

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Luiz Gustavo Mallmann Bianchetti**

**USO DE INDICADORES DE DESEMPENHO PARA  
ESCOLHA DE SISTEMAS DE FÔRMAS**

Porto Alegre  
Dezembro de 2018

**LUIZ GUSTAVO MALLMANN BIANCHETTI**

**USO DE INDICADORES DE DESEMPENHO PARA  
ESCOLHA DE SISTEMAS DE FÔRMAS**

Trabalho de Diplomação apresentado à Comissão de Graduação  
de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade  
Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para  
obtenção do título de Engenheiro Civil

**Orientador: Professor Luís Carlos Bonin**

Porto Alegre  
Dezembro de 2018

**LUIZ GUSTAVO MALLMANN BIANCHETTI**

**USO DE INDICADORES DE DESEMPENHO PARA  
ESCOLHA DE SISTEMAS DE FÔRMAS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II – Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, dezembro de 2018

Professor Luís Carlos Bonin

Mestre pela UFRGS

Orientador

**BANCA EXAMINADORA**

**Professor Luís Carlos Bonin (UFRGS)**

Mestre pela UFRGS

**Professor Ruy Alberto Cremonini (UFRGS)**

Doutor pela USP

**Eng. Ernani Freitas de Magalhães**

Mestre pela UFRGS

Dedico este trabalho à minha irmã, Priscila, exemplo de mulher forte e que luta pelos próprios sonhos; à minha mãe, Regina, que sempre me apoiou e me ensinou a acreditar no meu potencial; ao meu pai, Sextilio, que me ensinou a ter serenidade e a usar a sabedoria.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Luís Carlos Bonin, orientador deste trabalho, por toda a contribuição e pelo apoio durante os semestres de desenvolvimento deste estudo. Acredito que após todo um ano de conversas e de assessoramentos nos tornamos bons amigos.

Agradeço à professora Angela Borges Masuero por abrir as portas desde o princípio da graduação, por me acolher como bolsista de iniciação científica, pelos ensinamentos passados dentro e fora da sala de aula e por ser grande amiga e conselheira. Tenho muita gratidão por tudo que já fizestes por mim.

Agradeço à professora Lais Zucchetti, que me ajudou quando fui bolsista e quando fui aluno. Sempre presente e solícita, desde o início se tornou uma grande amiga e contribuiu na minha formação de maneira muito especial.

Agradeço aos demais companheiros do NORIE, com quem dividi bons momentos e tive grandes aprendizados durante e após o período de iniciação científica.

Agradeço à minha família, Regina, Sextilio e Priscila, pelo apoio e amor incondicional durante a caminhada. Pensar em vocês sempre me deu muita força para concluir esta etapa.

Agradeço aos grandes e bons amigos que fiz durante a graduação, Humberto, Mauricio, Gabriela, Sibeli, Elias, Barbara, Carol, Lucas V., Lucas H., Eduardo K., Arthur, Bruno M.. Vocês tornaram a caminhada mais leve e divertida.

Agradeço ao meu amigo Flávio, que foi um grande reencontro que Porto Alegre me propiciou. Sempre esteve presente em momentos bons e ruins. Obrigado pelos momentos de diversão e de aconselhamentos.

Agradeço ao meu amigo e colega Davi, que contribui de maneira muito importante na minha formação como engenheiro. Talvez não me sentiria tão preparado para sair da faculdade se não tivesse enfrentado teus questionamentos.

Agradeço às minhas amigas de Passo Fundo, Victoria, Bruna Z., Bruna B., Letícia, Luiza, Alana e Stéfani, e às amigas da República Feminista da Tundra Siberiana, Solana e Juliane. Se sou um homem um pouquinho melhor hoje, isso se deve MUITO à presença de vocês em minha vida. Vocês são muito importantes para mim. Muito obrigado.

Agradeço também aos demais amigos que porventura deixei de mencionar, mas que estiveram presentes nos momentos marcantes de minha caminhada. Muito obrigado.

Ser como o rio que deflui  
Silencioso dentro da noite.  
Não temer as trevas da noite.  
Se há estrelas nos céus, refleti-las.  
E se os céus se pejam de nuvens,  
Como o rio as nuvens são água,  
Refleti-las também sem mágoa  
Nas profundidades tranquilas.

*(O Rio, Manuel Bandeira)*

## RESUMO

Sistemas de fôrmas apresentam grande importância na qualidade final de edificações com estrutura em concreto armado moldado *in loco*, além de representar expressiva porcentagem do custo total de execução e do caminho crítico do cronograma físico. Este trabalho apresenta uma proposta de ferramenta que visa fundamentar a escolha de um sistema de fôrmas diante de uma diversidade de opções. Para o desenvolvimento da ferramenta foi realizada uma pesquisa bibliográfica para identificar os principais critérios na seleção de sistemas de fôrmas e os indicadores associados a estes critérios. A ferramenta utiliza um método de tomada de decisão de critérios múltiplos, a Análise Hierárquica de Processos (AHP), com a finalidade de identificar os critérios prioritários na seleção de fôrmas. A AHP utiliza uma matriz para realizar comparações paritárias entre os critérios e tem como resultado um autovetor que representa as importâncias de cada critério. Outro ponto interessante é que a AHP analisa a consistência com que as comparações foram realizadas, sendo que o autovetor só podem ser utilizado se a taxa de consistência (CR, *consistency ratio*) das comparações for adequada. A ferramenta também possui uma etapa de eliminação de sistemas que não atendam aos critérios julgados essenciais, e uma etapa de classificação dos sistemas com auxílio de indicadores e das importâncias obtidas no autovetor. Após a estruturação da ferramenta foi realizada uma breve entrevista com um profissional especialista em sistemas de fôrmas objetivando aplicar a ferramenta e confirmar a importância dos critérios utilizados na ferramenta. A taxa de consistência (CR) da aplicação feita pelo especialista indicou que as comparações não foram totalmente coerentes entre si e poderiam ser melhoradas com uma maior familiarização do profissional com a ferramenta, com algumas melhorias no *layout* e com algumas alterações no método de cálculo utilizado.

Palavras-chave: seleção de fôrmas para concreto; análise multicritério; indicadores.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação Gráfica do Sequenciamento do Trabalho .....	4
Figura 2 - Pranchas de pinus (Fonte: Armazém da Madeira - Tábuas de pinus para obras, 2004)....	7
Figura 3 - Orientação da colagem das chapas de compensado (ARAÚJO, 2008) .....	8
Figura 4 - Chapa de Compensado Resinado (Fonte: site da Formaplan - Compensado Naval Formaplan) .....	8
Figura 5 - Chapa de Compensado Plastificado (Fonte: site da Formaplan - Compensado Plastificado Formaplan) .....	8
Figura 6 - Fôrma de OSB para estruturas de concreto (Fonte: Beija Flor Madeiras).....	9
Figura 7 – Sistema de Fôrma de Aço (Fonte: Alibaba - New type steel formwork concrete wall forming systems, 2018).....	10
Figura 8 – Sistema de Fôrma de alumínio (Fonte: Constata Construções LTDA - O que você deve saber sobre fôrmas para concreto).....	10
Figura 9- Laje nervurada com cubetas em PVC (Fonte: Catálogo Digital de Detalhamento da Construção do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Feevale – Lajes Nervuradas).....	11
Figura 10 - Plástico Reforçado com Fibras (Fonte: For construction Pros).....	12
Figura 11 - Fôrmas de papelão utilizadas para pilares (Fonte: Tubominas) .....	12
Figura 12 -Viga de Madeira VM20 (Fonte: ULMA, catálogo ENKOFLEX, 2018).....	13
Figura 13 - Sistema misto com escoramento metálico e vigas de madeira (Fonte: ULMA, catálogo ENKOFLEX, 2018) .....	14
Figura 14 - Sistema com escoramento metálico e vigas metálicas (Fonte: ULMA, catálogo Horizontal formwork with BTM beams, 2018).....	14
Figura 15 - Tripé de apoio para escoras (Fonte: ULMA, catálogo Horizontal formwork with BTM beams, 2018) .....	15
Figura 16 - Árvore de decisão da estrutura hierárquica do AHP - Fonte: Marins et al, 2009, apud Godoi, 2014.....	18
Figura 17 – Modelo de Sistema de Medição (LANTELME et al., 2001, adaptado de SINK; TUTTLE, 1993) .....	24
Figura 18 – Importância Relativa média dos Indicadores do Grupo Projetos (LANTELME, 1994).....	25
Figura 19 – Desabamento parcial de sistemas de fôrmas (Feran, 2012) .....	28
Figura 20 – Vazamento de concreto em pilar de ponte - Fonte: Youtube. Visto em novembro de 2018.....	32
Figura 21 – Superfície de fôrma em bom estado de conservação (LIBESSART et al., 2014) .....	39
Figura 22 – Superfície de fôrma em estado deteriorado de conservação (LIBESSART et al., 2014) .....	39
Figura 23 – Desempenho Sustentável de Sistemas de fôrmas de Madeira (AL-ASHWAL, 2017). .....	41
Figura 24 – Organograma da estrutura da ferramenta - Fonte: produzido pelo autor .....	43
Figura 25 – Interface da ferramenta na composição das notas dos sistemas de fôrmas com indicadores .....	56
Figura 26 – Representação gráfica da composição de nota para preço (Exemplo).....	58
Figura 27 – Julgamentos realizados pelo especialista .....	61
Figura 28 – Matriz dos julgamentos realizados pelo especialista .....	62
Figura 29 – Resultados do julgamento do especialista.....	62
Figura 30 – Julgamentos consistentes .....	63
Figura 31 – Matriz dos julgamentos consistentes .....	64
Figura 32– Resultados do julgamento consistente .....	64
Figura 33 – AHP Online Calculator – Preenchimento consistente .....	65
Figura 34 – AHP Online Calculator – Preenchimento inconsistente.....	66

Figura 35 – Layout para realizar julgamentos AHP Online Calculator .....	67
Figura 36 - Apontamento de critérios para melhorar consistência.....	68

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sequenciamento das etapas da AHP (SAATY, 2013, apud GODOI, 2014) .....	18
Tabela 2 – Escala de intensidade de importâncias (SAATY, 2013, apud GODOI, 2014).....	19
Tabela 3 – Exemplo de preenchimento da AHP (GODOI, 2014).....	19
Tabela 4 – Soma dos termos das colunas (GODOI, 2014) .....	20
Tabela 5 – Normalização das colunas (GODOI, 2014).....	20
Tabela 6 – Cálculo do autovetor (GODOI, 2014).....	20
Tabela 7 – Índice de consistência aleatório (SAATY, 2013 apud GODOI, 2014) .....	21
Tabela 8 – Classes de consistência de concreto em função do abatimento em mm (ABNT NBR NM 67, 1998) .....	29
Tabela 9 – Propriedades geométricas dos compensados (ABIMCI, 2002).....	31
Tabela 10 – Fabricação de Elementos de Fôrma - Composição Desonerada (dados retirados do SINAPI, 2018).....	33
Tabela 11 – Estimativa de consumo de material por elemento de fôrma. (Nazar, 2007).....	33
Tabela 12 – Preço ponderado pelas áreas de material. Fonte: produzida pelo autor.....	33
Tabela 13 – Escala de intensidade de importâncias (Adaptado de SAATY, 2013) .....	53
Tabela 14 – Tabela de julgamento de critérios.....	54
Tabela 15 – Matriz de julgamentos não preenchida.....	54
Tabela 16 - Porcentagem da importância relativa dos itens do autovetor. ....	56

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Norma DIN 18.218 (1980) para pressão nos pilares – velocidade de enchimento > 0,5 m/h .....	29
Gráfico 2 – Diagrama de pressões de concreto ( $P_b$ ) e a altura hidrostática correspondente ( $h_s$ ) em função da velocidade de concretagem ( $v_b$ ) (NBR 15.696, ABNT, 2009) .....	30
Gráfico 3 – Proposta de atribuição de nota para o indicador de preço (%).....	46
Gráfico 4 – Proposta de atribuição de nota para o indicador de número de reusos (%).....	47
Gráfico 5 – Proposta de atribuição de nota para o indicador de distância de fornecedor (%) .....	48
Gráfico 6 – Proposta de atribuição de nota para o indicador de qualidade da assistência técnica (%) .....	49
Gráfico 7 – Proposta de atribuição de nota para o indicador de facilidade de manuseio (%).....	50
Gráfico 8 – Proposta de atribuição de nota para o indicador de facilidade de montagem (%) .....	51
Gráfico 9 – Proposta de atribuição de nota para o indicador de facilidade de desforma (%) .....	52

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Índice de consistência (SAATY, 2013).....	21
Equação 2 – Taxa de Consistência (SAATY, 2013).....	22
Equação 3 - Área de Contato das fôrmas por Área Construída (LANTELME et al., 2001).....	25
Equação 4 - Área de fôrma por área estruturada (PERES, 2013). ....	26
Equação 5 - Área de fôrma por volume de concreto (PERES, 2013). ....	26

## LISTA DE SIGLAS

ABIMCI – Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AHP – Análise Hierárquica de Processos

CI – Índice de consistência

CR – Taxa de consistência

CLT – Consolidação das Leis do Trabalho

RI – Índice de consistência aleatório

Km – Quilômetros

Kg – Quilograma

kN – Quilo Newton

mm – Milímetros

NBR – Norma Brasileira

NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health

NR – Norma Regulamentadora

OSB - Oriented Strand Board

RS – Rio Grande Do Sul

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

$\lambda_{\text{máx}}$  – Autovalor (valor principal de Eigen)

# SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	1
2.	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	3
2.1.	Objetivo Principal .....	3
2.2.	Objetivos Secundários.....	3
2.3.	Delimitações e Limitações .....	3
2.1.	Delineamento .....	3
3.	SISTEMA DE FÔRMAS .....	5
3.1.	A importância dos sistemas de fôrmas .....	5
3.2.	Elementos de um sistema de fôrmas .....	6
3.2.1.	Molde .....	6
3.2.1.1.	Madeira Serrada .....	7
3.2.1.2.	Madeira Industrializada.....	7
3.2.1.2.1.	Chapas Compensadas .....	7
3.2.1.2.2.	Chapas de Oriented Strand Board (OSB).....	9
3.2.1.3.	Metálica.....	9
3.2.1.3.1.	Aço .....	10
3.2.1.3.2.	Alumínio.....	10
3.2.1.4.	Poliméricos.....	11
3.2.1.4.1.	Não reforçados .....	11
3.2.1.4.2.	Reforçados com Fibra .....	11
3.2.1.5.	Papelão .....	12
3.2.2.	Estrutura da fôrma .....	12
3.2.2.1.	Escoramentos, reescoramentos e escoramentos remanescentes .....	13
3.2.2.2.	Acessórios .....	14
3.3.	Qualidade do Projeto de um sistema de fôrmas .....	15
4.	DECISÃO DE CRITÉRIOS MÚLTIPLOS .....	17
5.	INDICADORES E MEDIÇÃO DE DESEMPENHO.....	23
6.	CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DO SISTEMA DE FÔRMAS .....	27
6.1.	Critérios Essenciais .....	27
6.1.1.	Resistência e Rigidez .....	27
6.1.2.	Estanqueidade.....	31
6.2.	Critérios com possibilidade de implementação de indicadores.....	32
6.2.1.	Custos.....	32

