o elemento original passa a ter o valor de $1,80 \times 0,47$.

15. Como o objetivo é aproveitar ao máximo os elementos da TSR, inicia-se o processo tomando os menores elementos (área), com as menores dimensões, buscando o maior elemento da TSC que possa ser produzido com este. Continuaremos a repetir o processo de simulação de corte, agora seguindo esta nova sequência, procurando produzir todos os elementos que ainda não foram produzidos da TSC.

- Caso o elemento tomado da TSR não tenha dimensão suficiente para produzir o primeiro elemento (maior) da sequência da TSC, buscaremos o próximo elemento (imediatamente menor) da TSC, até que este tenha suas dimensões compatíveis.
- O processo de reaproveitamento dos elementos de sobra, começa sempre tomando o último elemento possível da TSR para tentar produzir o maior elemento da TSC, o primeiro elemento que falta ser produzido, comparando a compatibilidade de suas dimensões.
- Caso tenha sobra deste elemento da TSR depois de produzido o elemento da TSC, deveria surgir na TSR um novo elemento como o descrito na etapa 9 com dimensões deste elemento de sobra. Quando este elemento da sobra não atende as dimensões mínimas para reaproveitamento e/ou complemento, ele passa a ser descartado como perda e não entra na tabela TSR.

Depois de iniciado o processo de corte de um elemento da TSR, este deverá ser reutilizado até que suas dimensões atinjam valores inadequado ao reaproveitamento, ou a busca chegue ao fim da TSC. Depois de cada corte efetuado, quando surgir um novo elemento, a TSR precisa ser reorganizada para seguir este procedimento; Os elementos com dimensões inferiores as mínimas para reaproveitamento e complemento, passam a ser considerados e descartados como perda, e nem entra na tabela.

16. Quando mais nenhum elemento da TSR tiver tamanho compatível com os elementos das TSC, retomaremos o processo de adaptação de necessidade. Fraciona-se o maior elemento da TSC de modo a atingir o tamanho máximo da TSR, de modo que o elemento complementar que vai ser gerado pelo fracionamento não tenha sua dimensão inferior ao mínimo adotado ou menor que a metade da dimensão do elemento da TSC.

Repete-se esta operação utilizando cada elemento da TSR para produzir os elementos da TSC que ainda não foram produzidos, até que os elementos da TSR tenham acabado ou atingido dimensões com valores considerados inadequados ao uso

17. Por fim, depois de executadas todas as operações descritas anteriormente, tomaremos a última folha de contraplacado para produzir os elementos que faltam na última TSC.

ESTUDO DE CASO

Após a explanação do processo proposto, tomaremos por exemplo o seguinte caso: construção de um galpão comercial que está sob processo de reforma para acrescentar a nova estrutura em betão e mais um pavimento, conforme figura 21 a seguir.



Figura 21: Renderização do Galpão no Revit Architecture 2018.

Na planta apresentada na figura 22 a seguir, observa-se três áreas: a recepção, depósito e expedição. Percebe-se que o vão da área de depósito é significativamente maior e portanto a estrutura de betão precisa de reforço. Daí as diferenças de dimensionamento e tipo de lajes.

Será detalhado nas seções a seguir um estudo de como aplicar o processo proposto no detalhamento das cofragens das vigas. Ao final, será possível perceber diferenças de área de contraplacado efetivo e utilizado. Além disso, a forma sistemática em que o processo é aplicado, permite que softwares adotem o processo de maneira automática, facilitando ainda mais o processo de otimização do corte, da produção e do fabrico das cofragens.

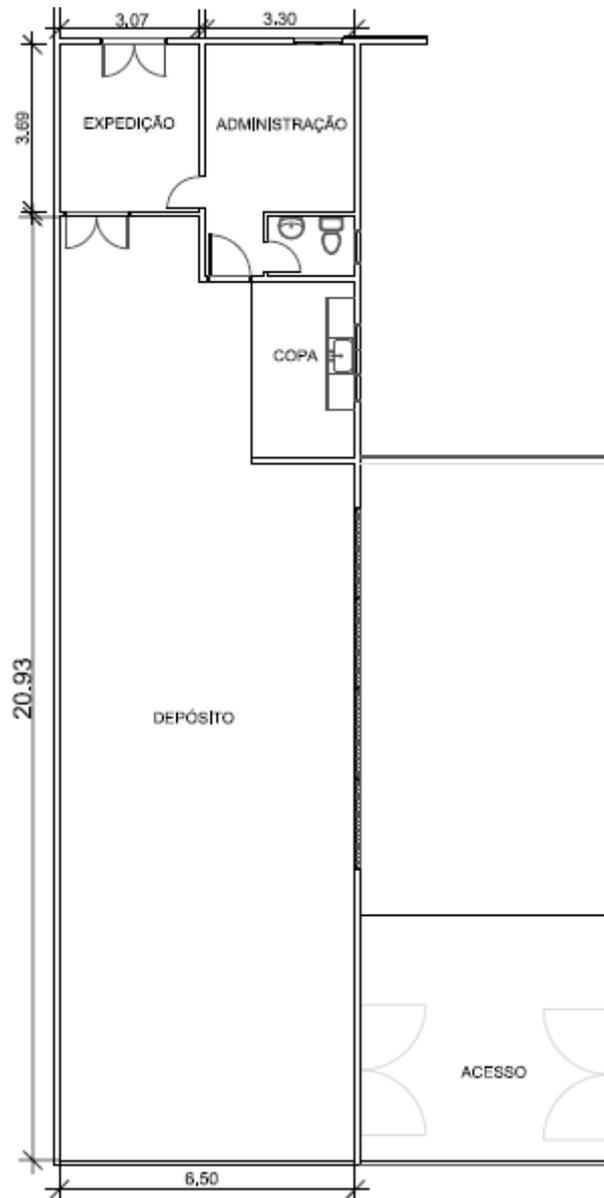


Figura 22: Planta Baixa do Galpão em análise

7.1 DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

O software escolhido para realizar o dimensionamento da estrutura foi o Eberick 2019, representado na figura 23, uma vez que o mesmo é largamente utilizado no Brasil e atende à todas as normas vigentes. Adotou-se para a estrutura uma solução em betão armado.

Depois de lançada a estrutura, os softwares de dimensionamento de betão seguem basicamente a mesma filosofia, independente do desenvolvedor. No Eberick, a estrutura foi lançada atendendo as peculiaridades do projeto arquitetônico.

Usuário:
FÁBIO SILVEIRA M DE OLIVEIRA

Empresa:
PARTICULAR

Código:
92283-3

Direitos reservados © 1996-2019
S3ENG Tecnologia Aplicada à Engenharia LTDA

Eberick
NEXT 2019

Atualização:
2019-05 [v. 12.283]

Aplicação:
Plena

■ Módulos ativos
■ Módulos inativos

Lajes

- Lajes Planas
- Editor das grelhas
- Lajes nervuradas
- Região maciça em lajes
- Plastificação das Lajes
- Lajes treliçadas 1D e 2D
- Lajes com vigotas protendidas

Paredes e reservatórios

- Paredes de contenção
- Reservatórios elevados
- Reservatórios enterrados

Vigas

- Vigas curvas
- Aberturas em vigas e lajes
- Vigas com mesa colaborante
- Viga com variação de seção no vão

Fundações

- Radier
- Tubulões
- Estacas metálicas
- Fundações associadas
- Blocos com mais de 6 estacas
- Planta de locação das estacas
- Lançamento de estacas isoladas
- Vinculos elásticos para fundações
- Sapata corrida em apoio elástico

Pilares

- Pilares com seção composta
- Pilares esbeltos e pilar parede

Elementos inclinados

- Rampas
- Escadas especiais
- Vigas e Pilares inclinados

Muros

- Muros de concreto
- Muros de gravidade

Elementos gerais

- Pré-moldados
- Pré-moldados 30
- Memorial de cálculo
- Integração com ADAPT
- Concreto de alto desempenho
- Biblioteca de detalhes típicos
- Editor Simplificado de Armaduras
- Verificação em situação de incêndio
- Dimensionamento de alvenaria estrutural
- Efeito dinâmico devido ao vento
- Exportador para o SAP2000

Contato: Endereços On-line: <https://www.altoqi.com.br> <https://suporte.altoqi.com.br>

Email: comercial@altoqi.com.br

Fones: 48 3027-9000 11 2666-4920

Créditos

Fechar

Figura 23: Informações gerais do software utilizado

Devido ao tipo de edificação e a solicitação da estrutura, considerando a utilização de cada ambiente, foram implantados 12 pilares, iniciando sua identificação do P1 até o P12, que nascem nas fundações e se projetam até o pavimento da cobertura, com exceção do pilar P3 que morre no primeiro pavimento. As vigas da V1 até a V8 foram pré lançadas todas com 12 cm de base e 60 cm de altura. Foi adotado lajes maciças na L1, L3, L4 e L5, ficando a L2 como laje pré-fabricada.

Na tela de lançamentos da estrutura no software, podemos visualizar ainda no interior das vigas uma linha vermelha mostrando a orientação das vigas, definindo seu desenvolvimento e posicionando os vãos, evitando o erro de interpretação no detalhamento das mesmas. Além disto, posicionamos livremente, de forma estratégica para nosso estudo, os cortes A-A e B-B como mostra figura 24.

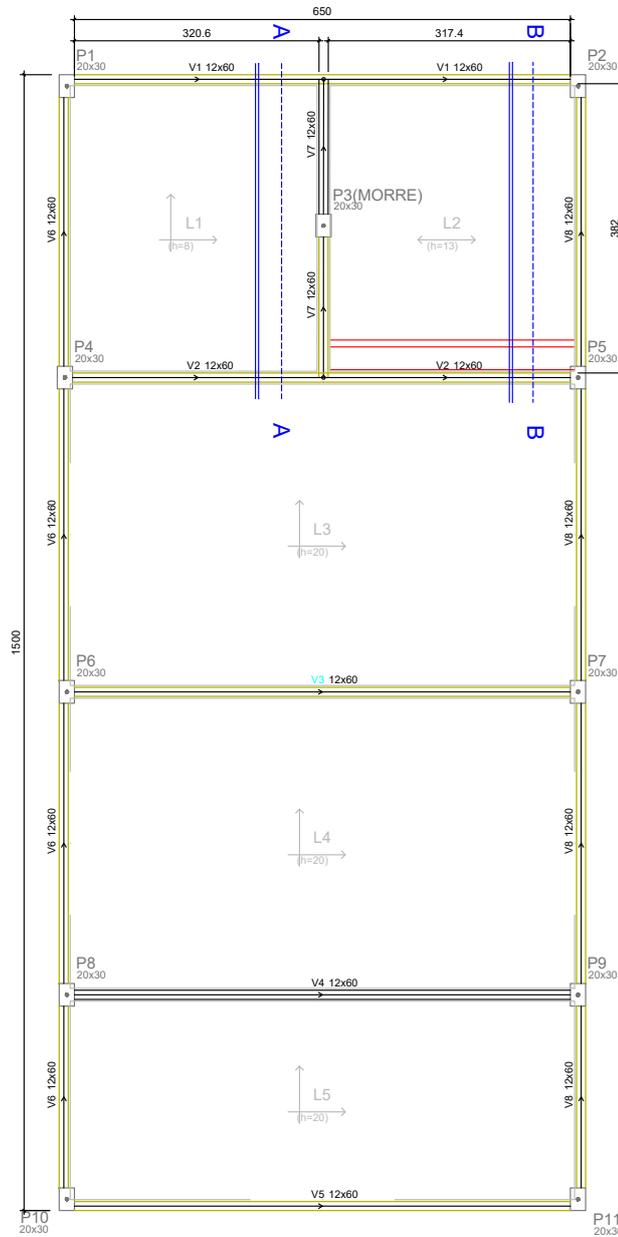


Figura 24: Lançamento da estrutura no Eberick

Após o lançamento da estrutura, podemos produzir com apenas um clique no Eberick a planta de forma (cofragem), conforme a figura 25. Nela vemos cada detalhe numérico dos elementos estruturais: nome do elemento, número, dimensão e detalhe. Identifica-se também o posicionamento e direcionamento das vigotas das lajes pré-fabricadas.

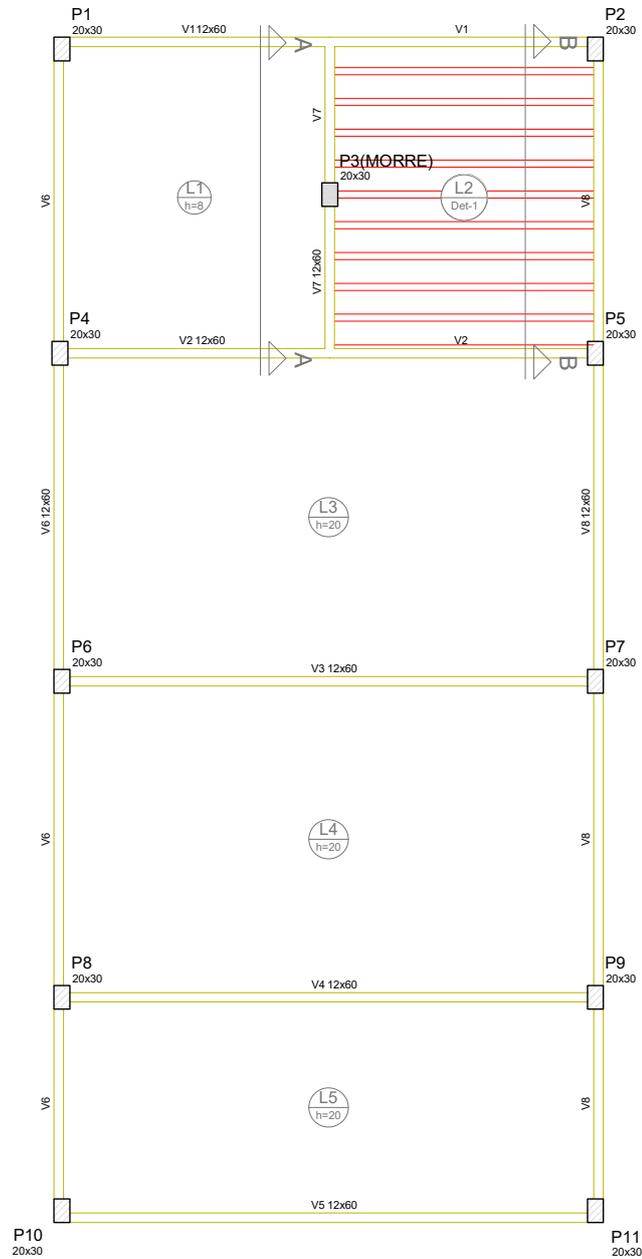


Figura 25: Planta de cofragem fornecida pelo Software

No mesmo desenho, obtemos outros detalhes da estrutura como tabelas com descrições das seções das laje, vigas e pilares, detalhamento de lajes pré-fabricada, características dos materiais que aqui por uma questão de espaço e distribuição foram detalhados na figura 27. Não há nenhum detalhe a mais das cofragens. Tudo que apresenta é que está mostrado nas figuras 25, 26 e 27.

Na figura 26 evidencia-se em detalhe a parte da planta de cofragem onde vamos desenvolver nosso estudo, analisando as vigas V1 e V2. Neste desenho podemos visualizar melhor os elementos, facilitando o entendimento do posicionamento dos cortes.

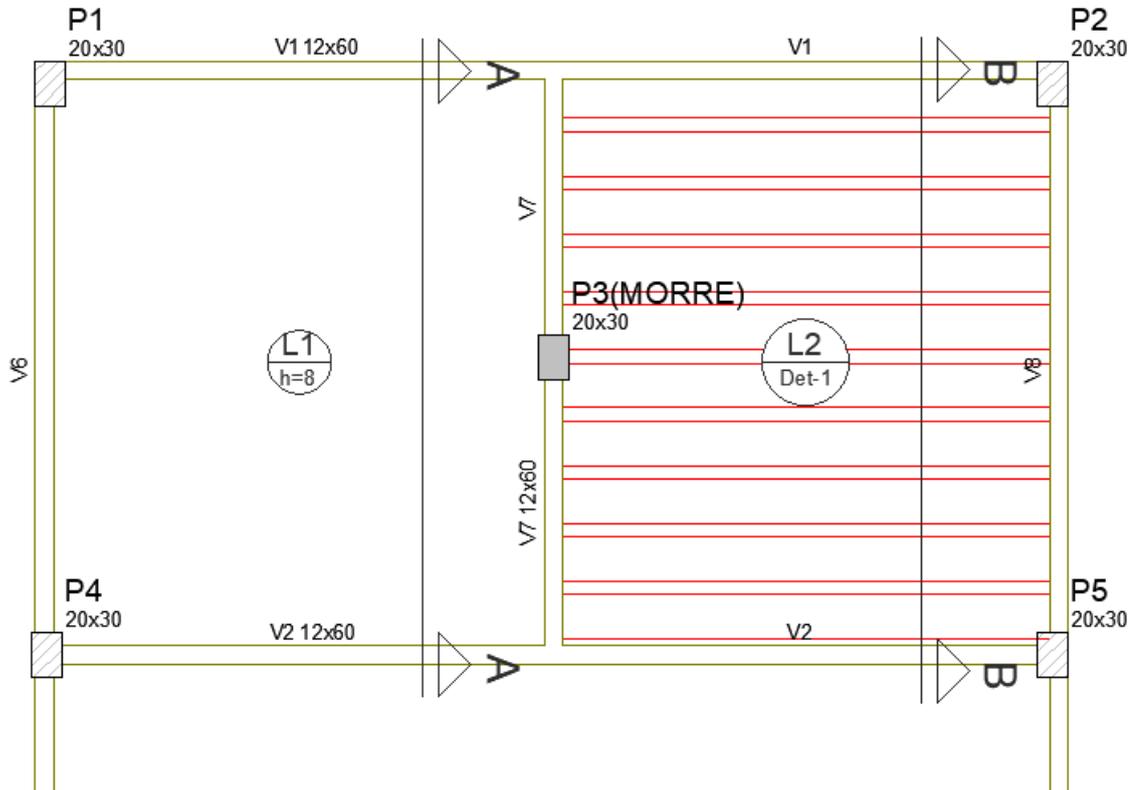


Figura 26: Detalhe da planta de cofragem fornecida pelo Software

Vigas			
Nome	Seção (cm)	Elevação (cm)	Nível (cm)
V1	12x60	0	280
V2	12x60	0	280
V3	12x60	0	280
V4	12x60	0	280
V5	12x60	0	280
V6	12x60	0	280
V7	12x60	0	280
V8	12x60	0	280

Pilares			
Nome	Seção (cm)	Elevação (cm)	Nível (cm)
P1	20 x 30	0	280
P2	20 x 30	0	280
P3	20 x 30	0	280
P4	20 x 30	0	280
P5	20 x 30	0	280
P6	20 x 30	0	280
P7	20 x 30	0	280
P8	20 x 30	0	280
P9	20 x 30	0	280
P10	20 x 30	0	280
P11	20 x 30	0	280

Legenda dos Pilares	
	Pilar que morre
	Pilar que passa
	Pilar que nasce
	Pilar com mudança de seção

Características dos materiais	
fck (kgf/cm ²)	Ecs (kgf/cm ²)
300	260716

Blocos de enchimento						
Detalhe	Tipo	Nome	Dimensões(cm)			Quantidade
			hb	bx	by	
1	EPS Unidirecional	B8/30/125	8	30	125	30

Lajes						Sobrecarga (kgf/m ²)		
Nome	Tipo	Altura (cm)	Elevação (cm)	Nível (cm)	Peso próprio (kgf/m ²)	Adicional	Acidental	Localizada
						1	Maciça	8
L1	Pré-moldada	13	0	280	172	50	200	-
L2	Maciça	20	0	280	500	50	400	-
L3	Maciça	20	0	280	500	50	400	-
L4	Maciça	20	0	280	500	50	400	-

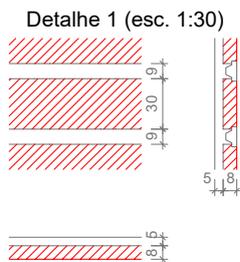
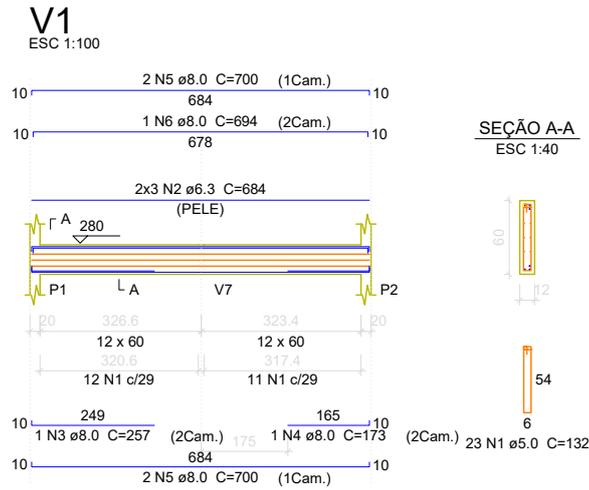


Figura 27: Informações construtivas da planta de cofragem fornecida pelo Software

Outros detalhes podemos obter quando detalhamos cada elemento estrutural. Além dos dados contidos nos desenhos abaixo. É possível também obter facilmente os diagramas de carregamento, momentos fletores de cálculo, momentos torsores de cálculo, esforços cortantes de cálculo e deslocamentos. Estes resultados

não trazem influência sobre nosso estudo, por isto não apresentamos aqui. Assim tomando como exemplos detalhamentos das vigas V1 e V2, temos as figuras 28 e 29



Relação do aço

V1

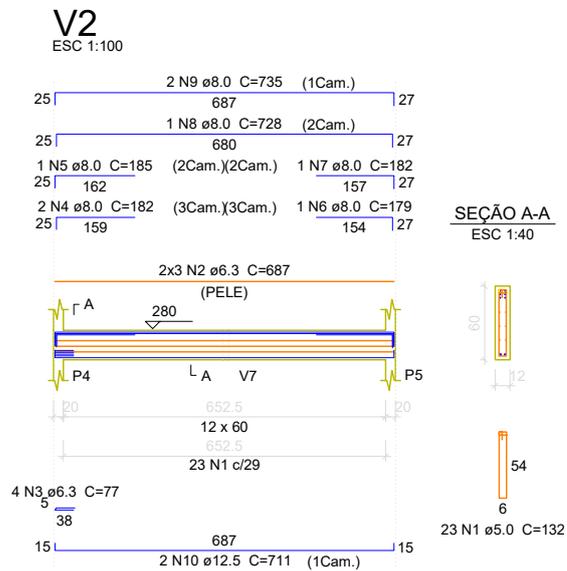
AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT (Barras)	UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5.0	23	132	3036
CA50	2	6.3	6	684	4104
	3	8.0	1	257	257
	4	8.0	1	173	173
	5	8.0	4	700	2800
	6	8.0	1	694	694