6.2.2.	Reaproveitamento.....	33
6.2.3.	Disponibilidade Regional de Materiais .....	34
6.2.4.	Assistência técnica, atendimento e qualidade dos serviços oferecidos .....	34
6.2.5.	Produtividade .....	36
6.2.6.	Facilidade de Manuseio.....	36
6.2.7.	Facilidade de Montagem .....	37
6.2.8.	Facilidade de desforma.....	38
6.3.	Outros critérios.....	38
6.3.1.	Propriedades da Superfície.....	38
6.3.2.	Segurança .....	40
6.3.3.	Sustentabilidade .....	40
7.	ESTRUTURA DA FERRAMENTA .....	42
7.1.	Definição dos Critérios para seleção de sistemas de fôrmas .....	43
7.1.1.	Critérios Eliminatórios .....	43
7.1.1.1.	Capacidade de Carga.....	44
7.1.1.2.	Estanqueidade.....	44
7.1.2.	Critérios de Classificação.....	44
7.1.2.1.	Preço.....	45
7.1.2.2.	Reaproveitamento.....	46
7.1.2.3.	Disponibilidade Regional de Material.....	47
7.1.2.4.	Assistência Técnica, atendimento e qualidade dos serviços oferecidos .....	48
7.1.2.5.	Facilidade de Manuseio.....	49
7.1.2.6.	Facilidade de Montagem .....	50
7.1.2.7.	Facilidade de desforma.....	51
7.2.	Definição de estratégias (AHP).....	52
7.2.1.	Escala de comparação utilizada.....	52
7.2.2.	Comparação de estratégias .....	53
7.2.3.	Transferência de dados para a matriz .....	54
7.2.4.	Análise de Consistência .....	55
7.3.	Composição de nota a partir de indicadores e autovetor .....	55
8.	ENTREVISTA .....	59
9.	RESULTADOS.....	61
9.1.	Aplicação da ferramenta.....	61
9.2.	Comparação com outras ferramentas disponíveis .....	64
10.	CONCLUSÕES.....	69
	REFERÊNCIAS .....	71
	APÊNDICE A - INTERFACE DA FERRAMENTA .....	75

APÊNDICE B.1 - FÓRMULAS DAS CÉLULAS .....	76
APÊNDICE B.2 - FÓRMULAS DAS CÉLULAS .....	77
APÊNDICE C - ROTEIRO PARA ENTREVISTA.....	78
ANEXO A - COMPOSIÇÕES DE CUSTO (SINAPI).....	79

## 1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um segmento industrial relevante na economia de qualquer país, tanto pela quantidade de empreendimentos lançados quanto pela quantidade de material, equipamentos e mão de obra necessários. Essa relevância econômica motiva a busca pela qualidade associada à redução de custos.

Maranhão (2000) ressalta que a busca pela qualidade é fator primordial à sobrevivência das empresas em mercados mais competitivos. Com o objetivo de atingir novos patamares de controle de qualidade e produtividade já alcançados em outros segmentos industriais, as empresas de construção civil têm utilizado cada vez mais ferramentas e procedimentos derivados da Engenharia de Produção e da Administração.

Lantelme (1994) afirma que o crescimento da competitividade estimulou as empresas de construção a adotar Programas de Melhoria de Qualidade e de Produtividade, os quais requerem avaliação sistemática de desempenho para adequar o desenvolvimento e planejamento estratégico e operacional. Quando novos patamares de qualidade e produtividade são alcançados, por sua vez, há um favorecimento do balizamento de metas, da identificação de ações prioritárias e de problemas, da realização do controle e da melhoria dos processos. Nesse enfoque, é muito disseminada a utilização de indicadores para uma rápida leitura e análise da qualidade e desempenho do andamento de atividades e, por consequência, há uma clareza maior na tomada de decisões.

O que se observa é que boa parte dos indicadores foi desenvolvida para medir o desempenho de equipes e a realização de atividades. Nesse sentido, foram elaborados indicadores para avaliar a qualidade de algumas etapas do processo de produção das edificações, como, por exemplo, a etapa de projetos, sendo avaliados principalmente projetos arquitetônicos, projetos de instalações elétricas e hidrossanitárias e, também, projetos estruturais.

Um dos fatores mais determinantes da qualidade final das edificações é a estrutura. A estrutura dá suporte, através de sua resistência e rigidez, e situa espacialmente os demais subsistemas, através de sua geometria. Em edificações de concreto armado, a falta de qualidade pode ter origem na falta de qualidade do sistema de fôrmas<sup>1</sup>, entre outros fatores.

Em um contexto histórico, Fajersztajn e Landi (1992) apontam que antes da década de 60 não era difundida a prática e o estudo de um sistema de fôrmas. Dessa maneira, as fôrmas não eram consideradas no projeto, sendo responsabilidade atribuída à experiência dos mestres de obra ou encarregados de carpintaria. A partir da década de 60 ocorreram mudanças importantes na direção da racionalização, a exemplo do uso de chapas de madeira compensada. Para os autores, a racionalização dos sistemas de fôrmas ocorreu

---

<sup>1</sup> A utilização do acento circunflexo diferencial é facultativa segundo o Novo Acordo Ortográfico em vigor desde 2009. Neste trabalho é utilizada a acentuação para distinguir a palavra fôrma, com sentido de molde, da palavra forma, significando feito ou aspecto físico dos objetos.

paralelamente ao incremento da industrialização do país e das atividades de construção. Assahi (2007) cita como mudanças impactantes o uso de peças com dimensões definitivas, a especificação da sequência de montagem e o uso da inspeção.

Na determinação do sistema de fôrmas a ser utilizado em uma edificação deve ser almejado o atendimento de critérios rigorosos, obtidos através de condicionantes de prazos, de custos, de qualidade física e de facilidade executiva, sendo possível, inclusive, o uso de indicadores para facilitar esta análise.

Este trabalho apresenta uma proposta de ferramenta que visa identificar os principais critérios de seleção de sistemas de fôrmas e, com o uso de indicadores associados a estes critérios, fundamentar a escolha de um equipamento diante de uma diversidade de opções. Para compreender o desenvolvimento do trabalho, os capítulos estão organizados da seguinte maneira:

a. Sistemas de fôrmas apresenta uma introdução com a importância dos sistemas de fôrmas na construção e exemplifica alguns elementos constituintes;

b. Decisão de critérios múltiplos introduz a Análise Hierárquica de Processos (AHP), suas principais características e o método de cálculo adotado neste trabalho;

c. Indicadores e medição de desempenho expõe a utilização de indicadores na indústria da construção civil e exemplifica como é feita a seleção de indicadores;

d. Critérios de seleção do sistema de fôrmas une conceitos do capítulo de Decisão de critérios múltiplos e de Indicadores e medição de desempenho com a intenção de identificar os principais critérios utilizados na seleção de sistemas de fôrmas e os indicadores associados a estes critérios;

e. Estrutura da ferramenta explica como a ferramenta foi organizada, como a AHP foi incorporada na definição dos critérios mais importantes e como os indicadores associados aos critérios foram utilizados na seleção de sistemas de fôrmas;

f. Entrevista apresenta uma breve entrevista com um profissional especialista em sistemas de fôrmas, em que foi confirmada a relevância dos critérios encontrados na revisão bibliográfica na seleção de equipamentos;

g. Resultados apresenta a aplicação da ferramenta com o especialista e fez uma breve discussão sobre os resultados da AHP;

h. Conclusões é um apanhado geral sobre o desenvolvimento da ferramenta, os resultados da aplicação e a importância da mesma.

## 2. ESTRUTURA DO TRABALHO

### 2.1. Objetivo Principal

Propor uma ferramenta que auxilie na escolha do sistema de fôrma através da ponderação de critérios relevantes e do uso de indicadores associados a estes critérios.

### 2.2. Objetivos Secundários

Identificar os principais critérios que podem ser utilizados no processo de escolha de fôrmas.

Definir indicadores associados aos principais critérios de escolha de sistema de fôrmas para estruturas convencionais de concreto armado.

Verificar com profissional especializado no projeto de sistemas de fôrmas quais critérios e indicadores encontrados na bibliografia são utilizados na prática.

### 2.3. Delimitações e Limitações

Estudo concentrado em características de sistemas de fôrmas para estruturas em concreto armado convencional moldado in loco e seus elementos (pilar, viga e laje) em edifícios multipavimentos.

### 2.1. Delineamento

O trabalho foi realizado de acordo com as etapas:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) formulação preliminar da ferramenta;
- c) elaboração de roteiro para entrevista com especialista;
- d) entrevista com especialista em sistemas de fôrmas;
- e) revisão da ferramenta a partir das respostas da entrevista;
- f) aplicação experimental da ferramenta;
- g) análise dos resultados.

A primeira etapa consistiu na **pesquisa bibliográfica** dos principais critérios com possibilidade de uso na seleção de sistemas de fôrmas e dos possíveis indicadores úteis à escolha do sistema de fôrmas, associados a estes critérios. Para contemplar todos os critérios citados com uma base teórica, foi necessária uma pesquisa extensa em diversos trabalhos não voltados diretamente para a construção civil e, mais especificamente, para

sistemas de fôrmas, mas que contribuíram igualmente para o embasamento teórico do trabalho.

A partir da pesquisa bibliográfica, foi iniciada a **formulação preliminar da ferramenta**, com base em ferramentas de tomada de decisão já utilizadas na engenharia de produção. Com a ferramenta inicialmente formulada **foi elaborado um roteiro** com questões pertinentes a aspectos técnicos e práticos de sistemas de fôrmas, o qual foi aplicado em uma **entrevista com um especialista em sistemas de fôrmas**.

A entrevista forneceu **diretrizes para a revisão da ferramenta**. Em seguida, foi feita uma **aplicação experimental da ferramenta**, com posterior **análise dos resultados**.

A figura 1 representa graficamente o sequenciamento do trabalho.

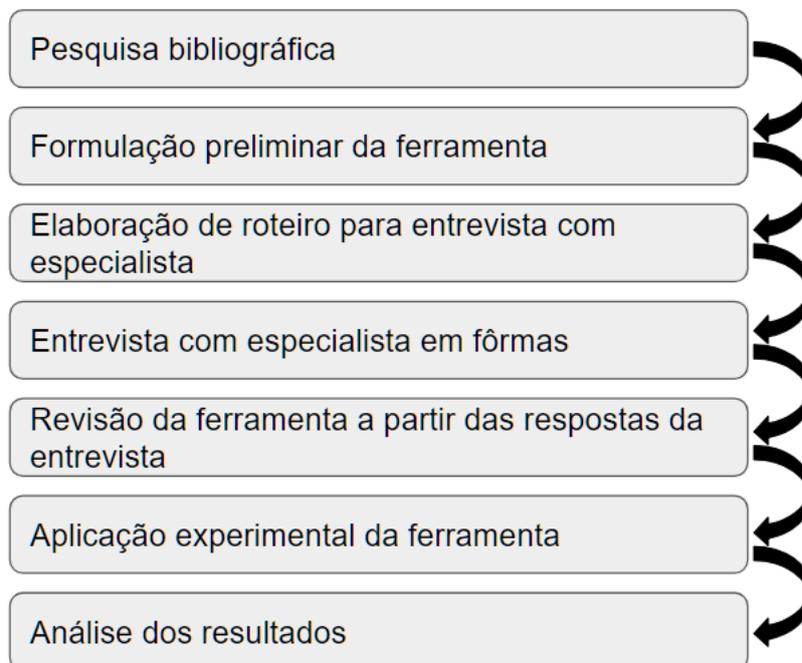


Figura 1 – Representação Gráfica do Sequenciamento do Trabalho

### 3. SISTEMA DE FÔRMAS

#### 3.1. A importância dos sistemas de fôrmas

Segundo Assahi (2007) e corroborado por Peres (2013), o sistema de fôrmas dá início a todo o processo de construção de um empreendimento, servindo de referência para os demais subsistemas que o seguirão ao estabelecer e padronizar o grau de excelência que deve ser aplicado na execução. Para isso, os sistemas de fôrmas devem apresentar rigidez suficiente para que não ocorram deformações dos moldes e para garantir que sejam atendidas as especificações geométricas do concreto no estado endurecido (FAJERSZTAJN E LANDI, 1992).

No aspecto econômico, segundo Albuquerque (1999), uma estrutura convencional em uma edificação de concreto armado pode representar de 15 a 20% do custo do total da obra. Maranhão (2000) indica um percentual aproximado de 20% do custo total da obra voltado à execução da estrutura, desse montante o autor aponta uma participação de 40% da execução de fôrmas. Assahi (2007) cita que o custo das fôrmas é equivalente de 5% a 8% do custo total da obra, enquanto Maranhão (2000) indica uma variação de 8 a 12% do custo.

Segundo Maranhão (2000), a economia advém desde o projeto da estrutura e deve continuar pelo planejamento do sistema de fôrmas para estruturas de concreto. Para Fajersztajn e Landi (1992), a economia é atingida não ao se optar pelo menor custo, e sim pela busca de sistemas bem modulados que permitam a reutilização, a facilitação da montagem e desmontagem e com a minimização de danos aos componentes. Assahi (2007) acrescenta que a fôrma pode aumentar os custos da estrutura em casos de retrabalhos e de falta de qualidade geométrica. O autor também observa que “otimizar a fôrma deve significar otimizar a execução do empreendimento” (ASSAHI, 2007, p. 5).

É salientado por Peres (2013, p. 25) que a proporção do custo atribuída ao sistema de fôrmas varia conforme “o tipo de material, o prazo de execução, os equipamentos utilizados e a produtividade da mão de obra”. Maranhão (2000, p. 5) frisa que “o alto custo inicial dos materiais, como, por exemplo, as fôrmas metálicas, podem ser diluídos em razão do grande número de utilizações por elas obtido”. No mesmo sentido também afirma Peres (2013) que o planejamento das fôrmas deve levar em consideração a maximização do reaproveitamento para atender ao critério econômico.

Ressaltando ainda a importância dos sistemas de fôrmas, Assahi (2007) afirma que aproximadamente 50% do prazo total de execução de um empreendimento é destinado à execução da estrutura de concreto armado e, dessa parcela de prazo, Maranhão (2000) cita que 60% do tempo de moldagem das estruturas é dedicado às fôrmas. Assahi (2007) indica, inclusive, que as atividades relacionadas à montagem da fôrma são responsáveis por aproximadamente 30% do caminho crítico do cronograma físico, sendo um dos fatores de maior impacto no prazo de execução de estruturas de concreto armado.