Resumo do aço

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
CA50	6.3	41.1	11
	8.0	39.3	17
CA60	5.0	30.4	5.1
PESO TOTAL (kg)			
CA50	28.1		
CA60	5.1		

Volume de concreto (C-30) = 0.5 m³
Área de forma = 9.11 m²

Figura 28: Detalhe da viga V1



Relação do aço

V2

AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT (Barras)	UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5.0	23	132	3036
CA50	2	6.3	6	687	4122
	3	6.3	4	77	308
	4	8.0	2	182	364
	5	8.0	1	185	185
	6	8.0	1	179	179
	7	8.0	1	182	182
	8	8.0	1	728	728
	9	8.0	2	735	1470
	10	12.5	2	711	1422

Resumo do aço

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
CA50	6.3	44.3	11.9
	8.0	31.1	13.5
	12.5	14.3	15.1
CA60	5.0	30.4	5.1
PESO TOTAL (kg)			
CA50		40.5	
CA60		5.1	

Volume de concreto (C-30) = 0.5 m³
Área de forma = 9.14 m²

Figura 29: Detalhe da viga V2

Quando produzimos o detalhamento das vigas no Eberick, temos com resultado as figuras 28 e 29 dos detalhamentos das vigas V1 e V2, podemos observar que a área de forma é apenas citada como valor final, não trazendo nenhum tipo de detalhamento a mais.

Com os cortes que laçamos livremente na estrutura, obtemos mais detalhes que nos serão muito útil no cálculo das áreas de forma. Como podemos ver, nelas temos o detalhamento da dimensão de cada barra de aço detalhado na tabela “Relação do Aço”, bem como sua posição detalhada deixando tudo absolutamente claro para o usuário e para o armador. Além disto, temos ainda o quadro com a “Relação do Aço” utilizado na viga, indicando sua posição no detalhamento, o quadro, “Resumo do Aço” que facilita a compra e permite que esta seja feita com total precisão.

Em seguida observa-se a citação do tipo de betão e a quantidade necessária para o fabrico da viga, e a área de cofragem, sem mais nenhum detalhe. Estes dois quadros e estas citações que compõe o detalhamento das vigas se atualizam automaticamente em função da quantidade de vigas que façam parte da prancha.

Além das figuras 25, 26, 28 e 29, os detalhamentos dos cortes apresentados na figura 30 e na figura 31, foram produzidos de forma automática pelo Eberick, apenas as cotas presentes nas figuras 30 e figura 31, foram lançadas no desenho de forma manual. Estes cortes são fundamentais para ajudar a definir a altura da cofragem em cada vão da viga e viabilizar o dimensionamento das áreas. Estes cortes podem ser lançados na estrutura livremente pelo projetista e seus resultados são obtidos automaticamente. Pensando em uma plataforma BIM, poderia cada face da viga ser detalhado automaticamente fornecendo a área necessária de cofragem.

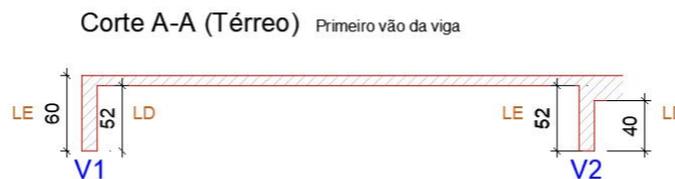


Figura 30: Corte - A A

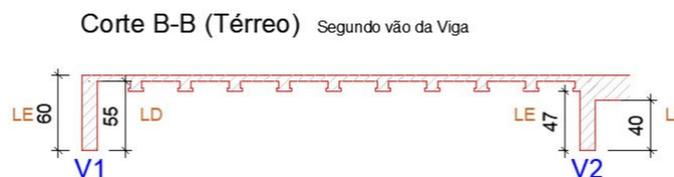


Figura 31: Corte - B B

Podemos observar nas figuras 30 e 31 que, apesar das vigas V1 e V2 possuírem as mesmas dimensões, as alturas reais necessárias para a confecção das cofragens pode mudar, e neste caso mudou em cada trecho da viga.

Assim, para otimizar o processo de fabrico das cofragens das vigas, teremos que necessariamente analisar cada viga individualmente, trecho a trecho, simulando inicialmente que cada trecho de cada face, terá sua cofragem como uma peça única. Estes elementos que comporão a cofragem, só terão suas dimensões e composições definidas posteriormente pelo plano corte.

7.2 APLICAÇÃO DO PROCESSO PROPOSTO

Por questões didáticas, não vamos considerar os transpasses das cofragens em sua montagem, nem o desgaste do contraplacado causado pelo disco de corte. Estas diferenças podem ser acrescentadas no processo de forma parametrizada sem nenhuma alteração no desenvolvimento da metodologia aqui aplicada. Unindo as Vigas V1 e V2 em uma só prancha no Eberick, obtemos os seguintes quadros resumos na Figura 32.

Relação do aço

V1		V2			
AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT (Barras)	UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
CA60	1	5.0	46	132	6072
CA50	2	6.3	6	684	4104
	3	6.3	6	687	4122
	4	6.3	4	77	308
	5	8.0	1	237	237
	6	8.0	1	178	178
	7	8.0	4	700	2800
	8	8.0	1	694	694
	9	8.0	2	182	364
	10	8.0	1	185	185
	11	8.0	1	179	179
	12	8.0	1	182	182
	13	8.0	1	728	728
	14	8.0	2	735	1470
	15	12.5	2	711	1422

Resumo do aço

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
CA50	6.3	85.4	23
	8.0	70.2	30.5
	12.5	14.3	15.1
CA60	5.0	60.8	10.3
PESO TOTAL (kg)			
CA50	68.5		
CA60	10.3		

Volume de concreto (C-30) = 1 m³
Área de forma = 18.25 m²

Figura 32: Quadros resumo da Vigas V1 e V2

Observamos na Figura 32 o indicativo da área de cofragem como sendo 18,25 m². Este valor foi obtido pela soma direta das cofragens das Vigas V1 da figura 28 e V2 da figura 29. De forma equivocada, o sistema está calculando a área de cofragem, considerando o comprimento da viga incluindo no seu tamanho, as dimensões pilares onde ela está apoiada, com um pequeno arredondamento. O comprimento do vão de uma viga para efeito de cálculo de cofragem, deve ser medido de um elemento estrutural ao outro. De pilar para pilar, ou de pilar para viga, ou de viga para viga.

No caso do Eberick, não foi considerado suas ligações com outros elementos estruturais, como no caso da Viga V7 que podemos ver na figura 26. Estas ligações dos elementos estruturais promovem descontos nas áreas de cofragens. Iniciamos o processo de otimização e planejamento de corte, considerando todos os detalhes das

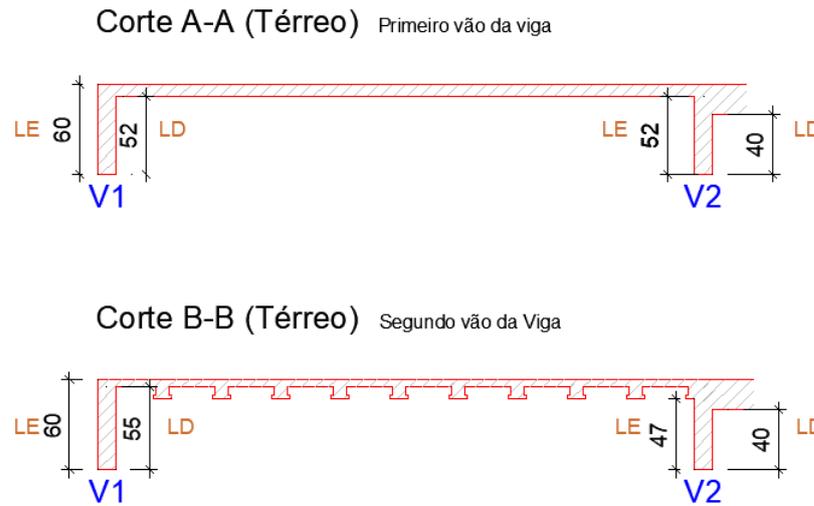


Figura 33: Cortes na estrutura

ligações das vigas V1 e V2 com os outros elementos estruturais como vemos na Figura 33 – Cortes na estrutura, e suas dimensões como visto na Figura 25.

Assim, detalhando primariamente as cofragens das Viga V1 na Figura 34, e da Viga V2 na Figura 35 podemos projetar nossas cofragens a partir destes desenhos detalhados abaixo. Pela nossa proposta de codificação dos elementos de cofragem, a referência de cada elemento seria composta pelo número da obra (01), elemento (V01), posição na cofragem (LE) e referência (01). Neste exemplo, para facilitar o entendimento vamos suprir o número da obra.

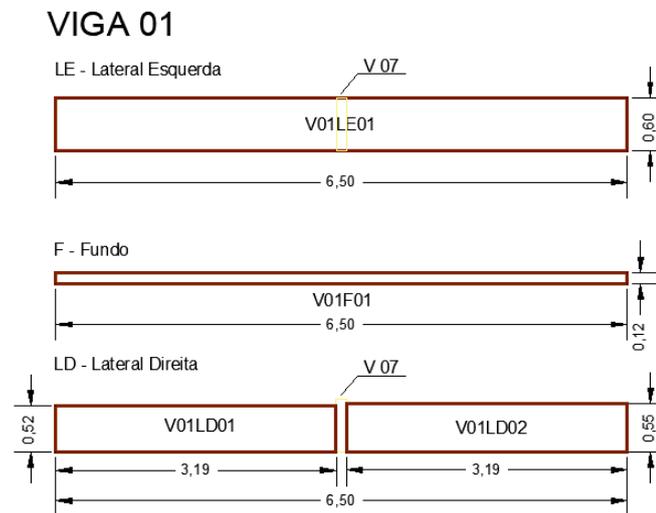


Figura 34: Detalhamento inicial das cofragens das Vigas V1

Este detalhamento viabiliza a elaboração da tabela 17 REC - Relação dos Elementos de Cofragem. Dela podemos determinar nossa estimativa de consumo de material, apresentada na tabela 18.

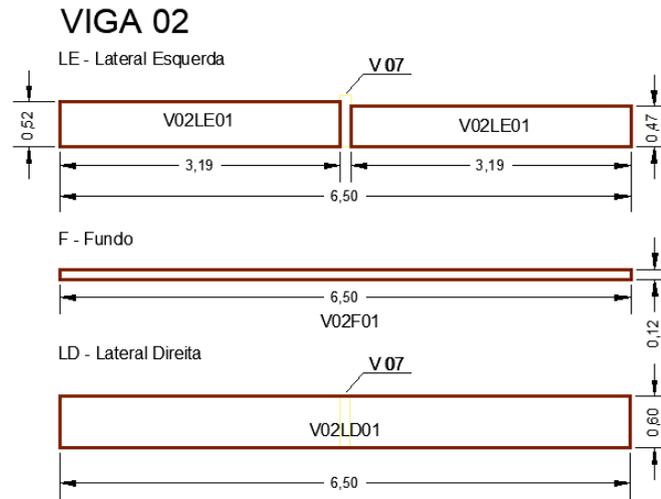


Figura 35: Detalhamento inicial das cofragens das Vigas V2

REC - Relação dos Elementos de Cofragem

Ordem	Viga	Posição	Ref.	Código	L1	L2	Área Efetiva	Dimensão compatível
1	1	LE	1	V01LE01	6,50	0,60	3,90	N
2	1	F	1	V01F01	6,50	0,12	0,78	N
3	1	LD	1	V01LD01	3,19	0,52	1,66	N
4	1	LD	2	V01LD02	3,19	0,55	1,75	N
5	2	LE	1	V02LE01	3,19	0,52	1,66	N
6	2	LE	2	V02LE02	3,19	0,47	1,50	N
7	2	F	1	V02F01	6,50	0,12	0,78	N
8	2	LD	1	V02LD01	6,50	0,40	2,60	N

Tabela 17: Relação dos Elementos de Cofragem

Aqui podemos verificar uma grande discrepância com a área de cofragem calculada pelo Eberick na Figura 32 e a área real de cofragem. A área de cofragem sugerida pelo Eberick neste exemplo é 24,74% a mais que o real necessário. Ajustando os elementos da Tabela 17 para as dimensões máxima de uma folha de contraplacado, teremos a tabela 19 a seguir.

Observe que elemento de ordem 1 foi desmembrado em 3 elementos que resultam no mesmo tamanho original. O elemento de ordem 1 manteve a ordem e a referência, mas mudou o seu L1. E por consequência foram criados os elementos de ordem 10 e 11, nas linhas imediatamente abaixo, para facilitar o acompanhamento de formação da tabela. Este novo elemento recebeu um novo código com uma referência maior do que aquele que já tinha no painel inicial da cofragem. Tomando como exemplo o item 4 da tabela, temos o código V01LD01,

Área total	14.63	m ²
Quantidade de contraplacados	6.05	folhas

Tabela 18: Cálculo da área efetiva de cofragem

TAN - Tabela de Adaptação de Necessidade

Ordem	Viga	Posição	Ref.	Código	L1	L2	Área Efetiva	Dimensão compatível
1	1	LE	1	V01LE01	2.20	0.60	1.32	
9	1	LE	2	V01LE02	2.20	0.60	1.32	
10	1	LE	3	V01LE03	2.10	0.60	1.26	
2	1	F	1	V01F01	2.20	0.12	0.26	
11	1	F	2	V01F02	2.20	0.12	0.26	
12	1	F	3	V01F03	2.10	0.12	0.25	
3	1	LD	1	V01LD01	2.20	0.52	1.14	
13	1	LD	3	V01LD03	0.99	0.52	0.51	
4	1	LD	2	V01LD02	2.20	0.55	1.21	
14	1	LD	4	V01LD04	0.99	0.55	0.54	
5	2	LE	1	V02LE01	2.20	0.52	1.14	
15	2	LE	3	V02LE03	0.99	0.52	0.51	
6	2	LE	2	V02LE02	2.20	0.47	1.03	
16	2	LE	4	V02LE04	0.99	0.47	0.47	
7	2	F	1	V02F01	2.20	0.12	0.26	
17	2	F	2	V02F02	2.20	0.12	0.26	
18	2	F	3	V02F03	2.10	0.12	0.25	
8	2	LD	1	V02LD01	2.20	0.40	0.88	
19	2	LD	2	V02LD02	2.20	0.40	0.88	
20	2	LD	3	V02LD03	2.10	0.40	0.84	

Tabela 19: Tabela de adaptação de necessidade.

sendo V01 (viga 01) LE (posição lateral direita) 01(referência), com as dimensões 2,20 x 0,60 m . Tomemos como exemplo a lateral direita da V1 que é composto por dois elementos de cofragem. O primeiro V01LD01 com altura de 0,52 m, e o segundo vão V01LD02 com altura de 0,55 m , então os próximos elementos que forem criados lateral direita da V1, serão V01LD03, V01LD04, V01LD05... e assim sucessivamente. Esta metodologia foi para evitar que uma peça perca sua referência de posição e ordem de criação.

O resultado destas adequações, pode ser visto nas Figura 36 e Figura 37.

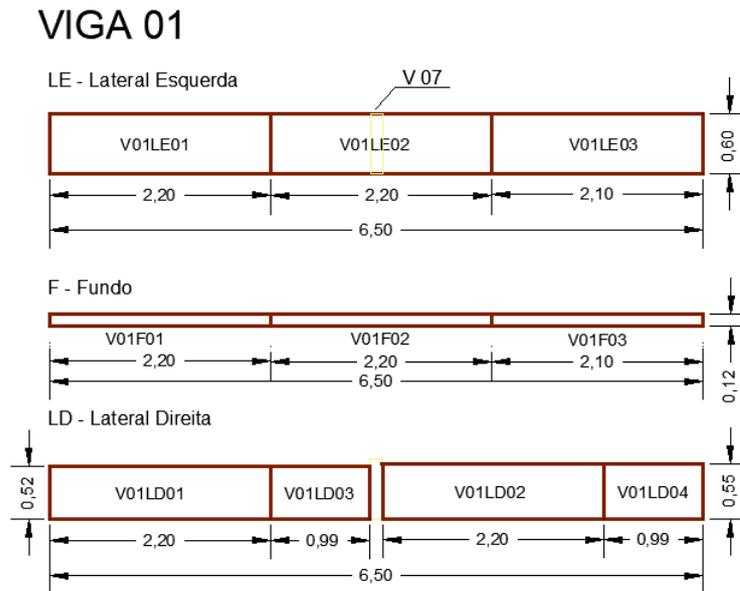


Figura 36: Detalhamento das cofragens das V1 depois da adequação do tamanho dos elementos.

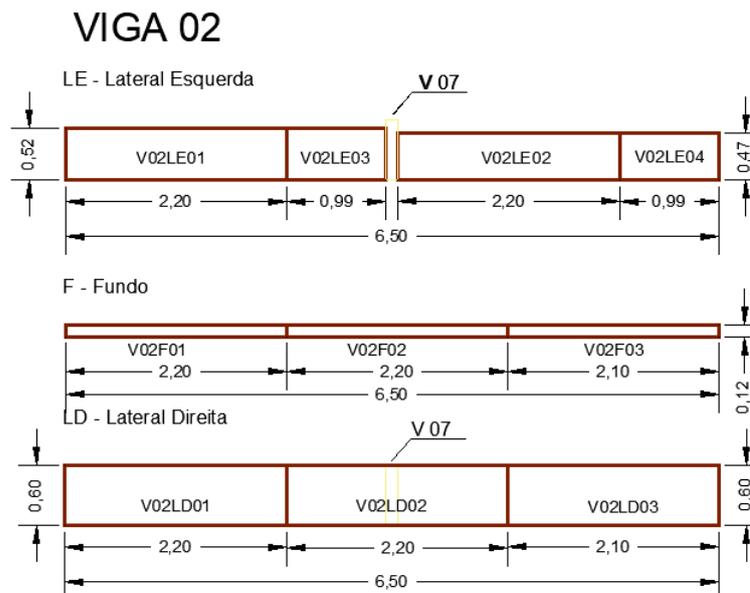


Figura 37: Detalhamento das cofragens da V2 depois da adequação do tamanho dos elementos.

TSC - Tabela de Sequência de Corte

Ordem	Viga	Posição	Ref.	Código	L1	L2	Área Efetiva	Produzida	Origem
1	1	LE	1	V01LE01	2.20	0.60	1.32		
9	1	LE	2	V01LE02	2.20	0.60	1.32		
10	1	LE	3	V01LE03	2.10	0.60	1.26		
4	1	LD	2	V01LD02	2.20	0.55	1.21		
3	1	LD	1	V01LD01	2.20	0.52	1.14		
5	2	LE	1	V02LE01	2.20	0.52	1.14		
6	2	LE	2	V02LE02	2.20	0.47	1.03		
8	2	LD	1	V02LD01	2.20	0.40	0.88		
19	2	LD	2	V02LD02	2.20	0.40	0.88		
20	2	LD	3	V02LD03	2.10	0.40	0.84		
14	1	LD	4	V01LD04	0.99	0.55	0.54		
13	1	LD	3	V01LD03	0.99	0.52	0.51		
15	2	LE	3	V02LE03	0.99	0.52	0.51		
16	2	LE	4	V02LE04	0.99	0.47	0.47		
2	1	F	1	V01F01	2.20	0.12	0.26		
11	1	F	2	V01F02	2.20	0.12	0.26		
7	2	F	1	V02F01	2.20	0.12	0.26		
17	2	F	2	V02F02	2.20	0.12	0.26		
12	1	F	3	V01F03	2.10	0.12	0.25		
18	2	F	3	V02F03	2.10	0.12	0.25		

Tabela 20: Tabela de Sequência de Corte .

Organizando a TSC -Tabela de Sequência de Corte partindo da Tabela 19, adotando os critérios de maior área, maior L1 e maior L2 respectivamente, teremos a tabela 20.

Para facilitar, o acompanhamento do processo, iremos numerar cada etapa.

1. Iniciaremos o processo de simulação de corte. Tomando uma folha de contraplacado e promovendo o primeiro plano de corte para produzir o elemento de ordem 1 (V01LE01) da TSC – Tabela de Sequência de Corte. Ao promover o primeiro corte, a peça de ordem 1 (V01LE01) fica produzida sem a necessidade de corte para ajustar o seu L2.
2. Aplicaremos seu código identificador na peça produzida. Da mesma forma, aplicaremos outro código identificador na sobra do contraplacado. O código da peça de reaproveitamento é formado pelo número de ordem da folha de contraplacado que deu origem ao elemento, seguido da letra R (reaproveitamento) e o número de sequência da ordem de cortes que o contraplacado sofreu até chegar nesta dimensão.
3. Da primeira folha sobrou um elemento de 2,20 x 0,50 m . Percorreremos novamente a TSC - Tabela de Sequência de Corte, procurando elementos que possam ser produzidos com esta peça de reaproveitamento no seu tamanho integral. Caso não tenhamos nenhum elemento com estas mesmas dimensões, esta peça irá pra uma nova tabela chamada de TSR – Tabela de Sobras para Reaproveitamento.

4. Criaremos agora a TSR – Tabela de Sobras para Reaproveitamento com os elementos nas mesmas dimensões do que sobrou da peça recém utilizada de contraplacado.

TSR - Tabela de Sobras para Reaproveitamento

Ordem	Folha origem	Ref.	Nº do corte	Código	L1	L2	Área Efetiva	Controle
1	1	R	1	01R01	2.20	0.50	1.10	
2								
3								

Tabela 21: Tabela de Sobras para Reaproveitamento .

O código da peça é formado pelo número da folha de origem do elemento, seguido da letra R (reaproveitamento) e do número da quantidade de cortes que a peça já sofreu até chegar na atual dimensão.

Esta operação se repete até atingir a quantidade inteira do número de contraplacados previsto na Tabela 18. Assim, depois de promover o corte na sexta folha de contraplacado, teremos a tabela 22 a seguir.