Reforçando a importância das fôrmas no cronograma, Peres (2013) ressalta que a conclusão da atividade de execução de fôrmas é um pré-requisito para o início de uma grande variedade de atividades. Para a redução e cumprimento de prazos, o autor sugere a adoção de projetos de estrutura com elementos repetitivos e modulados. Para Fajersztajn e Landi (1992), prazos amplos favorecem a diminuição da quantidade de equipamentos de fôrmas empregados, enquanto prazos estreitos tendem a exigir um maior número de jogos de fôrma.

### 3.2. Elementos de um sistema de fôrmas

A Norma Brasileira 15.696 (ABNT, 2009, p.2) define fôrmas da seguinte maneira:

“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”.

Segundo Assahi (2007), a diferença entre os sistemas de fôrmas reside nos materiais da fôrma e do cimbramento, na capacidade de adequabilidade, na praticidade, na durabilidade e no preço.

Fajersztajn e Landi (1992) apresentam em seu trabalho uma terminologia para definir os componentes de sistemas de fôrma, a qual é reiterada pelos autores Sanches, (2012), Maranhão (2000) e Morikawa (2003):

- Sistema de fôrmas: conjunto de fôrmas para moldar estruturas de concreto armado.
- Subsistemas de fôrmas: conjunto de fôrmas para moldar determinadas partes ou tipos de peças das estruturas de concreto armado. Para moldar uma estrutura convencional de concreto armado são utilizados os subsistemas das lajes, vigas e pilares.
- Elementos: conjunto de peças com capacidade de exercer determinadas funções dentro dos subsistemas de fôrmas, que são:
  - Molde;
  - Estrutura da fôrma;
  - Escoramentos, reescoramentos e escoras remanescentes: que transmitem esforços recebidos pela estrutura do molde a algum suporte;
  - Acessórios, que são as peças destinadas a completar os demais elementos de um sistema de fôrmas;
  - Componentes: são as peças que compõem os elementos, sendo consideradas, em nível de peça pronta, as últimas decomposições de um sistema de fôrmas.

#### 3.2.1. Molde

Moldes são os elementos em contato com o concreto fresco e que definem o formato final e o acabamento superficial do concreto endurecido (FAJERSZTAJN E LANDI, 1992).

### 3.2.1.1. *Madeira Serrada*

Mais utilizado no Brasil devido à acessibilidade das fôrmas de madeira (figura 2) por empresas de pequeno e médio porte e também pela cultura da construção (COSTA, 2014).

De modo geral, não há projeto específico e a execução é feita conforme experiência do mestre de obras, o que tende a gerar grande variabilidade de resultados e até mesmo causar prejuízos, além de gerar grande quantidade de resíduos. Há necessidade de mão de obra em grande quantidade e especializada (COSTA, 2014).



Figura 2 - Pranchas de pinus (Fonte: Armazém da Madeira<sup>2</sup> - Tábuas de pinus para obras, 2004)

### 3.2.1.2. *Madeira Industrializada*

Segundo a NBR 15.696 (ABNT, 2009, p.8):

“São peças fabricadas industrialmente, com controle de umidade, temperatura, tolerâncias e espécies de madeira com propriedades físicas e mecânicas conhecidas e ensaiadas.”

#### 3.2.1.2.1. *Chapas Compensadas*

Fabricadas pela união de três ou mais lâminas de madeira, alternando-as em ângulos retos, sob pressão, unindo-as com adesivos. Pela sua configuração (figura 3) apresenta boa resistência normal às fibras, mitigação de trincas e podem ser fabricadas grandes peças (NAZAR, 2007).

---

<sup>2</sup> Madeira para obras: [Acesso em: 17 de junho de 2018.]  
Disponível em: <<https://www.armazemdamadeira.com/madeira-para-obra>>

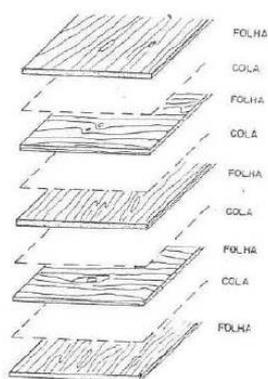


Figura 3 - Orientação da colagem das chapas de compensado (ARAÚJO, 2008)

A chapa de compensado pode ser resinada ou plastificada (figuras 4 e 5), sendo que a primeira é colada com resina fenólica 100% a prova d'água e a segunda apresenta um revestimento de fenol-formaldeído modificado com desmoldante (PERES, 2013).



Figura 4 - Chapa de Compensado Resinado (Fonte: site da Formaplan<sup>3</sup> - Compensado Naval Formaplan)



Figura 5 - Chapa de Compensado Plastificado (Fonte: site da Formaplan<sup>4</sup> - Compensado Plastificado Formaplan)

<sup>3</sup>Compensado plastificado Formaplan: [Acesso em: 17 de junho de 2018.] Disponível em: <[http://www.formaplan.com.br/produtos\\_det.php?cod\\_prod=2&lang=>](http://www.formaplan.com.br/produtos_det.php?cod_prod=2&lang=>)>

<sup>4</sup>Compensado plastificado Formaplan: [Acesso em: 17 de junho de 2018.] Disponível em: <[http://www.formaplan.com.br/produtos\\_det.php?cod\\_prod=1&lang=>](http://www.formaplan.com.br/produtos_det.php?cod_prod=1&lang=>)>

### 3.2.1.2.2. Chapas de Oriented Strand Board (OSB)

São chapas (figura 6) compostas por micro lâminas ou partículas de madeira sobrepostas, com camadas entrelaçadas a partir da orientação das camadas, o que confere o nome ao produto *oriented strand board* (placas de fibras direcionadas).

Além disso, utiliza-se resina o que confere rigidez, resistência interna e resistência à umidade. Apresenta como vantagens o fato de ser utilizada com madeira de reflorestamento e de utilizar mais de 90% da madeira (PERES, 2013).



Figura 6 - Fôrma de OSB para estruturas de concreto (Fonte: Beija Flor Madeiras<sup>5</sup>)

### 3.2.1.3. Metálica

A NBR 15.696 (ABNT, 2009) define que:

“São elementos de aço ou alumínio, forjados, laminados, fundidos, extrudados ou fabricados a partir de chapas soldadas, com funções de equipamentos, acessórios ou componentes auxiliares das estruturas dos sistemas de fôrmas e escoramentos, de acordo com as especificações das ABNT NBR 8.800, ABNT NBR 6.355 e ABNT NBR 14.762 para elementos de aço e ABNT NBR 14.229 para elementos de alumínio.”

Peres (2013) indica que as principais vantagens do sistema metálico são: Precisão geométrica; elevado número de repetições; Industrialização; Redução da mão de Obra; não geração de Resíduos.

Costa (2014) afirma que fôrmas metálicas necessitam de maior planejamento para que suas vantagens sejam maximizadas e para que se torne viável.

---

<sup>5</sup> Compensado Osb para Construção. [Acesso em: 17 de junho de 2018.] Disponível em: <<http://www.beijaflormadeira.com.br/compensado-osb-para-construcao>>

### 3.2.1.3.1. Aço

São utilizadas com mais frequência em projetos que exigem grande quantidade de reusos ou em grandes projetos. Apresentam grande adaptabilidade para formatos curvos e circulares. Resistentes e duráveis, fôrmas de aço podem ser utilizadas entre 100 e 120 vezes. Também, não há risco de absorção de água do concreto e da ocorrência de ninhos de concretagem (LOGANATHAN E VISWANATHAN, 2016). A figura 7 apresenta um exemplo de sistema de fôrma em aço.



Figura 7 – Sistema de Fôrma de Aço (Fonte: Alibaba - New type steel formwork concrete wall forming systems, 2018<sup>6</sup>)

### 3.2.1.3.2. Alumínio

Sistemas de alumínio são sistemas de fôrmas muito similares aos de aço em muitos aspectos, como resistência e durabilidade, sendo que a maior diferença consiste na menor densidade do alumínio, o que deixa as peças mais leves (LOGANATHAN E VISWANATHAN, 2016). A figura 8 apresenta um exemplo de sistema de fôrma em alumínio.



Figura 8 – Sistema de Fôrma de alumínio (Fonte: Constata Construções LTDA<sup>7</sup> - O que você deve saber sobre fôrmas para concreto)

<sup>6</sup> New type steel formwork concrete wall forming systems. [Acesso em: 17 de junho de 2018.] Disponível em: <[https://www.alibaba.com/product-detail/New-type-steel-formwork-concrete-wall\\_60263561446.html](https://www.alibaba.com/product-detail/New-type-steel-formwork-concrete-wall_60263561446.html)>

<sup>7</sup> O que você deve saber sobre fôrmas para concreto. [Acesso em: 17 de junho de 2018.] Disponível em: <[http://www.constata.com.br/noticias/72/O\\_que\\_voce\\_deve\\_saber\\_sobre\\_formas\\_para\\_concreto](http://www.constata.com.br/noticias/72/O_que_voce_deve_saber_sobre_formas_para_concreto)>

### 3.2.1.4. Poliméricos

#### 3.2.1.4.1. Não reforçados

Escolhidos em função de sua versatilidade, são fôrmas feitas de poliestireno, PVC, borrachas sintéticas, polipropilenos, poliuretanos e silicones obtidos através de matéria prima vegetal ou mineral (MORIKAWA, 2003).

Fôrmas poliméricas (figura 9) apresentam baixo peso específico, elevada durabilidade, facilidade de execução, alta produtividade, facilidade de transporte, bom número de repetições e são inertes ao concreto.

Por necessitarem de cimbramento e demais componentes em outros materiais como madeiras e metais, acabam por se constituir como um sistema misto.



Figura 9- Laje nervurada com cubetas em PVC (Fonte: Catálogo Digital de Detalhamento da Construção do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Feevale – Lajes Nervuradas<sup>8</sup>)

#### 3.2.1.4.2. Reforçados com Fibra

Produto da associação entre poliéster associado à fibra de vidro, composto por tantas camadas quantas forem necessárias para conferir ao material resistência e espessura desejada. Entre as principais vantagens, Peres (2013) cita o baixo peso específico, uma resistência adequada, versatilidade, o bom acabamento superficial e o elevado número de reutilizações (figura 10).

---

<sup>8</sup> KEHL, C.; VASCONCELLOS, J. [online] Lajes nervuradas. Catálogo Digital de Detalhamento da Construção do curso de Arquitetura e Urbanismo da Feevale. [Acesso em: 17 de junho de 2018.] Disponível em: <<https://cddcarqfeevale.wordpress.com/2012/07/11/lajes-nervuradas/>>



Figura 10 - Plástico Reforçado com Fibras (Fonte: For construction Pros<sup>9</sup>)

#### 3.2.1.5. *Papelão*

São fôrmas com diversos formatos que utilizam papel kraft tratado com resinas e colas que conferem resistência mecânica e rigidez. Apresentam facilidade de manuseio, transporte e boa estanqueidade. Contudo apresentam uso único e, por isso, geram grande quantidade de resíduos (PERES, 2013). A figura 11 apresenta fôrmas circulares de papelão para pilares.



Figura 11 - Fôrmas de papelão utilizadas para pilares (Fonte: Tubominas<sup>10</sup>)

#### 3.2.2. *Estrutura da fôrma*

A estrutura do molde é o componente responsável por enrijecer e suportar o molde, não permitindo deformações quando da ocorrência de esforços devido às operações de armação e concretagem (FAJERSZTAJN E LANDI, 1992).

---

<sup>9</sup> DUO Fiber Reinforced Polymer Formwork System: [Acesso em: 17 de junho de 2018.] Disponível em: <<https://www.forconstructionpros.com/concrete/equipment-products/forms/product/12314803/peri-formwork-systems-inc-duo-fiber-reinforced-polymer-formwork-system>>

<sup>10</sup> Tubos de papelão para colunas e obras de construção civil. [Acesso em: 17 de junho de 2018.] Disponível em: <<http://www.tubominas.com.br/tubetes-e-tubos-de-papelao-para-colunas-obras-de-construcao-civil.htm>>

A viga de madeira (figura 12) produzida pela ULMA, por exemplo, pode ser utilizada em fôrmas verticais, como enrijecedores laterais, ou horizontais, como longarina de apoio (ULMA<sup>11</sup>, 2018).

A NBR 15.696 (ABNT, 2009) indica que, na impossibilidade de determinar a resistência, as vigas (de madeira ou metálicas) devem passar por ensaios de resistência à flexão, ao cortante e ao esmagamento.



Figura 12 -Viga de Madeira VM20 (Fonte: ULMA, catálogo ENKOFLEX, 2018)

#### 3.2.2.1. Escoramentos, reescoramentos e escoramentos remanescentes

Para a NBR 15.696 (ABNT, 2009), o escoramento consiste na estrutura provisória com capacidade de resistir a todas as ações provenientes das cargas permanentes e variáveis resultantes do lançamento do concreto fresco sobre as fôrmas e transmiti-las às bases de apoio de estrutura até que o concreto se torne autoportante. As figuras 13 e 14 ilustram dois tipos diferentes de escoramento.

De maneira similar a NBR 15.696 (ABNT, 2009) também define reescoramentos e escoramentos remanescentes como as estruturas provisórias auxiliares colocadas sob a estrutura de concreto armado que não tem capacidade de suportar cargas permanentes e/ou variáveis, transmitindo-as para as bases de apoio.

Escoramentos, reescoramentos e escoras remanescentes devem possuir projeto para distribuição, especificação de características de resistência e deformação, verificação de capacidade de carga durante o processo de execução e projeto de remoção dos elementos resistentes (NBR 15.696, ABNT, 2009).

---

<sup>11</sup> A utilização de imagens e informações de catálogos foi solicitada e autorizada pela ULMA Construction.



Figura 13 - Sistema misto com escoramento metálico e vigas de madeira (Fonte: ULMA, catálogo ENKOFLEX, 2018)



Figura 14 - Sistema com escoramento metálico e vigas metálicas (Fonte: ULMA, catálogo Horizontal formwork with BTM beams, 2018)

#### 3.2.2.2. Acessórios

São as peças com a finalidade de complementar os demais elementos na execução dos sistemas de fôrmas (FAJERSZTAJN E LANDI, 1992). Morikawa (2003) aponta que estes elementos desempenham funções específicas e podem ser fornecidos por empresas independentes ou produzidos em obra.

As principais funções dos acessórios são as de ligar, apoiar e facilitar a montagem e desmontagem das fôrmas e escoramentos. Além disso, devem ter resistência adequada para não serem o limitante do conjunto e devem garantir a segurança na montagem e desmontagem (NBR 15.696, ABNT, 2009). Tripés, por exemplo, podem ser utilizados para acertar rapidamente o prumo de escoramentos (figura 15).