TSC - Tabela de Sequência de Corte

Ordem	Viga	Posição	Ref.	Código	L1	L2	Área Efetiva	Produzida	Origem
1	1	LE	1	V01LE01	2.20	0.60	1.32	T	1
9	1	LE	2	V01LE02	2.20	0.60	1.32	T	2
10	1	LE	3	V01LE03	2.10	0.60	1.26	T	3
4	1	LD	2	V01LD02	2.20	0.55	1.21	T	4
3	1	LD	1	V01LD01	2.20	0.52	1.14	T	5
5	2	LE	1	V02LE01	2.20	0.52	1.14	T	6
6	2	LE	2	V02LE02	2.20	0.47	1.03		
8	2	LD	1	V02LD01	2.20	0.40	0.88		
19	2	LD	2	V02LD02	2.20	0.40	0.88		
20	2	LD	3	V02LD03	2.10	0.40	0.84		
14	1	LD	4	V01LD04	0.99	0.55	0.54		
13	1	LD	3	V01LD03	0.99	0.52	0.51		
15	2	LE	3	V02LE03	0.99	0.52	0.51		
16	2	LE	4	V02LE04	0.99	0.47	0.47		
2	1	F	1	V01F01	2.20	0.12	0.26		
11	1	F	2	V01F02	2.20	0.12	0.26		
7	2	F	1	V02F01	2.20	0.12	0.26		
17	2	F	2	V02F02	2.20	0.12	0.26		
12	1	F	3	V01F03	2.10	0.12	0.25		
18	2	F	3	V02F03	2.10	0.12	0.25		

Tabela 22: TSC depois do uso do sexto contraplacado.

Na tabela 22 acima, a coluna “Produzida”, é usada para acompanhar a condição de fabrico da peça. A letra T, representa que a peça foi produzida em sua totalidade. A letra S, diz que a peça teve alguma de suas dimensões alteradas, ou foi produzida parcialmente e substituída por um novo elemento de dimensões complementar na tabela. A coluna “Origem”, aponta de qual peça do contraplacado o elemento foi produzido.

TSR - Tabela de Sobras para Reaproveitamento

Ordem	Folha origem	Ref.	Nº do corte	Código	L1	L2	Área Efetiva	Controle
1	1	R	1	01R01	2.20	0.50	1.10	
2	2	R	1	02R01	2.20	0.50	1.10	
3	3	R	1	03R01	2.20	0.50	1.10	
4	3	R	2	03R02	0.60	0.10	0.06	
5	4	R	1	04R01	2.20	0.55	1.21	
6	5	R	1	05R01	2.20	0.58	1.28	
7	6	R	1	06R01	2.20	0.58	1.28	

Tabela 23: Tabela de Sobras para Reaproveitamento.

Ordenando os elementos da tabela 23, obteremos a Tabela 24, seguindo os mesmos critérios adotado para o realinhamento da Tabela 19, adotando maior área, maior L1 e maior L2 respectivamente.

TSR - Tabela de Sobras para Reaproveitamento

Ordem	Folha origem	Ref.	Nº do corte	Código	L1	L2	Área Efetiva	Controle
6	5	R	1	05R01	2.20	0.58	1.28	
7	6	R	1	06R01	2.20	0.58	1.28	
5	4	R	1	04R01	2.20	0.55	1.21	
1	1	R	1	01R01	2.20	0.50	1.10	
2	2	R	1	02R01	2.20	0.50	1.10	
3	3	R	1	03R01	2.20	0.50	1.10	
4	3	R	2	03R02	0.60	0.10	0.06	

Tabela 24: Tabela de Sobras para Reaproveitamento.

Após o primeiro corte dos seis contraplacados temos a seguinte diagramação, apresentada nas figuras 38, 39 e 40 a seguir.

VIGA 01

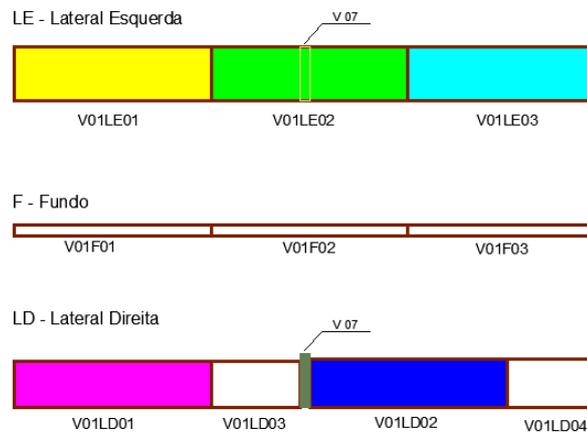


Figura 38: Detalhamento da V1 depois da primeira utilização de seis contraplacados

VIGA 02

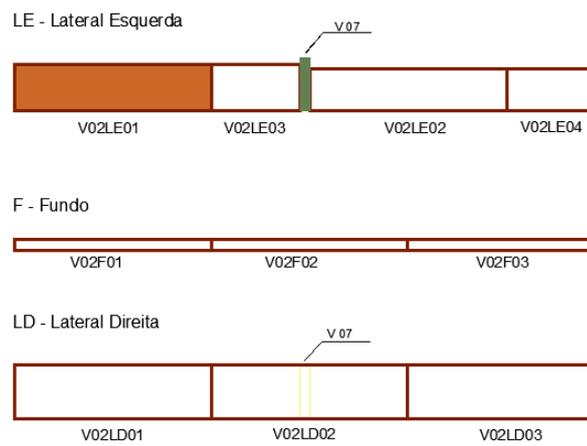


Figura 39: Detalhamento da V2 depois da primeira utilização de seis contraplacados

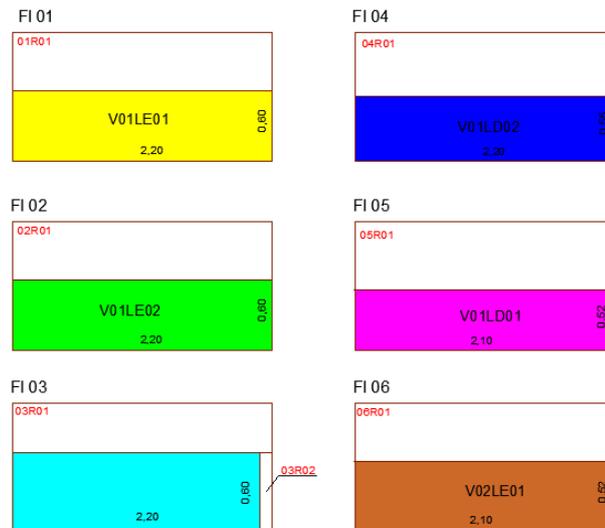


Figura 40: Diagramação após o primeiro corte

5. Trataremos agora do reaproveitamento das peças que sobraram depois do primeiro corte, aqui chamado de “Aproveitamento de primeira ordem”. A dimensão mínima das peças para reaproveitamento nesta etapa é definida por cada projetista atendendo a realidade de cada projeto. Vale ressaltar que quanto maior for esta dimensão, maior também será o índice de perda. Este valor deve ser parametrizado no software. Neste exemplo adotamos que elementos com lado menor de 12 cm não serão reaproveitados no aproveitamento de primeira ordem. Neste exemplo, temos o elemento 03R02.

Alguns elementos da TSR, podem ter dimensão muito próximas às da TSC, precisando de pequenos complementos. Podemos aqui (também parametrizável no software) definir outros valores de tamanhos mínimos para aceitação de peças para complemento. Este procedimento só seria aplicável depois finalizar o processo de “aproveitamento de primeira ordem”. Estas peças de complemento precisam ser de tamanho que permitam boa trabalhabilidade no processo de fabrico da cofragem. Definimos que só será permitido a cada elemento da TSR receber complemento em uma das suas dimensões, para evitar que se perca muito tempo com aproveitamento um elemento de pequenas dimensões. O que se economizaria com o custo do elemento, talvez não compense com o custo da mão de obra. Neste exemplo adotaremos os valores mínimos de L1 sendo 1,10 m ou o tamanho idêntico ao do elemento a ser produzido, e L2 de 0,05 m .

6. Da TSC Tabela 22, vemos que ainda falta produzir os elementos de ordem 5 em diante. Como o objetivo é aproveitar ao máximo os elementos da TSR, começaremos o processo agora tomando os menores elementos (área), com as menores dimensões, buscando um elemento da TSC que possa ser produzido com este. Continuaremos a repetir o processo de simulação de corte, agora seguindo esta nova sequência, procurando produzir todos os elementos que ainda não foram produzidos da Tabela ??.

Caso o elemento tomado da TSR não tenha dimensão suficiente para produzir o primeiro elemento (maior) da sequência da TSC, buscaremos o próximo elemento (imediatamente menor) da TSC, até que este tenha

suas dimensões compatíveis. O processo de reaproveitamento dos elementos de sobra, começa sempre tomando o último elemento, (neste caso de ordem 3 - 03R01) da TSR Tabela ?? . Buscaremos na Tabela 22 o primeiro elemento que falta ser produzido, comparando a compatibilidade de suas dimensões. Neste caso, produziremos o elemento de ordem 7 da TSC Tabela 22 V02LE02 ($2,20 \times 0,47$) . Com isto, um novo elemento (03R02) com dimensões $2,20 \times 0,03$ m deveria surgir na TSR. Como este elemento não atende as dimensões mínimas para reaproveitamento e complemento, ele passa a ser descartado como perda e nem entra na tabela.

Depois de iniciado o processo de corte de um elemento da TSR, este deverá ser reutilizado até que suas dimensões atinjam valores inadequado ao reaproveitamento, ou a busca chegue ao fim da TSC.

Sempre que houver a criação de um novo elemento de reaproveitamento, a TSR precisa ter seus elementos reorganizados seguindo os mesmos critérios, antes de tomar um novo elemento para o reaproveitamento.

TSC - Tabela de Sequência de Corte

Ordem	Viga	Posição	Ref.	Código	L1	L2	Área Efetiva	Produzida	Origem
1	1	LE	1	V01LE01	2.20	0.60	1.32	T	1
9	1	LE	2	V01LE02	2.20	0.60	1.32	T	2
10	1	LE	3	V01LE03	2.10	0.60	1.26	T	3
4	1	LD	2	V01LD02	2.20	0.55	1.21	T	4
3	1	LD	1	V01LD01	2.20	0.52	1.14	T	5
5	2	LE	1	V02LE01	2.20	0.52	1.14	T	6
6	2	LE	2	V02LE02	2.20	0.47	1.03	T	03R01
8	2	LD	1	V02LD01	2.20	0.40	0.88	T	02R01
19	2	LD	2	V02LD02	2.20	0.40	0.88	T	01R01
20	2	LD	3	V02LD03	2.10	0.40	0.84	T	04R01
14	1	LD	4	V01LD04	0.99	0.55	0.54	T	06R01
13	1	LD	3	V01LD03	0.99	0.52	0.51	T	06R02
15	2	LE	3	V02LE03	0.99	0.52	0.51	T	05R01
16	2	LE	4	V02LE04	0.99	0.47	0.47	T	05R03
2	1	F	1	V01F01	2.20	0.12	0.26	T	04R02
11	1	F	2	V01F02	2.20	0.12	0.26		
7	2	F	1	V02F01	2.20	0.12	0.26		
17	2	F	2	V02F02	2.20	0.12	0.26		
12	1	F	3	V01F03	2.10	0.12	0.25		
18	2	F	3	V02F03	2.10	0.12	0.25		

Tabela 25: TSC da primeira etapa de reaproveitamento.

TSR - Tabela de Sobras para Reaproveitamento

Ordem	Folha origem	Ref.	Nº do corte	Código	L1	L2	Área Efetiva	Controle
6	5	R	1	05R01	2.20	0.58	1.28	S
7	6	R	1	06R01	2.20	0.58	1.28	S
5	4	R	1	04R01	2.20	0.55	1.21	S
1	1	R	1	01R01	2.20	0.50	1.10	S
2	2	R	1	02R01	2.20	0.50	1.10	S
3	3	R	1	03R01	2.20	0.50	1.10	S
4	3	R	2	03R02	0.60	0.10	0.06	
5	2	R	2	02R02	2.20	0.10	0.22	
6	1	R	2	01R02	2.20	0.10	0.22	
7	4	R	2	04R02	2.20	0.15	0.33	S
8	4	R	3	04R03	0.40	0.10	0.04	
9	6	R	2	06R02	1.21	0.55	0.67	S
10	6	R	3	06R03	0.55	0.22	0.12	
11	5	R	2	05R02	2.20	0.06	0.13	
12	5	R	3	05R03	1.21	0.52	0.63	S
13	5	R	4	05R04	0.52	0.22	0.11	

Tabela 26: TSR da primeira etapa do reaproveitamento

Os elementos com dimensões mínimas para reaproveitamento e complemento, ele passa a ser descartado como perda e não entra na tabela. Isto ocorreu nas folhas 03, 04 e 06.

TSR - Tabela de Sobras para Reaproveitamento

Ordem	Folha origem	Ref.	Nº do corte	Código	L1	L2	Área Efetiva	Controle
6	5	R	1	05R01	2.20	0.58	1.28	S
7	6	R	1	06R01	2.20	0.58	1.28	S
5	4	R	1	04R01	2.20	0.55	1.21	S
1	1	R	1	01R01	2.20	0.50	1.10	S
2	2	R	1	02R01	2.20	0.50	1.10	S
3	3	R	1	03R01	2.20	0.50	1.10	S
9	6	R	2	06R02	1.21	0.55	0.67	S
12	5	R	3	05R03	1.21	0.52	0.63	S
7	4	R	2	04R02	2.20	0.15	0.33	S
5	2	R	2	02R02	2.20	0.10	0.22	
6	1	R	2	01R02	2.20	0.10	0.22	
11	5	R	2	05R02	2.20	0.06	0.13	
10	6	R	3	06R03	0.55	0.22	0.12	
13	5	R	4	05R04	0.52	0.22	0.11	
4	3	R	2	03R02	0.60	0.10	0.06	
8	4	R	3	04R03	0.40	0.10	0.04	

Tabela 27: TSR da primeira etapa do reaproveitamento ordenada

Os elementos destacados na TSR da Tabela 27 não têm dimensões adequadas para produzir mais nenhum elemento da TSC da Tabela 25. Os elementos destacados em azul atendem as condições mínimas para complemento. Já os elementos destacados na cor laranja poderão também atender, mas com uma probabilidade de usabilidade muito mais baixa pois suas dimensões são menores do que as peças que ainda restam ser produzidas na TSC da Tabela 25.

Após a etapa de aproveitamento de primeira ordem, temos as figuras 41, 42 e 43.

- Quando mais nenhum elemento da TSR tiver tamanho compatível com os elementos das TSC, retomaremos o processo de adaptação de necessidade. Fraciona-se o maior elemento da TSC de modo a atingir o tamanho máximo da TSR, de modo que o elemento complementar que vai ser gerado pelo fracionamento não tenha sua dimensão inferior ao mínimo adotado (12 cm) .

Repete-se esta operação utilizando cada elemento da TSR para produzir os elementos da TSC que ainda não foram produzidos, até que os elementos da TSR tenham acabado ou atingido dimensões com valores considerados inadequados ao uso.

Nosso primeiro elemento disponível para reaproveitamento na TSR da Tabela 27 é o elemento de ordem 5 - 02R02 (2,20 × 0,10 m) . O primeiro elemento disponível para produção na TSC Tabela 25 é o elemento de ordem 3 - V01F01 (2,20 × 0,12) . Veja que o L2 da TSC é menor do que o L2 da TSR. Se for fracionar o

VIGA 01

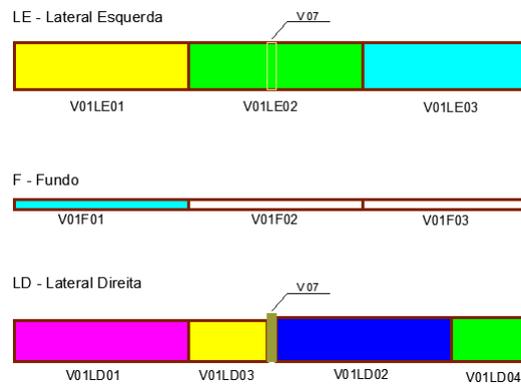


Figura 41: Detalhamento da V1 depois aproveitamento de primeira ordem.

VIGA 02

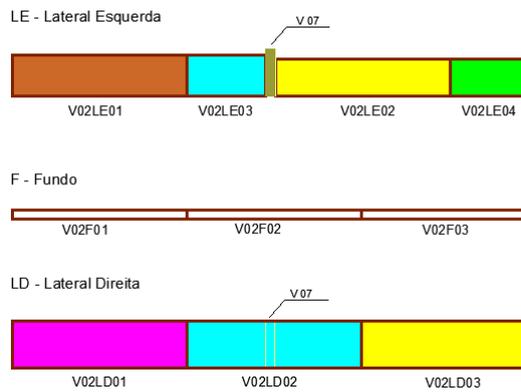


Figura 42: Detalhamento da V2 depois do aproveitamento de primeira ordem.

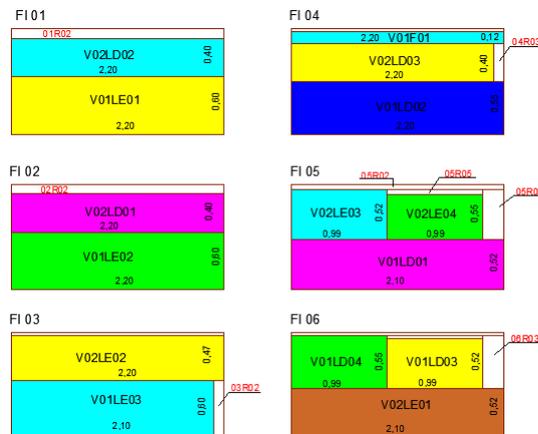


Figura 43: Diagramação depois aproveitamento de primeira ordem.

elemento da TSC para seguir a dimensão da TSR, teríamos que produzir uma peça com dimensão menor que o limite adotado ($2,20 \times 0,02$) m . Assim, em nosso caso, não devemos executar este procedimento.

8. Por fim, depois de executadas todas as operações descritas anteriormente, tomaremos a última folha de contraplacado para produzir os elementos que faltam na nossa última TSC. Neste caso estamos falando da Tabela 25 e os elementos são os de ordem 3, 12, 8, 18, 13 e 19 que faltam ser produzidos para concluir o processo de simulação de corte. Temos nas tabelas 28, 29 e 30 e nas figuras 44 e 45 a seguir nossos resultados finais.

TSC - Tabela de Sequência de Corte

Ordem	Viga	Posição	Ref.	Código	L1	L2	Área Efetiva	Produzida	Origem
1	1	LE	1	V01LE01	2.20	0.60	1.32	T	1
9	1	LE	2	V01LE02	2.20	0.60	1.32	T	2
10	1	LE	3	V01LE03	2.10	0.60	1.26	T	3
4	1	LD	2	V01LD02	2.20	0.55	1.21	T	4
3	1	LD	1	V01LD01	2.20	0.52	1.14	T	5
5	2	LE	1	V02LE01	2.20	0.52	1.14	T	6
6	2	LE	2	V02LE02	2.20	0.47	1.03	T	03R01
8	2	LD	1	V02LD01	2.20	0.40	0.88	T	02R01
19	2	LD	2	V02LD02	2.20	0.40	0.88	T	01R01
20	2	LD	3	V02LD03	2.10	0.40	0.84	T	04R01
14	1	LD	4	V01LD04	0.99	0.55	0.54	T	06R01
13	1	LD	3	V01LD03	0.99	0.52	0.51	T	06R02
15	2	LE	3	V02LE03	0.99	0.52	0.51	T	05R01
16	2	LE	4	V02LE04	0.99	0.47	0.47	T	05R03
2	1	F	1	V01F01	2.20	0.12	0.26	T	04R02
11	1	F	2	V01F02	2.20	0.12	0.26	T	7
7	2	F	1	V02F01	2.20	0.12	0.26	T	07R01
17	2	F	2	V02F02	2.20	0.12	0.26	T	07R02
12	1	F	3	V01F03	2.10	0.12	0.25	T	07R03
18	2	F	3	V02F03	2.10	0.12	0.25	T	07R04

Tabela 28: Tabela final de corte

TSR - Tabela de Sobras para Reaproveitamento

Ordem	Folha origem	Ref.	Nº do corte	Código	L1	L2	Área Efetiva	Controle
6	5	R	1	05R01	2.20	0.58	1.28	S
7	6	R	1	06R01	2.20	0.58	1.28	S
5	4	R	1	04R01	2.20	0.55	1.21	S
1	1	R	1	01R01	2.20	0.50	1.10	S
2	2	R	1	02R01	2.20	0.50	1.10	S
3	3	R	1	03R01	2.20	0.50	1.10	S
9	6	R	2	06R02	1.21	0.55	0.67	S
12	5	R	3	05R03	1.21	0.52	0.63	S
7	4	R	2	04R02	2.20	0.15	0.33	S
5	2	R	2	02R02	2.20	0.10	0.22	
6	1	R	2	01R02	2.20	0.10	0.22	
11	5	R	2	05R02	2.20	0.06	0.13	
10	6	R	3	06R03	0.55	0.22	0.12	
13	5	R	4	05R04	0.52	0.22	0.11	
4	3	R	2	03R02	0.60	0.10	0.06	
8	4	R	3	04R03	0.40	0.10	0.04	
14	6	R	1	07R01	2.20	0.98	2.16	S
15	7	R	2	07R02	2.20	0.86	1.89	S
16	7	R	3	07R03	2.20	0.74	1.63	S
17	7	R	4	07R04	2.20	0.62	1.36	S
18	7	R	5	07R05	0.12	0.10	0.01	
19	7	R	6	07R06	2.20	0.50	1.10	
20	7	R	7	07R07	0.12	0.10	0.01	

Tabela 29: Tabela final de sobra total de material

TSR - Tabela de Sobras para Reaproveitamento

Ordem	Folha origem	Ref.	Nº do corte	Código	L1	L2	Área Efetiva	Controle
14	6	R	1	07R01	2.20	0.98	2.16	S
15	7	R	2	07R02	2.20	0.86	1.89	S
16	7	R	3	07R03	2.20	0.74	1.63	S
17	7	R	4	07R04	2.20	0.62	1.36	S
6	5	R	1	05R01	2.20	0.58	1.28	S
7	6	R	1	06R01	2.20	0.58	1.28	S
5	4	R	1	04R01	2.20	0.55	1.21	S
1	1	R	1	01R01	2.20	0.50	1.10	S
2	2	R	1	02R01	2.20	0.50	1.10	S
3	3	R	1	03R01	2.20	0.50	1.10	S
19	7	R	6	07R06	2.20	0.50	1.10	
9	6	R	2	06R02	1.21	0.55	0.67	S
12	5	R	3	05R03	1.21	0.52	0.63	S
7	4	R	2	04R02	2.20	0.15	0.33	S
5	2	R	2	02R02	2.20	0.10	0.22	
6	1	R	2	01R01	2.20	0.10	0.22	
11	5	R	2	05R02	2.20	0.06	0.13	
10	6	R	3	06R03	0.55	0.22	0.12	
13	5	R	4	05R04	0.52	0.22	0.11	
4	3	R	2	03R02	0.60	0.10	0.06	
8	4	R	3	04R03	0.40	0.10	0.04	
18	7	R	5	07R05	0.12	0.10	0.01	
20	7	R	7	07R07	0.12	0.10	0.01	