Figura 15 - Tripé de apoio para escoras (Fonte: ULMA, catálogo Horizontal formwork with BTM beams, 2018)

### 3.3. Qualidade do Projeto de um sistema de fôrmas

Para Maranhão (2000), o projeto é uma ferramenta importante para garantir a integração entre desenvolvimento e produção de produtos. Para que isto ocorra, deve conter itens como a especificação de materiais e quantitativos, a apresentação dos critérios de dimensionamento, o detalhamento da fôrma e da fabricação dos seus elementos e os planos de montagem e desmontagem dos elementos.

Assahi (2007) cita que a especificação de materiais é um dos componentes de um projeto de fôrmas completo. Fajersztajn e Landi (1992) acrescentam que devem ser observadas as especificações de acabamento superficial. A NBR 14.931 (ABNT, 2004) cita também que devem ser obedecidas as normas ABNT NBR 7.190, 8.800 e 15.696, quando o material da fôrma for de madeira ou metálico, respectivamente.

Fajersztajn e Landi (1992) também sugerem o uso de tabelas de quantitativos como um dos itens que devem constar em um projeto de fôrmas.

Segundo a NBR 15.696 (ABNT, 2009), devem ser apresentados os critérios de dimensionamento, como consistência e pressão do concreto, velocidade e altura de lançamento, altura de vibração e metodologia de lançamento.

Nazar (2007) destaca que há uma dificuldade do conhecimento dos critérios de dimensionamento e que este assunto é tratado de maneira precária nas universidades, sendo abordadas algumas noções em poucas aulas. O autor também indica uma escassez bibliográfica sobre o assunto, que acaba sendo muitas vezes menosprezado e tratado com empirismo.

Também segundo a NBR 15.696 (ABNT, 2009), deve existir o claro detalhamento da fôrma, com plantas baixas, cortes e vistas para eliminar dúvidas de execução. Assahi (2007) complementa que “a leitura deve ser clara, completa, objetiva, sem espaço para qualquer tipo de interpretação subjetiva”, ressaltando que os canteiros de obra não favorecem a interpretação e estudos mais intensivos de um projeto e quem vai utilizar os

projetos muitas vezes não apresenta a capacitação plena e equipamentos necessários para realizar tal interpretação.

Nesse sentido, Fajersztajn e Landi (1992) evidenciam que o sistema de fôrmas deve ser entendido como integrante da construção e que o mesmo interage com as demais atividades e subsistemas. De maneira complementar, a NBR 15.696 (ABNT, 2009) ainda frisa que os elementos devem ser posicionados de maneira clara e exata.

Tanto para Fajersztajn e Landi (1992) quanto para Assahi (2007), a especificação da fabricação de elementos e os desenhos de confecção da fôrma são itens que devem ser contemplados em um projeto de fôrmas.

Fajersztajn e Landi (1992) também citam a especificação para montagem e desmontagem do sistema como um dos itens que devem ser contemplados em um projeto de fôrmas. Assahi (2007) indica que o projeto e procedimentos operacionais (Procedimentos de Execução de Serviços) devem prever os cuidados necessários para a pós concretagem e o descimbramento total. Entre os desenhos de montagem, Assahi (2007) cita os itens a serem atendidos:

- Planta de locação dos eixos e gualdrões / locação dos pilares;
- Planta de cimbramento, travamentos, guias e barrotes e escoras remanescentes;
- Planta de processo de paginação da laje.

#### 4. DECISÃO DE CRITÉRIOS MÚLTIPLOS

O aumento da quantidade de informações a serem consideradas nos processos decisórios aumentou a complexidade da tomada de decisão nas últimas décadas (BRIOZO E MUSETTI, 2015). Para facilitar a tomada de decisão por parte do decisor em situações com critérios conflitantes, foram desenvolvidos os métodos de apoio de critérios múltiplos baseados em ferramentas matemáticas (BRANS E MARESCHAL<sup>12</sup>, 2005, apud BRIOZO E MUSETTI, 2015).

Wallenius et al. (2008) esclarecem que o decisor pode ser um indivíduo ou um grupo que coopera para proceder de acordo com o mesmo processo de tomada de decisão. Os autores também indicam que os métodos de critérios múltiplos colaboram para que a tomada de decisão seja feita com abordagens mais amplas.

A Análise Hierárquica de Processos (AHP) é o método de decisão que foi uma maior quantidade de vezes objeto de estudo de artigos publicados em periódicos científicos (WALLENIUS et al., 2008). É, também, o método de análise mais utilizado no mundo segundo GOMES<sup>13</sup> (2007, apud GODOI, 2014).

A AHP é uma ferramenta de apoio de decisão a qual visa quantificar, através de uma escala de importâncias, propriedades relativas a um conjunto de alternativas (AL-HARBI, 2001). A AHP leva em consideração tanto os julgamentos intuitivos do tomador de decisões, quanto a consistência das comparações de alternativas realizadas pelo mesmo (SAATY<sup>14</sup>, 1980, apud AL-HARBI, 2001).

O processo de julgamentos realizado pela AHP utiliza uma matriz de comparações em pares, ou paritária, que é construída com base na comparação entre itens, critérios ou alternativas disponíveis (GODOI, 2014).

Godoi (2014) destaca que a estrutura hierárquica da AHP, representada na figura 16, é composta: por um objetivo, uma meta, ou um projeto a ser realizado; por critérios que apoiam a decisão e possibilitam que o objetivo seja alcançado; e por alternativas, as quais serão avaliadas na busca da que melhor atender aos critérios para atingir o objetivo.

---

<sup>12</sup> Brans, J. P., & Mareschal, B. Multiple criteria decision analysis – state of the art. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 2005

<sup>13</sup> GOMES, L. F. A. M. Teoria da decisão. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2007. 116 p.

<sup>14</sup> SAATY, T. L. The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill, 1980.

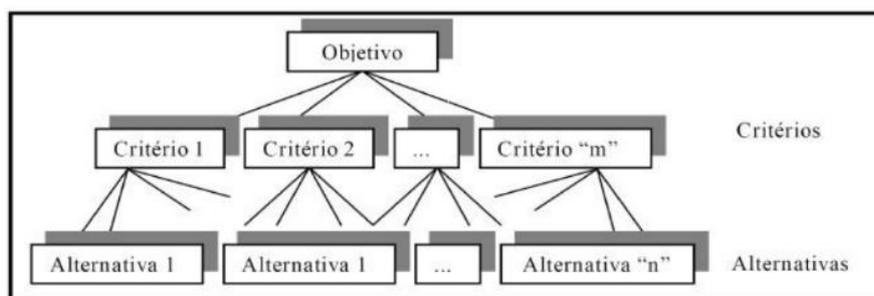


Figura 16 - Árvore de decisão da estrutura hierárquica do AHP - Fonte: Marins et al, 2009<sup>15</sup>, apud Godoi, 2014

Godoi (2014) apresenta o processo de decomposição da decisão no AHP em quatro etapas propostas por Saaty<sup>16</sup> (2013) e uma última etapa proposta por Chan et al. (2004)<sup>17</sup>. O sequenciamento das etapas pode ser observado na tabela 1.

Tabela 1 – Sequenciamento das etapas da AHP (SAATY, 2013, apud GODOI, 2014)

Passo	Execução
1	Definir o problema e determinar o tipo de conhecimento procurado.
2	Estruturar a hierarquia de decisões a partir do topo, com o objetivo da decisão, nos níveis intermediários (critérios para os quais os elementos subseqüentes dependem), para o nível mais baixo (que é geralmente um conjunto de alternativas).
3	Construir um conjunto de matrizes de comparação de pares.
4	Usar as prioridades obtidas das comparações para pesar as prioridades no nível imediatamente abaixo e obter sua prioridade total ou global. Continuar o processo de comparação entre critérios e entre alternativas.
5	Calcular o índice de consistência (IC). Se não for satisfatório, refazer julgamentos

A escala fundamental de intensidade de importância foi desenvolvida para realizar os julgamentos dos critérios, subcritérios e alternativas. Para uma correta aplicação do AHP, as comparações paritárias são feitas com base nessa escala (BRIOZO e MUSETTI, 2015). Godoi (2014) afirma que, mais do que uma escala numérica, a escala fundamental é baseada em aspectos qualitativos que justificam a atribuição dos pesos no processo de julgamento. A escala fundamental de intensidade de importâncias para a realização dos

<sup>15</sup> MARINS, C. S; SOUZA, D. O; BARROS, M. S. O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais: um estudo de caso. In: SBPO 2009, 41, 2009, Porto Seguro. Anais... Porto Seguro: UEM, 2009.

<sup>16</sup> SAATY, T. L. On the Measurement of Intangibles: A Principal Eigenvector Approach to Relative Measurement Derived from Paired Comparisons. Notices: of the American Mathematical Society, Providence, v. 60, n. 2, p.192-208, 01 fev. 2013.

<sup>17</sup> CHAN, A H.S., KWOK W.Y., DUFFY V. G. Using AHP for determining priority in a safety management system. Industrial Management & Data Systems, v. 104, n. 5, p 430–445, 2004.

julgamentos está listada na tabela 2. Os valores denominados “recíprocos” são os inversos dos valores da escala “normal”.

Tabela 2 – Escala de intensidade de importâncias (SAATY, 2013, apud GODOI, 2014)

<b>Intensidade da importância</b>	<b>Definição</b>	<b>Explicação</b>
1	Igual Importância	Ambos os itens (critérios ou alternativas) contribuem igualmente para atingir o objetivo
2	Importância ligeiramente superior	
3	Importância Moderada	Experiência e julgamento favorecem ligeiramente um item (critérios ou alternativas) sobre o outro
4	Mais moderada	
5	Forte Importância	Experiência e julgamento favorecem fortemente um item sobre o outro
6	Mais Forte	
7	Importância Muito forte	Um item é muito fortemente favorecido em detrimento de outro; sua dominância é demonstrada na prática
8	Muito mais forte	
9	Importância absoluta ou extrema importância	A evidência favorecendo uma atividade sobre a outra é da mais alta ordem possível de afirmação
n,1 a n,9	Quando as atividades são muito próximos um decimal é adicionado a 1 para mostrar a sua diferença, conforme apropriado	Comparar duas atividades estreitas, favorecendo a maior com o acréscimo de decimais
Recíprocos	Valores inversos aos pesos de julgamentos: (1/n) onde “n” é o peso atribuído	Suposição lógica

As etapas de cálculo utilizadas no presente trabalho foram baseadas no trabalho de Godoi (2014), o qual exemplifica o preenchimento de comparações entre critérios através da tabela 3.

Tabela 3 – Exemplo de preenchimento da AHP (GODOI, 2014)

	Critério A	Critério B	Critério C	Critério D
Critério A	1	2	3	5
Critério B	1/2	1	2	4
Critério C	1/3	1/2	1	3
Critério D	1/5	1/4	1/3	1

Godoi (2014) indica que, primeiramente, os julgamentos paritários precisam ser normalizados. Para que isso ocorra, a primeira etapa de cálculo tem como objetivo somar os valores de cada coluna. Essa etapa pode ser observada na tabela 4.

Tabela 4 – Soma dos termos das colunas (GODOI, 2014)

	Critério A	Critério B	Critério C	Critério D
Critério A	1	2	3	5
Critério B	½	1	2	4
Critério C	1/3	1/2	1	3
Critério D	1/5	1/4	1/3	1
TOTAL	2,03	3,75	6,33	13

A normalização da matriz é feita, então, a partir da divisão dos valores dos pesos de julgamento sobre o total apurado para cada coluna (GODOI, 2014), o que pode ser verificado na tabela 5.

Tabela 5 – Normalização das colunas (GODOI, 2014)

	Critério A	Critério B	Critério C	Critério D
Critério A	$1 / 2,03 = 0,493$	$2 / 3,75 = 0,533$	$3 / 6,33 = 0,474$	$5 / 13 = 0,385$
Critério B	$1/2 / 2,03 = 0,246$	$1 / 3,75 = 0,267$	$2 / 6,33 = 0,32$	$4 / 13 = 0,308$
Critério C	$1/3 / 2,03 = 0,163$	$1/2 / 3,75 = 0,133$	$1 / 6,33 = 0,158$	$3 / 13 = 0,231$
Critério D	$1/5 / 2,03 = 0,099$	$1/4 / 3,75 = 0,067$	$1/3 / 6,33 = 0,053$	$1 / 13 = 0,077$

A etapa de cálculo seguinte consiste na obtenção do autovetor, ou vetor de Eigen. O autovetor apresenta os pesos relativos entre os critérios e pode ser obtido de modo aproximado através da média aritmética dos valores de cada um dos critérios (VARGAS<sup>18</sup>, 2010, apud GODOI, 2014). O cálculo do autovetor pode ser visto na tabela 6.

Tabela 6 – Cálculo do autovetor (GODOI, 2014)

Critério A	$(0,493+0,533+0,474+0,385)/4 = 0,47$
Critério B	$(0,246+0,267+0,32+0,308)/4 = 0,29$
Critério C	$(0,163+0,133+0,158+0,231)/4 = 0,17$
Critério D	$(0,099+0,067+0,053+0,077)/4 = 0,07$

<sup>18</sup> VARGAS, R. V. Utilizando a programação multicritério (analytic hierarchy process - AHP) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio. In: PMI GLOBAL CONGRESS 2010, 2010, Washington. Anais. Washington: Pmi Global, 2010. p. 1 - 22.

Godoi (2014) ressalta que os valores do vetor podem ser interpretados como a importância percentual de cada critério avaliado. Para poder ser utilizado, entretanto, é necessário que seja verificada a consistência dos julgamentos.

Após a etapa de cálculo do autovetor, deve ser calculado o autovalor ou número principal de Eigen, o qual é obtido pela somatória do produto de cada elemento de cada autovetor, apresentados na tabela 6, multiplicados pelo total de cada coluna da matriz de julgamento, apresentados na tabela 4. Assim:

$$\lambda_{\text{máx}} = (0,47 \cdot 2,03) + (0,29 \cdot 3,75) + (0,17 \cdot 6,33) + (0,07 \cdot 13) = 4,03$$

A análise de consistência do julgamento do decisor deve ser feita através, primeiramente, do índice de consistência (IC), ou *consistency index* (CI), do inglês. Para fins de padronização será utilizada a sigla CI para representar o índice de consistência. O CI é obtido, conforme Saaty (2013), pela equação 1:

$$CI = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1}$$

Equação 1 – Índice de consistência (SAATY, 2013)

Onde:

- $\lambda_{\text{máx}}$  é o autovalor gerado pela matriz;
- n é a quantidade de critérios comparados.

Considerando o exemplo proposto por Godoi (2014), temos:

$$CI = \frac{4,03 - 4}{4 - 1} = 0,01$$

Conforme Godoi (2014), após o cálculo do CI, deve ser calculada a Taxa de Consistência, ou *Consistency Ratio*, do inglês (CR). Saaty (2013) aponta que a taxa de consistência deverá ser igual o menor do que 0,10 (10%). Esse valor de CR também é utilizado por Alharbi (2001) e Godoi (2014).