Tabela 30: Tabela final de sobra total de material - Reordenada

VIGA 01

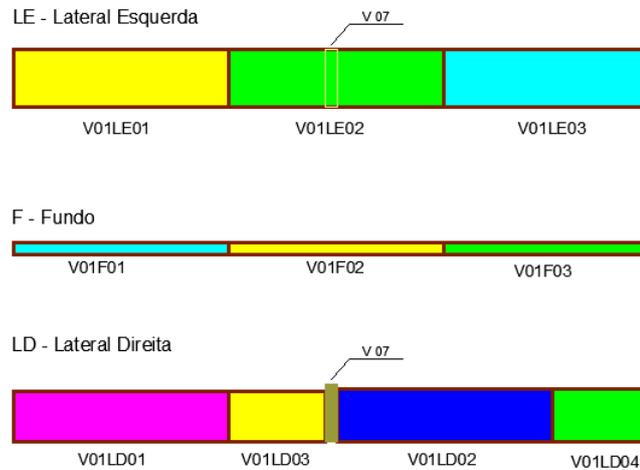


Figura 44: Detalhamento final da viga V1.

VIGA 02

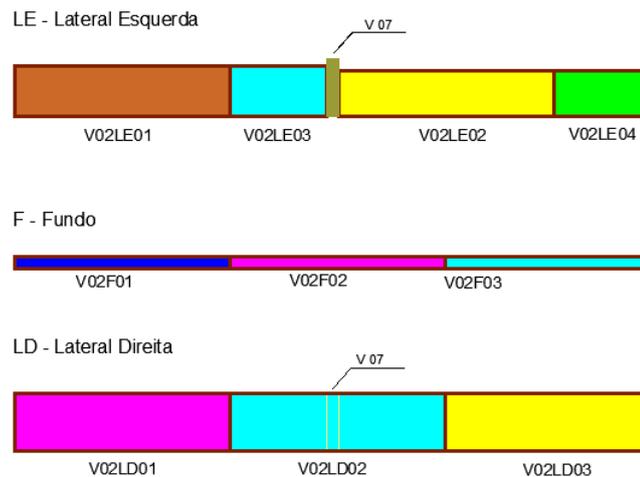


Figura 45: Detalhamento final da viga V2.

Consideramos a sobra do sétimo contraplacado 07R06 como sendo a sobra efetiva total de contraplacado, já que os outros elementos não têm dimensões significativas para serem reaproveitados. Estes elementos que não foram usados da TSR foram considerados como sendo perda. Assim consideraremos para efeito de rendimento termos utilizado 6,54 contraplacados, que corresponde a $15,84 m^2$. Desta forma, tivemos uma variação de 8,27% além da área efetiva mínima calculada. Para reduzir ainda mais este índice de perda, basta reduzir o valor dos parâmetros mínimos para aproveitamento e complemento.

Estes dados refletem apenas o que verificamos de forma direta em economia de contraplacado. O processo de fabrico e montagem também serão beneficiados de forma direta com a aplicação deste processo,

pois as peças devidamente identificadas e as vigas detalhadas, facilitarão e muito os processos corte e na montagem.

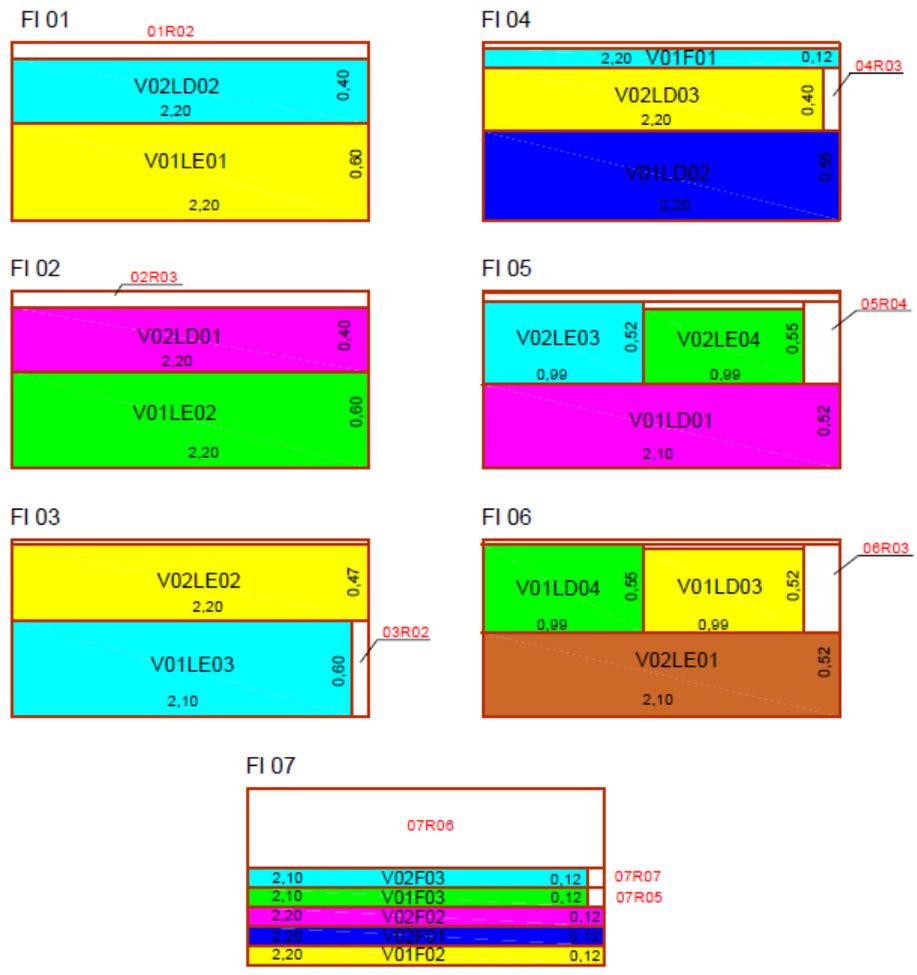


Figura 46: Diagramação final do plano de corte dos contraplacados.

A figura 46 apresenta a diagramação final do contraplacado para as vigas V1 e V2. Estes dados refletem apenas o que verificamos de forma direta em economia de contraplacado. O processo de fabrico e montagem também serão beneficiados de forma direta com a aplicação deste processo, pois as peças devidamente identificadas e as vigas detalhadas, facilitarão e muito os processos corte e na montagem.

CONCLUSÃO

A implementação de tecnologia que viabilize a otimização no processo produtivo de cofragem, é uma lacuna ainda pouco trabalhada nos softwares destinados ao dimensionamento de estruturas de betão.

Observa-se, a partir da análise com estudos correlatos, que esta tese contribui de maneira significativa para implantação no processo de otimização do plano de corte de cofragens em software de dimensionamento de vigas em betão. A disponibilidade deste tipo de recurso em softwares de estrutura para dimensionamento de peças de betão ainda não está disponível no mercado para uso.

Além disso, a identificação sistemática das peças constituintes em cada face da cofragem permite um acompanhamento preciso de cada elemento, desde sua criação no detalhamento até a etapa de fabrico. Neste contexto, foi desenvolvido um método para identificação de cada peça. Este sistema é baseado no local, nas dimensões e posicionamento de uso das peças levando em consideração inclusive, o método construtivo de montagem da cofragem para o qual a fôrma foi concebida, além de vários outros parâmetros configuráveis pelos projetistas atendendo suas necessidades.

Numa realidade corriqueira, atualmente no Brasil, observa-se que quem trabalha na execução de obras de pequeno e médio porte, fica sempre prejudicado, pois fica responsável pela “solução” dos projetos de cofragens destinadas a obra de betão. Isso ocorre porque os softwares destinados ao dimensionamento das peças de betão não fornecem detalhamentos das cofragens, e o softwares destinados a otimização de peças para móveis de madeira, estão voltados seguindo a realidade de cada peça do móvel, não podendo aplicar as cofragens.

Os softwares que trabalham com BIM, poderão implantar com relativa facilidade a metodologia aqui proposta, visto que, as alturas de cada cofragem, em cada vão das vigas, que são essenciais para o desenvolvimento desta metodologia seriam geradas automaticamente pelo software. A demais são pequenas rotinas de análise e ajustes. Com o BIM, o projetista não precisa fazer esta análise através dos cortes da estrutura de forma manual.

Esta solução terá melhor resultado se for implementada nos softwares de dimensionamento de vigas em betão, pois as dimensões definitivas das alturas das cofragens só serão definidas depois de definidas as alturas das vigas, posição da laje em relação da viga e altura das lajes. Cada detalhe da solução estrutural adotada terá influência direta nas alturas das cofragens.

Revit, Archicad ou outros softwares voltados para modelagem BIM, podem contribuir significativamente para além da representação dos elementos finais da obra. Eles podem, ainda, contemplar a identificação dos elementos do processo construtivo, como o escoramento e as cofragens. Este recurso reveste-se de grande importância,

especialmente para os usuários, podendo visualizar *in loco* toda a modelação, facilitando a execução do processo produtivo.

O BIM viabiliza para que esses softwares superem tais barreiras, produzindo modelos com informações sobre as etapas da fase de execução. Assim, esses componentes construtivos serão considerados, pelo sistema, elementos de caráter provisório, sendo suprimido após a execução do componente correspondente em betão.

Por falta de conhecimento, os profissionais de execução de obras ainda não têm usufruído deste recurso, por não entenderem de como o BIM é útil na fase de execução da obra, permitindo, inclusive, de forma notável a visualização (com animação) da evolução da obra, em 3D. Estes recursos são, sem dúvidas, de grande utilidade durante a execução.

Em função dessa deficiência de entendimento é que os modelos criados na fase de projeto contemplam apenas os elementos estruturais, facilitando o trabalho da modelação, porém, desprezando sua utilidade na questão do fabrico dos componentes estruturais.

Pode-se dizer que o BIM também é uma excelente ferramenta de suporte para execução de obras e em todo ciclo de vida dos projetos. Todavia via, isso só é possível caso os projetistas se disponham a produzir a modelação voltada para facilitar a execução, inserindo, em seus projetos, os componentes essenciais à produção *on site* - especificamente os escoramentos e as cofragens – motivando, assim, os profissionais da construção a usufruírem das potencialidades do BIM em fase de execução.

De modo geral, no mundo, verifica-se que a construção tem se tornado, cada vez mais, uma atividade de montagem. Tendo em vista que grande parte dos seus componentes são industrializados e produzidos fora do canteiro de obras (*off site*). No entanto, mesmo assim, um grande número de componentes ainda requer fabrico e/ou ajustes no próprio canteiro (*on site*). Verificamos isto com os componentes estruturais em betão, como fundações, pilares, vigas e etc., que de um modo geral ainda são produzidos *in loco*.

A utilização do BIM para auxiliar nas tarefas de construção *on site*, relativas ao fabrico de componentes estruturais de betão armado, poderá seguir duas vertentes:

- Vincular ferramentas de BIM diretamente a este objeto, introduzindo a possibilidade de criação de entidades, como o escoramento e a cofragem;
- Desenvolver aplicativos que possam introduzir as entidades necessárias, tratando adequadamente os elementos, importando estes a partir de um modelo criado em uma ferramenta BIM.

Essas duas vertentes de desenvolvimento em BIM são possíveis, embora a especificidade do pretendido leve a concluir que a segunda vertente seja a mais provável. Essa é, por certo, uma via de desenvolvimento deste tema, adequada a um trabalho científico mais amplo, desenvolvido por pessoas com conhecimentos mais sólido em informática que o autor do presente trabalho. A utilização do BIM na construção é relativamente nova e encontra-se em processo evolutivo, embora mais lento do que os otimistas admitiram inicialmente. Assim, o desenvolvimento de aplicativos BIM para tratar o tema da produção de cofragem, para betão armado fabricado na obra, talvez não seja tão rápido.

O uso de ferramentas mais populares entre as entidades executantes, brasileiras e portuguesas, como o Excel – mesmo que com apenas conhecimentos básicos – poderá constituir-se uma solução mais adequada atualmente; pois, permite seu uso com relativa facilidade por uma grande parte destes profissionais.

Dessa forma, planilhas de Excel ajudarão ao desenvolvimento do método aqui apresentado, quando a análise dos vãos das vigas for feita de forma manual, assim como foi no estudo de caso apresentado. Perspectiva-se, porém, algum desenvolvimento futuro para a ferramenta apresentada, nomeadamente no que se refere à utilização de outros potenciais do Excel não explorados. Essa é outra via de desenvolvimento deste tema, adequada à fase intercalar que vamos vivendo, anterior à generalização do uso do BIM para este efeito. Portanto, é necessário cautela para não tornar complexa a utilização da ferramenta, comprometendo a possibilidade de tornar sua utilização alargada, como pretendido.

Salientamos que a aplicação desta metodologia implicará diretamente em vários fatores, dos quais destacamos:

- Redução do desperdício de contraplacado;
- Economia nos custos de aquisição de material;
- Menor custo de produção da cofragem;
- Melhor e mais rápida execução no fabrico das cofragens;
- Menor tempo para execução da obra;
- Maior rendimento de mão de obra;
- Economia no custo de mão de obra e seus encargos;
- Uso da madeira de forma mais ecológica.

Com a aplicação desta metodologia, a empresa se tornará mais competitiva, por poder praticar melhores preços de mercado, em função do seu melhor aproveitamento de material, gerando menos desperdício e maior rendimento de mão de obra, diminuindo o tempo de execução da obra.

Com a implantação desta solução no software de dimensionamento, despertará no engenheiro calculista maior interesse em optar por esta solução, tendo em vista que isto fará um grande diferencial na apresentação final de seu projeto, gerando economia ao seu cliente.

Baseado nesta metodologia, além das possibilidades que já citamos ao longo do texto, podemos sugerir para trabalhos futuros:

- Implementação esta solução de plano de corte e detalhamento das cofragens, por parte das empresas de software, promovendo assim um diferencial econômico significativo no resultado de seus projetos;
- O detalhamento das cofragens pode ser inserido em plataforma BIM, viabilizando inclusive o desenvolvimento do planejamento de execução da obra e o reaproveitamento das cofragens;

- Outros estudos de proposta de plano de corte e detalhamento das cofragens, podem ser desenvolvidos e implementados em software de dimensionamento de estruturas, como por exemplo plano de corte e diagramação para as cofragens de pilares e de lajes maciça;
- Outros algoritmos de planejamento de corte podem ser desenvolvidos usando outros critérios para este uso específico;
- Criação de algoritmos para produção/corte dos outros componentes de madeira da cofragem.

Por não se ter encontrado, no decurso da pesquisa realizada, *software* comercial que apresente detalhamento do plano de corte e diagramação de cofragens de vigas, pretende-se desenvolver, juntamente com uma *start up* da área de informática, um aplicativo que venha a ser uma ferramenta para apoiar este trabalho, na convicção da respetiva utilidade. Desde que o aplicativo seja de fácil manuseio, poderá constituir um *top up* dos *softwares* de estruturas, especialmente se trabalhar integrado ao BIM, usando o IFC da solução estrutural, porque proporcionará um enorme avanço à economia de material, de mão de obra e de tempo de execução da obra.

BIBLIOGRAFIA

- Assahi, P. N. (labelelabelmonthlabelday). Sistema de fôrma para estrutura de concreto. SIMPÓSIO SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO, 5.
- Barros Neto, J. d. P., Formoso, C. T. & Fensterseifer, J. E. (labelelabelmonthlabelday). O conteúdo da estratégia de produção: uma adaptação para a construção de edificações. Ambiente construído: revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Porto Alegre, RS. Vol. 2, n. 1 (jan./mar. 2002), p. 39-52.
- Biotto, C. N., Formoso, C. T. & Isatto, E. L. (labelelabelmonthlabelday). Uso de modelagem 4D e Building Information Modeling na gestão de sistemas de produção em empreendimentos de construção. Ambiente Construído, 15(2), 79–96.
- Cabral, T. A. M. (labelelabelmonthlabelday). Acompanhamento de obra: otimização de soluções: técnicas de cofragem (Atlântico Estoril Residence) (tese de doutoramento, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa).
- Castro, J. J. V., Castro, J. A., de Almeida Uzac, R. & de Freitas, A. H. C. (labelelabelmonthlabelday). Forms for Concrete: Comparative Analysis Between Mixed Forms and Conventional Forms with a Reference to Application In Beams. Revista Pensar, 5(1).
- Ching, F. D., Jarzombek, M. M. & Prakash, V. (labelelabelmonthlabelday). A global history of architecture. John Wiley & Sons.
- Cype. (labelelabelmonthlabelday). Gerador de Preços Cype - Brasil. retrieved from http://www.brasil.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=1%7C0_0_0_1_3%7C0%7CEHV011%7Cenc_ehv_011%5C%20encofrado:c4_0_1c3_0_1_0_0_18_130_0_1_0_1_3_0_0_5_0_0_10
- Cype. (labelelabelmonthlabelday). Gerador de Preços Cype - Brasil. retrieved from http://www.brasil.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=6%7C0_0_0_1_3%7C0%7CEHV011%7Cenc_ehv_011%5C%20encofrado:c4_0_1c3_0_1_0_0_18_130_0_1_0_1_3_5c4_0_10%7D
- de Brito e Pedro Paulo, J. (labelelabelmonthlabelday). Sistemas Racionalizados de Cofragens (tese de mestrado, Instituto Superior Técnico).
- Di Mauro, F. J. P. e. o. (labelelabelmonthlabelday). Madeira na construção civil: da ilegalidade à certificação.
- Dikmen, M., S Umit e Sonmez. (labelelabelmonthlabelday). An artificial neural networks model for the estimation of formwork labour. Journal of Civil Engineering and Management, 17(3), 340–347.
- dos Santos, R. E. (labelelabelmonthlabelday). A Armação do Concreto no Brasil: história da difusão da tecnologia do concreto armado e da construção de sua hegemonia.
- Elbeltagi, E. E., Hosny, O. A., Elhakeem, A., Abdelrazek, M. E. & El-Abbasy, M. S. (labelelabelmonthlabelday). Fuzzy logic model for selection of vertical formwork systems. Journal of Construction Engineering and Management, 138(7), 832–840.

- Fajersztajn, F. R., Hermes e Landi. (labelyearlabelmonthlabelday). Formas para concreto armado: aplicação para o caso do edifício.
- Hack, N. P. (labelyearlabelmonthlabelday). Mesh Mould: A Robotically Fabricated Structural Stay-in-Place Formwork System (tese de doutoramento, ETH Zurich).
- Hyun, C., Jin, C., Shen, Z. & Kim, H. (labelyearlabelmonthlabelday). Automated optimization of formwork design through spatial analysis in building information modeling. *Automation in Construction*, 95, 193–205.
- Jarkas, A. (labelyearlabelmonthlabelday). Analysis and Measurement of Buildability Factors Affecting Edge Formwork Labour Productivity. *Journal of Engineering Science & Technology Review*, 3(1).
- Kaveh, A. S. M., A e Abadi. (labelyearlabelmonthlabelday). Harmony search algorithm for optimum design of slab formwork. *Iranian Journal of Science and Technology*, 34(B4), 335.
- Ko, J.-D., Chien-Ho e Kuo. (labelyearlabelmonthlabelday). Making Formwork Design Lean. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 9(1), 29–47.
- Lukka, K. (labelyearlabelmonthlabelday). The constructive research approach. Case study research in logistics. *Publications of the Turku School of Economics and Business Administration, Series B*, 1(2003), 83–101.
- Matos, V. H. M. d. (labelyearlabelmonthlabelday). Viabilidade de substituição da madeira natural e compensada pela madeira plástica para uso temporário em obra situada no município de Osasco/SP.
- Meadati, P., Irizarry, J. & Aknoukh, A. (labelyearlabelmonthlabelday). BIM and concrete formwork repository. Em *Proceedings 47th ASC annual international conference, associated schools of construction, Omaha, US*.
- Miana, E. H. (labelyearlabelmonthlabelday). Aplicação do Sistema MRP à Construção Civil: Estudo de Caso Empreendimento Bossa Nova. Juiz de Fora-MG.
- Müller, G. L. (labelyearlabelmonthlabelday). Dimensionamento de fôrmas de madeira para estruturas de concreto armado: uma proposta teórica (tese de mestrado, Univates).
- Nazar, N. (labelyearlabelmonthlabelday). Fôrmas e escoramentos para edifícios: critérios para dimensionamento e escolha do sistema. Pini.
- NBR15696, A. (labelyearlabelmonthlabelday). Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto – Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, BR.
- Neto, R. e. o., Neiva e da Silva. (labelyearlabelmonthlabelday). O projeto da produção de formas para estrutura de concreto armado incorporando BIM.
- Paulson Jr, B. C. (labelyearlabelmonthlabelday). *Computer applications in construction*. McGraw-Hill, Inc.
- Peurifoy, G. D., Robert Leroy e Oberlender. (labelyearlabelmonthlabelday). *Formwork for concrete structures* (4th).
- Pires, R. P. O. (labelyearlabelmonthlabelday). Análise de diferentes sistemas de cofragem para realização de edifícios com estrutura parede.
- Ruschel, R. C. e. o. (labelyearlabelmonthlabelday). BIM aplicado ao projeto de fôrmas de madeira em estrutura de concreto armado. *Ambiente Construído*, 15(4), 183–201.
- Salgado, J. C. P. (labelyearlabelmonthlabelday). *Técnicas e Práticas Construtivas: Da implantação ao acabamento*. Saraiva Educação SA.

- Veenendaal, D., West, M. & Block, P. (labelyearlabelmonthlabelday). History and overview of fabric formwork: using fabrics for concrete casting. *Structural Concrete*, 12(3), 164–177.
- Vieira, D. R., Calmon, J. L. & Faroni, M. C. C. (labelyearlabelmonthlabelday). Building Information Modeling (BIM) in Brazil's Architecture, Engineering e Construction (AEC) Industry: A Review and a Bibliometric Study. *The Journal of Modern Project Management*, 5(1).