Para o cálculo do CR é necessária a utilização de um índice de consistência aleatória (RI), o qual é dado pela quantidade de critérios comparados na matriz e que está apresentado na tabela 7.

Tabela 7 – Índice de consistência aleatório (SAATY, 2013 apud GODOI, 2014)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

A taxa de consistência é calculada pela expressão:

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0,1 \sim 10\%$$

Equação 2 – Taxa de Consistência (SAATY, 2013)

Onde:

- CI é o índice de consistência;
- RI é o índice de consistência aleatório.

Pelo exemplo de Godoi (2014), como foram comparados quatro critérios, o RI é igual a 0,9, portanto:

$$CR = \frac{0,01}{0,9} = 0,01111 < 0,1 \sim 10\%$$

O autor afirma que, como a Taxa de Consistência foi inferior a 10%, os julgamentos são considerados consistentes e, por consequência, as proporções do autovetor podem ser utilizadas na tomada de decisão.

## 5. INDICADORES E MEDIÇÃO DE DESEMPENHO

A globalização da economia, a escassez de recursos para construção, clientes cada vez mais exigentes e trabalhadores com maior grau de organização e capacidade de reivindicação são consideradas por Lantelme (1994) como as principais mudanças que vêm influenciando o setor da construção civil na busca pela melhoria da qualidade. A autora também ressalta que esse movimento é resultado da ênfase dada à qualidade em outros setores da economia e em todo mundo.

Nesse sentido, Costa (2003) destaca que o interesse pela gestão da qualidade e, como consequência, pela implementação de sistemas de medição de desempenho teve início a partir da década de 1980 na indústria da construção. Sustentado por estes argumentos, Navarro (2005) destaca que, na indústria da construção civil, existe grande necessidade das empresas construtoras trabalharem em busca da melhoria da produtividade, qualidade e capacidade de competir.

A medição de desempenho é considerada por Sink e Tuttle (1993)<sup>19</sup> como o “processo pelo qual se decide o que medir, se faz a coleta, o processamento e a avaliação de dados” (apud LANTELME et al., 2001, p. 4).

Lantelme et al. (2001) afirmam que os novos papéis assumidos pela medição de desempenho no gerenciamento de processos e negócios têm levado à remodelação de critérios empregados na escolha de indicadores e de suas formas de implementação.

O modelo de medição de desempenho proposto por Sink e Tuttle (1993), denominado Análise de Sistemas gerenciais está representado pela figura 17. Segundo esse modelo, os dados são convertidos em informação, adquirem significado para os envolvidos no processo na medida em que são processados, contribuindo com um valor real ou possível de ser interpretado para tomadas de decisão (DAVIS, 1974<sup>20</sup>, apud COSTA, 2003).

---

<sup>19</sup> SINK, D. Scott; TUTTLE, Thomas C. Planejamento e medição para performance. Rio de Janeiro: Quality Mark, 1993. 343 p.

<sup>20</sup> DAVIS, G. B. Management information systems: conceptual foundations, structure and development, Nova Iorque: MacGraw-Hill, 1974.

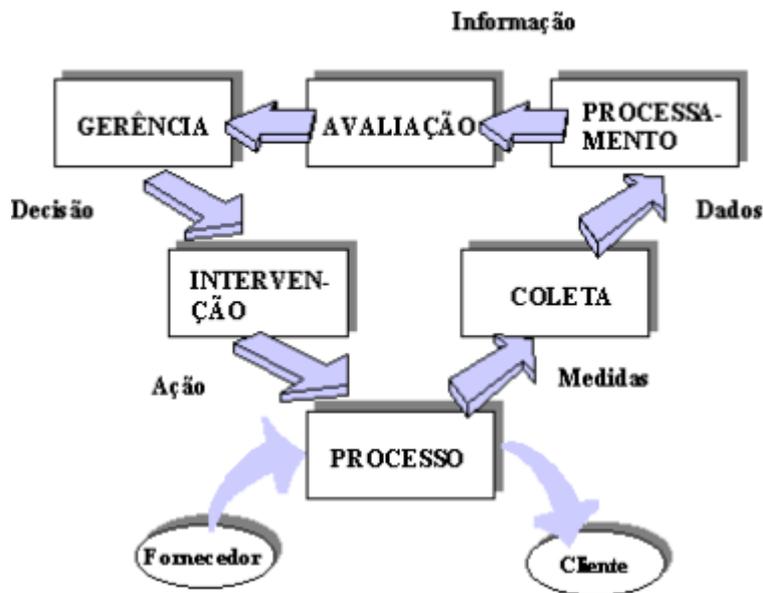


Figura 17 – Modelo de Sistema de Medição (LANTELME et al., 2001, adaptado de SINK; TUTTLE, 1993)

Navarro (2005) resume o modelo de Análises de sistemas gerenciais proposto por Sink e Tuttle (1993) em cinco etapas:

- A primeira consiste na compreensão profunda do sistema organizacional que está sendo analisado;
- A segunda etapa consiste da análise do sistema de medição em toda a organização e da identificação dos meios de melhoria de desempenho do sistema organizacional;
- A terceira etapa consiste na determinação dos objetos de medição a partir das necessidades de informação de cada equipe gerencial;
- A quarta etapa tem por finalidade a criação de medidas ou indicadores identificados na terceira etapa, levando-se em consideração a acessibilidade, disponibilidade, qualidade, confiabilidade dos dados além de determinar procedimentos de coleta, métodos de armazenamento e recuperação de dados;
- A última etapa objetiva transformar os dados em informações através do exame e definição de técnicas, ferramentas e métodos de conversão de dados em informações.

Costa (2003) denota que sistema de medição de desempenho são compostos por uma série de medidas (ou indicadores) com a finalidade de quantificar a eficiência ou a eficácia de um processo. Indicadores são expressões quantitativas que representam informações geradas a partir da medição e avaliação de uma estrutura de produção, dos processos que a compõem e dos produtos resultantes (SOUZA et al., 1994<sup>21</sup>, apud NAVARRO, 2005). Para Lantelme (1994) os indicadores fornecem à gerência informações necessárias para tomadas de decisão e ações de melhoria de qualidade e produtividade.

<sup>21</sup> SOUZA, R. et al. Indicadores da qualidade e produtividade. In: \_\_\_\_\_. Sistema de gestão da Qualidade para empresas construtoras. São Paulo: PINI, 1994. Mód.11, p.219-230.

Conforme levantamento realizado por Lantelme (1994), com base na opinião das empresas sobre as importâncias individuais de cada indicador, no segmento de projetos para edificações, os indicadores de projeto estrutural foram considerados mais importantes quando comparados aos indicadores relativos a outros projetos (Figura 18).

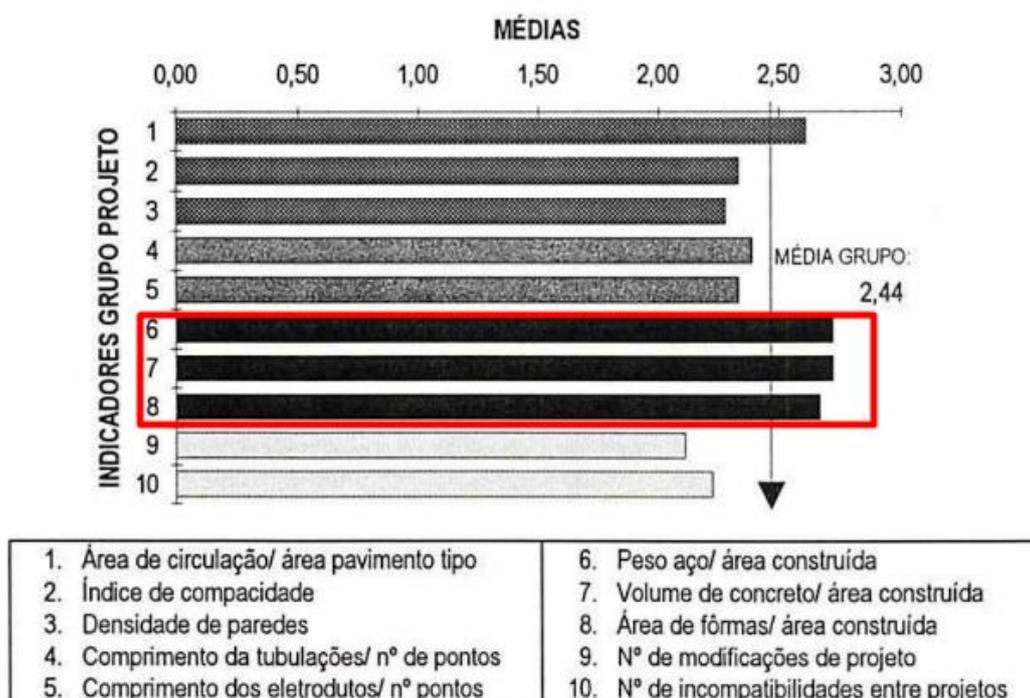


Figura 18 – Importância Relativa média dos Indicadores do Grupo Projetos (LANTELME, 1994)

Como exemplo, para sistemas de fôrmas foi elaborado o indicador denominado Índice de fôrmas (expresso em  $m^2/m^2$ ), que visa a verificação da otimização das áreas de fôrmas em relação à área construída (LANTELME et al., 2001). A partir do banco de dados levantado pelos autores, o valor do Índice de fôrmas situa-se, em média, entre 1,8 e 2,0  $m^2/m^2$ . O cálculo do indicador é feito a partir da seguinte expressão:

$$IF = \frac{\text{Área de Contato das fôrmas}}{\text{Área Construída}}$$

Equação 3 - Área de Contato das fôrmas por Área Construída (LANTELME et al., 2001).

Peres (2013) também apresenta alguns indicadores para projetos de fôrmas: taxa de área de fôrma por área de projeção do pavimento e taxa da área de fôrma pelo volume de concreto.

$$I_1 = \frac{\text{Área de Contato de Fôrma do Pavimento}}{\text{Área de Projeção do Pavimento}}$$

Equação 4 - Área de fôrma por área estruturada (PERES, 2013).

$$I_2 = \frac{\text{Área de Contato de Fôrma do Pavimento}}{\text{Volume de Concreto do Pavimento}}$$

Equação 5 - Área de fôrma por volume de concreto (PERES, 2013).

Peres (2013) indica que quanto menores forem os valores destes índices, melhores tendem a ser as características de construtibilidade e produtividade da mão de obra.

Os indicadores de fôrmas apresentados por Peres (2013) e Lantelme et al. (2001) analisam a qualidade do projeto estrutural. Este enfoque de análise, entretanto, não contribui para o objetivo deste trabalho, que é a análise de sistemas de fôrmas. Dessa maneira, a revisão bibliográfica foi desenvolvida com base na sequência das etapas do modelo de medição proposto por Sink e Tuttle (1993), o qual foi resumido por Navarro (2005), com foco nas etapas de definição de objetivos e, principalmente, de criar medidas ou de identificar indicadores. A etapa de definição dos objetivos também contribui na determinação dos critérios inseridos na proposta de ferramenta deste trabalho, que utiliza a AHP.

## 6. CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DO SISTEMA DE FÔRMAS

De maneira geral, muitos fatores podem influenciar na escolha de um sistema de fôrmas. Nazar (2007) cita o prazo de execução, o número de utilizações e o nível de solicitações como os principais critérios para escolha. Em contraponto, Araújo (2008) destaca uma influência da estratégia construtiva adotada, atrelada a fatores como o sistema estrutural adotado. Kabashi et al. (2017) apresentam os seguintes critérios para seleção de fôrmas: facilidade de desforma, economia, resistência, rigidez, estanqueidade, superfície lisa, leveza, qualidade e suporte.

Para fins de sistematização foram compilados os critérios citados direta ou indiretamente por alguns autores a serem considerados na seleção do sistema de fôrmas. Para favorecer a estruturação da Análise Hierárquica de Processos e o uso de Indicadores, etapas fundamentais da ferramenta proposta para este estudo, os critérios foram agrupados em três categorias: eliminatórios, com possibilidade de implementação de indicadores e outros critérios importantes.

### 6.1. Critérios Essenciais

Os critérios considerados essenciais representam as funções fundamentais dos sistemas de fôrmas: reter, sustentar e dar forma ao concreto fresco até que este adquira resistência adequada.

#### 6.1.1. Resistência e Rigidez

Fajersztajn e Landi (1992), tal qual a NBR 15.696 (ABNT, 2009), citam que o sistema de fôrmas deve possuir resistência para suportar o peso do próprio sistema, do concreto fresco, da armadura, dos equipamentos, além de resistir aos esforços oriundos de condições climáticas adversas, da movimentação da equipe, do lançamento, adensamento e da vibração do concreto fresco. O não atendimento dessas condições podem gerar acidentes como o apresentado na Figura 19.



Figura 19 – Desabamento parcial de sistemas de fôrmas (Feran, 2012<sup>22</sup>)

Nazar (2007) determina os estados limites utilizando parâmetros de projeto para estruturas de madeira da NBR 7.190 (ABNT, 1997) para o cálculo de uma fôrma para uma laje de concreto com espessura de 10 cm. Para este cálculo é necessário conhecer o peso próprio do concreto e as cargas oriundas da circulação.

Peso próprio do concreto:  $q_{conc} = \gamma_{conc} \cdot h_{laje} = 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,1 \text{ m} = 2,5 \text{ kN/m}^2$

Carregamento devido à circulação:  $q_{circulação} = 2,00 \text{ kN/m}^2$

Que resultou na seguinte combinação para o estado-limite último:

$$q_d = \gamma_d \cdot (q_{conc} + \psi_0 \cdot q_{circ}) = 1,2(2,5 + 0,7 \cdot 2,0) = 4,68 \text{ kN/m}^2$$

Onde:

- $\gamma_d = 1,2$  (ações variáveis de construção - NBR 7.190/1997)
- $\psi_0 = 0,7$  (ações variáveis secundárias para o estado-limite último - NBR 7.190/1997)

O valor de carga mínima calculada por Nazar (2007) é superior ao indicado pela NBR 15.696 (ABNT, 2009) que é de 4,00 kN/m<sup>2</sup>.

Para pilares, a norma alemã DIN 18.218<sup>23</sup> (apud NAZAR, 2007) estabelece que a pressão na fôrma para o concreto fresco é dada em função da consistência e da velocidade de enchimento para velocidades maiores do que 0,5 m/h:

- Consistência firme:  $P_{m\acute{a}x} = 5v + 21$
- Consistência média:  $P_{m\acute{a}x} = 10v + 19$

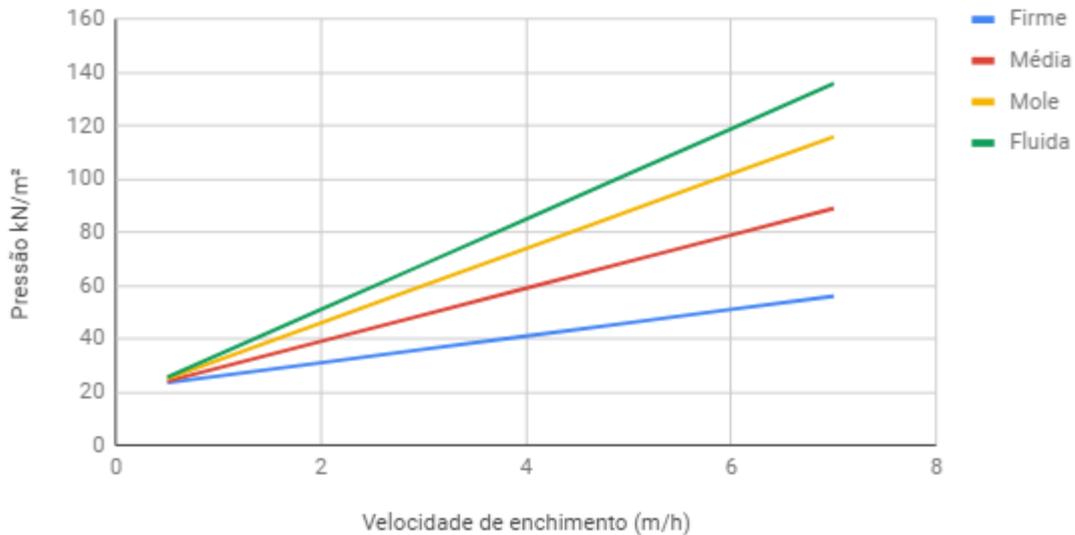
<sup>22</sup> Structural failures while concrete is being poured are not uncommon. [Acesso em: 17 de junho de 2018.] Disponível em: <[http://blog.cleveland.com/metro/2012/01/structural\\_failures\\_while\\_conc.html](http://blog.cleveland.com/metro/2012/01/structural_failures_while_conc.html)>

<sup>23</sup> DIN 18218:1980-09: Pressure of fresh concrete on vertical formwork, Beuth Verlag, 1980.

- Consistência mole:  $P_{m\acute{a}x} = 14v + 18$
- Consistência fluída:  $P_{m\acute{a}x} = 17v + 17$

O gráfico das pressões em pilares causadas por diferentes consistências proposto pela DIN 18.218 evidencia que concretos mais fluídos geram pressões maiores nos sistemas de fôrmas (gráfico 1).

Gráfico 1 – Norma DIN 18.218 (1980) para pressão nos pilares – velocidade de enchimento > 0,5 m/h



A NBR 15.696 (ABNT, 2009) também indica as pressões exercidas pelo concreto fluído nas paredes da fôrma. Para isso, a norma utiliza as classes de consistência dadas pelo abatimento previsto na NBR NM 67 (ABNT, 1998) indicadas na tabela 8.

Tabela 8 – Classes de consistência de concreto em função do abatimento em mm (ABNT NBR NM 67, 1998)

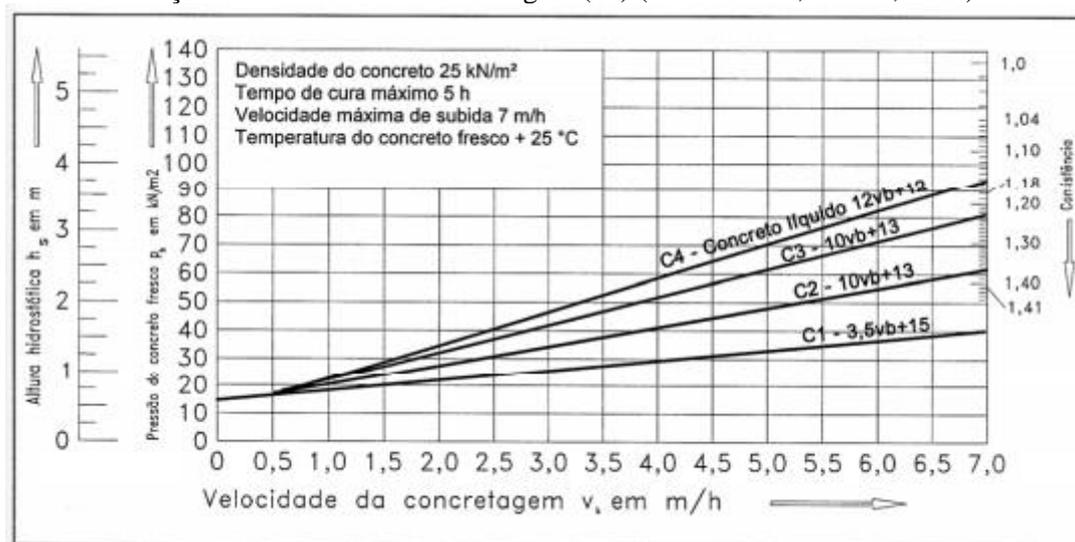
Classe de consistência	Abatimento mm
C1	abatimento ≤ 20
C2	20 < abatimento ≤ 80
C3	80 < abatimento ≤ 140
C4	abatimento > 140

Diferentemente da norma alemã, a NBR 15.696 (ABNT, 2009) considera uma velocidade máxima de subida do concreto ( $v_b$ ) de 7,0 m/h. Também, são considerados: o peso

específico do concreto é de 25 kN/m<sup>3</sup>; a temperatura do concreto é de 25°; o concreto endurece em no máximo 5 horas; a vibração é uniforme; e a fôrma é totalmente estanque.

A partir das considerações, o gráfico 2 apresenta as pressões de concreto (Pb) e a altura hidrostática correspondente (hs) em função da velocidade de concretagem (vb). É possível observar que, tal qual a norma alemã, a NBR 15.696 (ABNT, 2009) também indica que concretos mais fluídos exercem maior pressão sobre as paredes da fôrma.

Gráfico 2 – Diagrama de pressões de concreto (Pb) e a altura hidrostática correspondente (hs) em função da velocidade de concretagem (vb) (NBR 15.696, ABNT, 2009)



A deformação excessiva de elementos da estrutura de concreto armado causada pela remoção prematura da fôrma ou pelo espaçamento excessivo de escoras, por exemplo, pode causar o emperramento de portas e janelas no uso futuro da edificação (PERES, 2013). A rigidez do sistema de fôrmas garante que não ocorram deformações acima dos limites especificados nos moldes (FAJERSZTAJN E LANDI, 1992) e garante a qualidade geométrica do concreto em estado endurecido.

Dentro do aspecto da rigidez, a Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada (ABIMCI, 2002<sup>24</sup>, apud NAZAR, 2007) fornece alguns dados de propriedades de chapas compensadas de madeira, como o módulo de elasticidade paralelo e o momento de inércia, a partir da quantidade de lâminas utilizadas na composição, conforme a tabela 9.

<sup>24</sup> ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE> Catálogo técnico nº1. São Paulo: ABIMCI, 2002

Tabela 9 – Propriedades geométricas dos compensados (ABIMCI, 2002)

Compensado (mm)	Nº de lâminas	Módulo de elasticidade Paralelo (E) kgf/cm <sup>2</sup>	Momento de inércia (J) cm <sup>4</sup>
18	9	70949	48,60
18	7	63383	48,60
15	7	69130	28,13
15	5	69331	28,13

A ABIMCI também limita a deformação máxima, ou flecha, em:

$$F = \frac{l}{360}, \text{ em que 'l' é o comprimento da placa.}$$

Peres (2013) ainda versa que fissuras podem ter sua origem pela carga excessiva oriunda da argamassa destinada às correções das imperfeições geométricas da estrutura, devido à falta de estabilidade dimensional das fôrmas. O autor enfatiza que a estabilidade é importante durante os serviços de montagem da armadura e do lançamento e adensamento do concreto, sendo necessário até a etapa de desforma.

### 6.1.2. Estanqueidade

Tanto para Fajersztajn e Landi (1992), quanto para as normas NBR 15.696 (ABNT, 2009) e NBR 14.931 (ABNT, 2004), as fôrmas devem ser suficientemente estanques para evitar a perda da nata de cimento. Peres (2013) acrescenta que a fuga da nata de cimento gerada pela falta de estanqueidade tende a deixar a estrutura de concreto mais permeável e, por consequência, mais suscetível a ataques de agentes externos causadores da corrosão da armadura.

Para Patel et al. (2013) as juntas das fôrmas devem ser bem encaixadas ou cobertas com fitas para fôrmas para evitar a perda de argamassa. Os autores indicam que vazamentos de argamassa são responsáveis por ninhos na superfície do concreto. A figura 20 representa o vazamento de uma fôrma e foi capturada de um vídeo<sup>25</sup>.

<sup>25</sup> Como o fluxo de materiais é um efeito dinâmico, entende-se que o mesmo pode ser melhor compreendido através de um vídeo. Visto em: <https://www.youtube.com/watch?v=iVddJWB9rXs>



Figura 20 – Vazamento de concreto em pilar de ponte - Fonte: Youtube. Visto em novembro de 2018

## 6.2. Critérios com possibilidade de implementação de indicadores

São os critérios que possuem relevância na escolha dos sistemas de fôrmas e que podem gerar indicadores qualitativos ou quantitativos.

### 6.2.1. Custos

Como referenciado já anteriormente neste trabalho, alguns autores como Maranhão (2000), Assahi (2007) e Peres (2013), salientam a importância econômica dos sistemas de fôrmas e o impacto nos custos diretos de uma obra. Assahi (2007) inclusive indica o preço como um dos principais critérios usados na escolha de sistemas de fôrmas.

O Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), elaborado pela Caixa Econômica Federal (CEF), fornece composições de custos e insumos para diversos tipos de atividades, materiais e equipamentos.

A tabela 10 apresenta os custos desonerados<sup>26</sup> por área de fôrma fabricada para os elementos pilares, vigas e lajes feitas com chapa de madeira compensada resinada com espessura de 17 milímetros (mm), no mês de setembro de 2018 para o estado do Rio Grande do Sul. Os custos para fabricação dos elementos incluem material e mão de obra. O detalhamento das composições pode ser visualizado no ANEXO A.

---

<sup>26</sup> Desonerados são definidos pelo SINAPI/CEF como insumos que não apresentam contribuição para encargos sociais de 20% sobre a folha de pagamento.

Tabela 10 – Fabricação de Elementos de Fôrma - Composição Desonerada (dados retirados do SINAPI, 2018)

Elemento	Código da Composição	Custo material e mão de obra (R\$/m <sup>2</sup> )
Pilar	92263	102,58
Viga	92265	77,17
Laje	92267	28,61

Com a finalidade de estabelecer um parâmetro único para o indicador de preço, foi utilizada a estimativa de consumo de fôrmas apresentada por Nazar (2007), apresentada na tabela 11.

Tabela 11 – Estimativa de consumo de material por elemento de fôrma. (Nazar, 2007)

Elemento	Área (m <sup>2</sup> )	Proporção em área do material (%)
Pilar	343,02	13,83%
Viga	1032,00	41,60%
Laje	1106,00	44,58%
Total	2481,03	100%

A partir do valor das composições e da proporção de material utilizado foi calculado um preço ponderado para ser utilizado como referência (tabela 12). Admite-se nesse caso uma simplificação nos custos da mão de obra, que é diferente para a fabricação dos elementos da fôrma.

Tabela 12 – Preço ponderado pelas áreas de material. Fonte: produzida pelo autor.

Elemento	Proporção em área do material (%)	Custo material e mão de obra (R\$/m <sup>2</sup> )
Pilar	13,83%	102,58
Viga	41,60%	77,17
Laje	44,58%	28,61
Preço ponderado (R\$/m <sup>2</sup> )		59,04

### 6.2.2. Reaproveitamento

Visando onerar a obra o mínimo possível e considerando a elevada participação do sistema de fôrmas no orçamento de obras, Peres (2013) sugere que o sistema possa ser reaproveitado o máximo possível. Assahi (2007) também indica o reuso de fôrmas como um dos principais fatores na variação de custos de estruturas de concreto armado.

Costa (2014) aponta que sistemas de fôrmas que utilizam madeira, empregados em larga escala por empresas de pequeno e médio porte, geram grande quantidade de resíduos devido à baixa padronização. Em contraponto, a autora indica que sistemas metálicos geram menos resíduos, o que pode ser explicado por uma densidade maior de etapas de planejamento e projetos com maior grau de detalhamento.

Loganathan e Viswanathan (2016) e Patel et al. (2013) citam que fôrmas de aço podem ser utilizadas entre 100 e 120 vezes. O sistema de fôrmas MIVAN<sup>27</sup> é recomendado para edificações de larga escala e pode ser reutilizado de 200 a 300 vezes segundo Chikkaveerayanavar e Patil (2017). Compensados fenólicos de mais alta densidade e com bordas seladas podem ser utilizados de 20 a 80 vezes, conforme as condições de uso e tratamento do material (ULMA, 2018).

Entre as principais vantagens de fôrmas com grandes quantidades de reusos, Chikkaveerayanavar e Patil (2017) elencam a diminuição da duração da execução de projetos, a diminuição do uso de argamassas para correção de imperfeições geométricas e eficiência de custos, embora o aporte inicial de investimentos seja consideravelmente mais alto do que o necessário para sistemas de fôrmas convencionais.

#### *6.2.3. Disponibilidade Regional de Materiais*

Carmo et al. (2010) estabelecem uma relação direta entre os custos e as distâncias entre fornecedor e cliente. Almeida e Vieira (2013) verificam que, por exemplo, para o setor de supermercados poucos fornecedores se localizam a distâncias superiores à 500 km, o que pode ser explicado por uma estratégia de manter redes de distribuição de produtos em localizações estratégicas de abastecimento. Os autores também afirmam que a proximidade entre fornecedor e cliente aumenta o volume de produtos e facilitam as relações de parceria.

Assahi (2007) destaca a utilização de insumos e serviços técnicos disponíveis na região como um dos fatores que balizam a escolha do sistema de fôrmas, o que é corroborado por Nazar (2007), que menciona que deve ser considerada a proximidade da obra em relação às facilidades. Fajersztajn e Landi (1992), por sua vez, consolidam esse argumento ao apontar que a abundância de material para a confecção do sistema de fôrmas ou a estocagem do equipamento podem ser critérios importantes para a escolha do melhor sistema.

#### *6.2.4. Assistência técnica, atendimento e qualidade dos serviços oferecidos*

As atividades apresentadas neste item de ‘assistência técnica, atendimento e qualidade dos serviços oferecidos’ são amplamente difundidas em outros setores industriais e podem ser decisivas no processo de escolha entre fornecedores.

---

<sup>27</sup> Chikkaveerayanavar e Patil (2017) indicam que o MIVAN é um sistema de fôrmas de fabricado completamente em alumínio produzido por uma empresa da Malásia. Esse sistema apresenta grande quantidade de reusos, com grande durabilidade e baixa manutenção requerida. Também é mencionado pelos autores que este sistema é projetado nos mínimos detalhes, o que, associado ao baixo peso do alumínio, diminui os tempos dos ciclos de montagem e desmontagem das fôrmas entre as concretagens.

Barbosa e Gomes (2002) explicitam que relacionamento com clientes é entendido como a capacidade da empresa se antecipar na previsão das necessidades de seus clientes e conduzir a demanda. Buttle (2004) cita que o gerenciamento de relacionamento com clientes é o desenvolvimento de uma cultura de negócios centrada no cliente, a qual é voltada a ganhar e manter consumidores entregando mais vantagens no produto do que os demais competidores.

Segundo Braga et al. (2014, p. 2), o bom atendimento significa:

“Servir o cliente, interno ou externo, da melhor forma possível, e não de forma mecânica, mal treinada. Atender bem é interessar-se verdadeiramente pelo problema do cliente e dispor-se, não só a resolver esse problema, mas a superar a expectativa do cliente. E entender que cada pessoa é única: não existe um padrão para atender a todos porque todos não são iguais.”

Em contrapartida, um mau atendimento tende a causar insatisfação e perda de consumidores, o que pode degradar a imagem de uma empresa. Este tipo de situação pode ser superada através da capacitação dos funcionários com o objetivo de atender todos os tipos de clientes de modo eficiente (BRAGA et al., 2014). Em termos de qualidade de atendimento também é destacado como importantes se o canal de comunicação utilizado é adequado (e-mail, telefone, ...) e se os materiais de comunicação (mensagens de aviso, formulários, ...) são de fácil compreensão (ELEUTÉRIO e SOUZA, 2002).

Um quesito importante é a facilitação das operações de montagem pelo trabalhador através de fornecimento de treinamentos e manuais de instruções. Young e Wogalter (1990), por exemplo, afirmam que a maioria de equipamentos elétricos ou movidos a gás são acompanhados de manuais de instruções que descrevem a configuração e o uso correto dos produtos. Dentro dos manuais, para os autores, geralmente também são fornecidas informações de segurança através de avisos e advertências com o objetivo de informar perigos associados ao uso dos produtos.

Anteriormente, Souza (1995) constatou que constantemente faltava treinamento adequado de funcionários no setor industrial<sup>28</sup> brasileiro. O autor também afirma e que todas as iniciativas que tenham como objetivo minimizar riscos e melhorar as condições de trabalho devem ser implementadas. Para Volpe e Lorusso (2009), o treinamento é um processo de educação em que as pessoas podem assimilar informações, aprender habilidades e desenvolver atitudes, constituindo-se não como despesa e sim como um precioso investimento.

Outro serviço que pode ser considerado como diferencial na escolha de um produto é a manutenção. Slack et al. (2002<sup>29</sup>, apud NETTO, 2008) elencam como os principais benefícios das atividades de manutenção a redução de custos, a maior qualidade dos produtos, a maior segurança, a melhoria do ambiente de trabalho, o desenvolvimento

---

<sup>28</sup> Não foram encontrados estudos com dados mais atualizados que indiquem mudança deste panorama.

<sup>29</sup> SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Administração da Produção. São Paulo: Atlas, 2002.

profissional, a ampliação da vida útil e confiabilidade dos equipamentos, a valorização das instalações de produção, a ampliação do poder de investimento e a preservação do meio ambiente.

#### *6.2.5. Produtividade*

Como a montagem de sistemas de fôrmas impacta em torno de 60% da execução das estruturas de concreto armado (Maranhão, 2000) e, por sua importância no andamento da obra, são responsáveis por aproximadamente 30% do caminho crítico (Assahi, 2007), a produtividade é um critério que demanda atenção especial.

Loganathan e Viswanathan (2016) apresentam dados que indicam uma produtividade de montagem média (para pilares, vigas e lajes) que varia para fôrmas de aço entre 1,5 e 3 m<sup>2</sup>/homem.dia e para fôrmas de alumínio entre 6 e 8 m<sup>2</sup>/homem.dia. Nesse sentido, para Patel et al. (2013), o tempo de montagem é um critério de seleção importante.

Como os valores de produtividade dependem de diversos outros fatores, entende-se que ela pode ser também analisada, de maneira mais abrangente, através de três aspectos: facilidade de manuseio, facilidade de montagem e facilidade de desforma. Chikkaveerayanavar e Patil (2017), por exemplo, analisam o uso de sistemas de fôrmas completamente de alumínio, o MIVAN, que apresentam baixo peso e por isso facilitam o manuseio (incluindo o uso de alças), a montagem e a desmontagem dos sistemas.

#### *6.2.6. Facilidade de Manuseio*

Para Fajersztajn e Landi (1992) a falta de equipamentos adequados para a movimentação pode inviabilizar o uso de alguns sistemas pesados. De maneira complementar, Assahi (2007) apresenta a baixa massa específica aliada a uma alta resistência mecânica como um fator importante na escolha do material, pela facilidade de manuseio.

Patel et al. (2013) analisam e classificam alguns sistemas de fôrmas quanto a facilidade de manuseio, afirmando que painéis devem ser projetados para que as dimensões facilitem o manuseio por trabalhadores ou com uso de equipamentos mecânicos. Em adição, os autores também afirmam que devem ser incluídas adaptações para realizar ajustes nas peças e facilitar a elevação, o que pode diminuir danos às fôrmas e ao concreto. Chikkaveerayanavar e Patil (2017) exemplificam que, entre outras qualidades, fôrmas de compensado são as mais utilizadas pela facilidade de manipulação.

A norma regulamentadora das condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção (NR-18, 2018) trata das condições de instalação, transporte, montagem e desmontagem em canteiros de obras ou frentes de trabalho. A NR-18 (2018), indica que o levantamento manual ou semi-mecanizado de cargas deve ser compatível com a capacidade de força do trabalhador, referenciando a norma regulamentadora de ergonomia (NR-17, 2018), a qual visa estabelecer parâmetros que permitam a adaptação psicofisiológica dos trabalhadores, de modo a proporcionar conforto, segurança e desempenho.

A NR-17, por sua vez, fornece diretrizes para transporte manual de cargas e para o uso de equipamentos adequados para o transporte. Principalmente, é afirmado que não deve ser exigido nem permitido o transporte manual de cargas que comprometam a saúde ou a segurança dos trabalhadores. De maneira complementar a Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), na Seção X, artigo 183, versa que pessoas que trabalharem com a movimentação de materiais terão de estar familiarizadas com os métodos racionais de levantamento de cargas.

A CLT admite, no artigo 198, um transporte e descarga realizados por homens com peso máximo de 60 kg para ações individuais, enquanto para mulheres, devem ser observadas as cargas máximas de 20 kg para trabalhos contínuos e 25 para trabalhos ocasionais.

Batiz et al. (2011) apresentam dois métodos para a avaliação do carregamento de cargas manuais<sup>30</sup>, sendo um deles desenvolvido pelo *National Institute for Occupational Safety and Health* dos Estados Unidos da América<sup>31</sup> (NIOSH - EUA) e outro desenvolvido pelo Ministério do Trabalho da Espanha, fornecido pelo Guia técnico para avaliação e prevenção dos riscos relativos à manipulação manual de cargas (ESPANHA<sup>32</sup>, 2010, apud BATIZ et al., 2011). Para ambos os métodos é ressaltado que o peso a ser carregado seja bem inferior ao recomendado pela CLT, sendo de 23 kg para o método NIOSH e de 25 kg para o método do Ministério do Trabalho Espanhol.

#### 6.2.7. *Facilidade de Montagem*

Sistemas com alto grau de produtividade são sistemas bem projetados, a fabricação de módulos deve ser feita de modo a facilitar a montagem e desmontagem, minimizando os danos aos componentes (FAJERSZTAJN E LANDI, 1992).

Geometrias da estrutura com elementos repetitivos e formatos regulares tendem a facilitar o uso de sistemas modulados e mais racionalizados de fôrmas (FAJERSZTAJN E LANDI, 1992), o que favorece também a organização do espaço do canteiro de obras. Peres (2013) põe em evidência que as dimensões das peças devem corresponder ao projeto, garantindo a geometria e estanqueidade do sistema.

Loganathan e Viswanathan (2016) citam que fôrmas de aço podem ser instaladas com grande facilidade e velocidade, o que resulta numa preservação e menor fadiga do trabalhador. Em contrapartida, para Patel et al. (2013), fôrmas de madeira apresentam a possibilidade de adaptação e são fáceis de montar.

---

<sup>30</sup> O peso foi adotado como principal indicador de facilidade de manuseio, a qual depende também de questões como dimensões das peças. No desenvolvimento do trabalho, entretanto, observou-se que o indicador de peso, de maneira geral, está diretamente relacionado com as dimensões das peças.

<sup>31</sup> O método NIOSH foi desenvolvido entre 1981 e 1991 com o objetivo de minimizar dores em trabalhadores devido ao levantamento de cargas nos Estados Unidos da América.

<sup>32</sup> ESPANHA. Ministerio del Trabajo e Inmigración. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la manipulación manual de cargas. Disponível em: <<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/GuiasTecnicas/Ficheros/cargas.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2010

Nesse sentido, o MIVAN, estudado por Chikkaveerayanavar e Patil (2017), apresenta uniformidade e compatibilidade em todos os elementos do sistema de fôrmas (pilares, vigas e lajes), o que exige um grau maior de capacitação dos trabalhadores. Além disso, a boa modulação do sistema diminui a quantidade de juntas, o que diminui a ocorrência de vazamentos no sistema.

#### 6.2.8. *Facilidade de desforma*

Assahi (2007) cita que a desforma é a primeira atividade pós concretagem e, devido a isso, deve ser realizada com cuidado, pois a estrutura de concreto ainda está em processo de ganho de resistência e não adquiriu toda a capacidade de resistente prevista em projeto.

Intervalos cada vez mais curtos entre a concretagem e desforma, para Maranhão (2000), fazem com que o concreto esteja com uma resistência bem inferior à especificada em projeto aos 28 dias, no momento da desforma. Devido a isso, é realizada a atividade de desforma sem realizar o descimbramento da estrutura (ASSAHI, 2007).

A organização e ordenação dos sistemas de fôrmas permite obter melhor produtividade na desforma, caracterizando-se como uma propriedade que garante a praticidade do sistema (ASSAHI, 2007). Maranhão (2000) aponta que as fôrmas muitas vezes são executadas sem um estudo racional, sem uma análise da facilidade de desforma para um futuro reaproveitamento.

No sentido de melhorar a produtividade e reaproveitamento, Maranhão (2000) exemplifica que elementos de pressão utilizados na fixação de painéis de fôrmas permitem a desforma sem deteriorar o painel original. O autor também sugere que a desforma seja iniciada a partir dos elementos de menores dimensões, por motivos de facilidade.

Chikkaveerayanavar e Patil (2017) apresentam um sistema de fôrmas de alumínio bem racionalizado e modulado, o MIVAN, o qual possui vigas e lajes com apoios em forma de “V” que facilitam a desforma<sup>33</sup>.

### 6.3. Outros critérios

#### 6.3.1. *Propriedades da Superfície*

Em função da qualidade superficial do concreto exigida devem ser escolhidos os moldes a serem empregados nos sistemas de fôrmas, sendo evidente o resultado obtido entre diferentes materiais (FAJERSZTAJN E LANDI, 1992). As figuras 21 e 22 apresentam moldes de fôrmas em diferentes estados de conservação, os quais podem interferir na qualidade final do concreto (LIBESSART et al., 2014).

---

<sup>33</sup> Não foram encontradas imagens do sistema de encaixe para melhor ilustração.



Figura 21 – Superfície de fôrma em bom estado de conservação (LIBESSART et al., 2014)



Figura 22 – Superfície de fôrma em estado deteriorado de conservação (LIBESSART et al., 2014)

Peres (2013) argumenta que a baixa aderência na interface entre concreto e fôrma se faz necessária em termos de ganho de produtividade da desforma, do aumento da durabilidade do equipamento e da diminuição de imperfeições na superfície do concreto.

Pretto (2007) e Stolz (2015) mencionam que a fôrma é um dos principais fatores que podem alterar a textura superficial final do concreto, podendo influenciar na aderência de argamassas de revestimento. Maadani (1998) cita que fôrmas com maior absorção superficial tendem a diminuir a ocorrência de bolhas na superfície do concreto.

Peres (2013) salienta que a absorção d'água pela fôrma pode comprometer as reações de hidratação do cimento. O autor ainda ressalta que deve ser observada a utilização de materiais e desmoldantes, que, caso o uso se faça necessário, devem ser inertes em relação ao concreto, sob pena de ocorrerem reações prejudiciais à estrutura, podendo comprometer desempenho, resistência e durabilidade.

Chikkaveerayanavar e Patil (2017) reforçam a importância da manutenção do teor de umidade do concreto através das atividades de cura para o ganho de resistência nas primeiras idades, o que pode estar diretamente relacionado à capacidade de absorção das

fôrmas. Dessa maneira, os autores reforçam que a escolha dos sistemas de fôrmas deve ser feita com uso de conhecimentos técnicos.

### 6.3.2. *Segurança*

Tanto para Peres (2013), quanto para Maranhão (2000), a segurança do sistema de fôrmas é atendida e conservada pela correta atenção a alguns dos itens de qualidade de fôrma supracitados, como a resistência e a rigidez, somados a aspectos executivos, como geometria da estrutura, por exemplo. Fajersztajn e Landi (1992) ressaltam que a fôrma deve proporcionar a segurança do próprio sistema, como dos operários no momento da montagem, adensamento do concreto e desmontagem.

Peres (2013) ressalta que a execução do serviço de fôrmas deve ser muito bem controlada e fiscalizada, para evitar a propagação de pequenos erros como transferências de eixos e locação de ganchos, que podem gerar grandes imperfeições geométricas na estrutura. Além disso, erros como esse podem implicar riscos, aumentando a possibilidade de ocorrência de acidentes de trabalho devido à diminuição da estabilidade dos sistemas.

Nemati (2007) aponta que falhas de sistemas de fôrmas são a causa de muitos acidentes e de muitas falhas de construção, as quais ocorrem principalmente durante o lançamento do concreto. O autor ainda aponta as principais causas de falhas em sistemas de fôrmas:

- Descimbramento e remoção de escoras de maneira inadequada;
- Apoios inadequados;
- Excesso de vibração;
- Solo instável na superfície de apoio de escoras;
- Escoras fora de prumo;
- Lançamento de concreto com controle inadequado;
- Falta de atenção nos detalhes da fôrma.

### 6.3.3. *Sustentabilidade*

A NBR 15.696 (ABNT, 2009) recomenda que o impacto ambiental da execução de um sistema de fôrmas deve ser reduzido, evitando o desperdício de recursos e a poluição do meio ambiente.

De maneira geral, o sistema de fôrmas é um dos componentes necessários à construção que menos se tem cuidado em termos de sustentabilidade (AL-ASHWAL et al., 2017). O autor também cita que a medição de sustentabilidade das fôrmas ainda não está bem desenvolvida e se encontra no estado “infantil”.

O trabalho realizado por Al-ashwal et al.(2017) consistiu na captação, através de um formulário, da opinião de alguns profissionais da área da construção civil, alguns deles especialistas em sustentabilidade, com relação ao desempenho sustentável do sistema tradicional de fôrmas em madeira, levando em consideração os três pilares da sustentabilidade: econômico, ambiental e social. O desempenho geral do sistema de fôrmas pode ser visualizado na figura 23, em que “Eco”, “Env” e “Soc” representam,

respectivamente, Economia, Meio Ambiente e Social. Em amarelo é possível visualizar a máxima pontuação possível e em azul a pontuação atingida pelo sistema de madeira. O desempenho sustentável foi classificado como moderado, atingindo um desempenho percentual entre os “três pilares” de 40,6%.

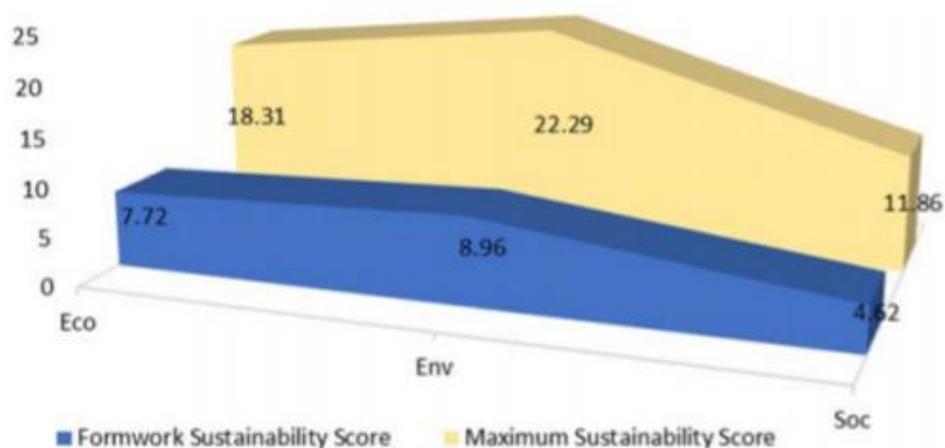


Figura 23 – Desempenho Sustentável de Sistemas de fôrmas de Madeira (AL-ASHWAL, 2017)

Os resíduos de fôrmas de madeira podem ser separados de materiais não inertes e as melhores peças podem ser reutilizadas em menor escala, mas o restante do material quase sempre é lançado em aterros sanitários junto de materiais não inertes (YU et al., 2013). O Sistema de fôrmas de madeira é econômico e renovável, mas a quantidade de material utilizada para sua fabricação é ambientalmente indesejável (POON et al., 2005). Dessa maneira, ambos os autores reforçam com exemplos o levantamento feito por Al-Ashwal et al. (2017).

Mossmann (2011) afirma que a otimização do consumo de matéria prima e a minimização de resíduos pode ser obtida a partir de processos ou sistemas racionalizados, modulados e industrializados.

Para minimizar a perda de madeira a NBR 15.696 (ABNT, 2009) apresenta quatro diretrizes: dar preferência a equipamentos industrializados, de maior vida útil e evitar o uso de madeira bruta; selar as bordas de placas de madeiras com tinta especificada pelo fabricante para prolongar a vida útil e fazer uso de desmoldante para evitar danos à fôrma; recomenda-se que o fornecedor deve comprovar a origem e, se necessário, a aprovação do uso da madeira por órgãos competentes; destinar adequadamente os resíduos de madeira.

## 7. ESTRUTURA DA FERRAMENTA

Como o trabalho tem como objetivo a proposição de uma ferramenta que auxilie a escolha de sistemas de fôrmas a partir de critérios técnicos, a proposta foi estruturada, resumidamente, em duas bases:

- A primeira é a fundamentação técnica e prática, com a seleção de critérios que podem gerar indicadores quantitativos ou qualitativos, os quais foram baseados no conteúdo da revisão bibliográfica sobre critérios de seleção de sistemas de fôrmas;
- A segunda é a utilização da Análise Hierárquica de Processos, que consiste em uma metodologia de tomada de decisão de critérios múltiplos com aplicação científica e gerencial, com algoritmos definidos, e análise de consistência de julgamento calculada matematicamente.

O princípio de funcionamento da ferramenta é o cruzamento dos objetivos estratégicos com um banco de dados de indicadores de sistemas de fôrmas. Desta forma, a ferramenta apresenta três grandes níveis de funcionamento:

- Definição dos critérios: etapa de seleção dos critérios que compõe a ferramenta. Os critérios são selecionados em razão da importância bibliográfica e da possibilidade de gerar indicadores. Os critérios selecionados foram divididos em dois grupos: eliminatórios, que são indispensáveis a sistemas de fôrmas; classificatórios, que serão utilizados na definição de estratégias (AHP) e na composição de notas.
- Definição de estratégias (AHP): a definição da estratégia é feita através das comparações paritárias realizadas na AHP. As importâncias de cada critério no autovetor indicam os critérios prioritários na escolha de sistemas de fôrmas. Pode ser priorizada, por exemplo, diminuição de custos diretos, ganhos de produtividade ou relacionamento com fornecedor.
- Composição de notas a partir de indicadores: na composição de nota que dará a classificação dos sistemas são utilizados indicadores quantitativos e avaliações qualitativas dos sistemas de fôrmas. A classificação dos sistemas é feita através de notas calculadas com indicadores e das importâncias de cada critério obtidas no autovetor da AHP.

Sempre que os indicadores da terceira etapa estiverem inseridos no banco de dados, o uso da ferramenta se dará principalmente na segunda etapa, através da definição das estratégias a serem priorizadas. Entretanto, o banco de dados de indicadores e de avaliação dos sistemas pode ser retroalimentado, tornando a ferramenta mais receptiva à inclusão de novos sistemas e revisão de dados. A sequência de funcionamento das etapas está representada na figura 24.

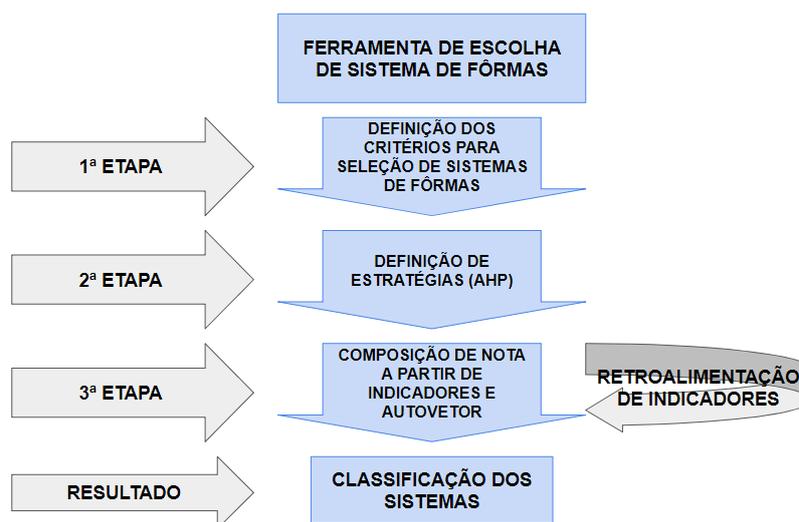


Figura 24 – Organograma da estrutura da ferramenta - Fonte: produzido pelo autor

### 7.1. Definição dos Critérios para seleção de sistemas de fôrmas

Os critérios para serem inseridos na ferramenta de análise de múltiplos critérios foram selecionados a partir dos seguintes fatores:

- Referência bibliográfica, sendo que a seleção dos critérios a serem utilizados na ferramenta foi feita com base nos critérios de seleção de sistemas de fôrmas,
- Possibilidade de gerar indicador ou metodologia de análise qualitativa.

A aplicação dos critérios técnicos e práticos no embasamento das etapas de funcionamento da ferramenta levou em consideração que alguns critérios podem ser indispensáveis na escolha (como, por exemplo, capacidade de carga e estanqueidade). Dessa forma, é proposto que critérios sejam utilizados em duas etapas:

- Os critérios considerados indispensáveis apresentem um caráter seletivo, pois, caso não sejam atendidos, têm o poder de eliminar do processo de escolha sistemas de fôrmas insatisfatórios;
- Os demais critérios possuem caráter classificatório, sendo que cada critério apresenta um indicador associado a um sistema de fôrma. A partir de cada indicador é atribuída uma nota relacionada aos critérios para cada sistema. As notas para cada critério, por sua vez, são ponderadas com o uso das respectivas importâncias de cada critério na composição do autovetor.

#### 7.1.1. Critérios Eliminatórios

Para esta etapa foram selecionados na literatura dois critérios considerados como obrigatórios para o funcionamento correto de qualquer sistema de fôrmas. Foram considerados como critérios eliminatórios a capacidade de carga e estanqueidade, pois sem os estes, os sistemas de fôrmas têm sua função comprometida.

#### 7.1.1.1. Capacidade de Carga

##### **Descrição:**

Um sistema de fôrmas suficientemente resistente garante que as cargas resultantes do lançamento e adensamento do concreto fresco serão suportadas, que a geometria da estrutura será atendida, que seja suportado o peso da estrutura de concreto armado nas primeiras idades, além de oferecer mais segurança à equipe de obra.

A resistência maior dos sistemas de fôrmas também se justifica pelo uso cada vez mais frequente de concretos mais fluidos e auto adensáveis, que apresentam pressões hidrostáticas maiores do que concretos convencionais.

##### **Critério:**

- Os sistemas com capacidade para suportar o peso do concreto e das operações realizadas em cima das fôrmas será classificado para a próxima etapa;
- O sistema com capacidade de carga menor do que 4,68 kN/m<sup>2</sup> (Nazar, 2007) será descartado do processo de escolha.

#### 7.1.1.2. Estanqueidade

##### **Descrição:**

A estanqueidade do sistema de fôrmas é essencial para garantir que o concreto armado adquira as propriedades especificadas pelo projetista estrutural e pelo responsável pela dosagem do concreto. Mais especificamente, a estanqueidade é responsável pela manutenção da argamassa no concreto fresco, evitando perda de material, além de contribuir para que o processo de ganho de resistência ocorra corretamente. Através dessas propriedades, a estrutura de concreto armado pode atingir um desempenho e durabilidade adequados.

##### **Critério:**

- O sistema que for considerado estanque, ou seja, que não permita a perda de argamassa do concreto fresco nas operações de lançamento, adensamento e ganho de resistência, será classificado para a etapa seguinte de atribuição de nota;
- O sistema que for considerado insuficientemente estanque será descartado do processo de escolha.

#### 7.1.2. Critérios de Classificação

Os critérios que compõem a classificação de notas dos sistemas foram selecionados a partir do atendimento das premissas que os indicadores quantitativos<sup>34</sup> devem ser de fácil

---

<sup>34</sup> Os indicadores quantitativos associados aos critérios foram escolhidos de maneira arbitrária para exemplificar o uso da ferramenta.

verificação de veracidade<sup>35</sup> e que os indicadores qualitativos<sup>36</sup> devem ser de fácil compreensão e determinação.

#### 7.1.2.1. Preço

##### **Descrição:**

A Economia proporcionada por um sistema de fôrmas é obtida por uma soma de fatores, entre eles preço, produtividade e reaproveitamento. Entre esses, o preço é, talvez, o fator de maior influência na tomada de decisão para a escolha de um sistema de fôrmas e, em muitos casos, pode ser o único critério a ser utilizado na escolha.

##### **Indicador:**

Custo em reais por metro quadrado de fôrma fabricada (R\$/m<sup>2</sup>). Para este estudo, a referência de custo foi extraída do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI). Foram consideradas as composições desoneradas (ver nota 26) de custo para a fabricação dos elementos pilares, vigas e lajes feitas com chapa de madeira compensada resinada com espessura de 17 milímetros (mm), no mês de setembro de 2018 o estado do Rio Grande do Sul.

##### **Critério:**

A atribuição de notas foi baseada a partir da variação dos valores das composições que estão apresentados na tabela 10, bem como a estimativa de custo ponderado pelo consumo de material para cada elemento que está esclarecido na tabela 12 (ambas as tabelas podem ser visualizadas no item de custos da revisão bibliográfica):

- Ao sistema chapa de madeira compensada resinada com espessura de 17 milímetros, utilizado como referência (59,04 R\$/m<sup>2</sup>), será admitido 80% da nota (gráfico 3);
- Aos sistemas com outros custos a nota será calculada por regra de três simples inversamente proporcional;

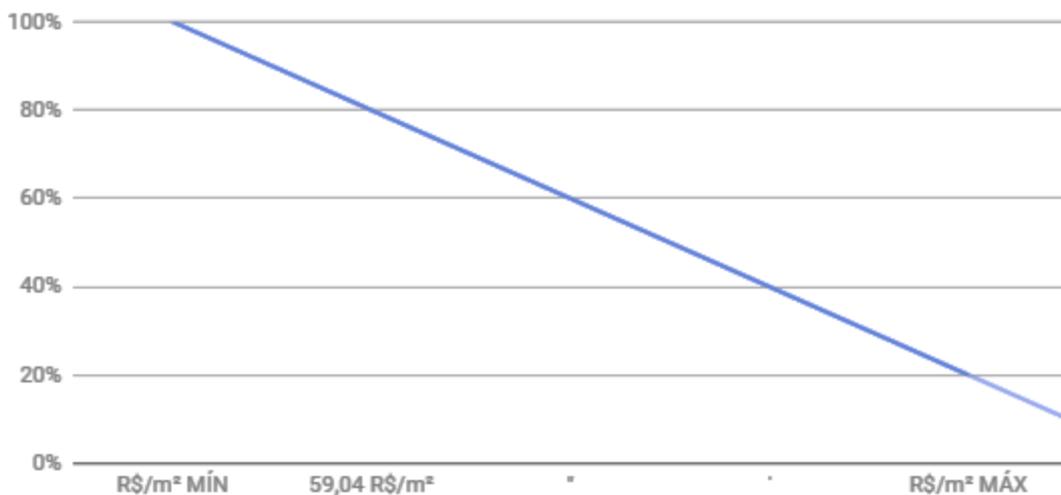
---

<sup>35</sup> A capacidade de verificar a veracidade do indicador talvez seja o principal motivo do critério de produtividade não estar contemplado na estrutura final da ferramenta, visto que esse é um indicador de difícil mensuração em um canteiro de obras. Para suprir essa lacuna, foram inseridos os critérios qualitativos de facilidade de execução (manuseio, montagem e desforma), os quais podem ser verificados e atualizados através de, por exemplo, uma entrevista rápida com funcionários.

<sup>36</sup> Os indicadores qualitativos associados aos critérios foram escolhidos de maneira arbitrária para exemplificar o uso da ferramenta. A atribuição de notas para esse tipo de indicadores é feita por enquadramento em categorias.

Gráfico 3 – Proposta de atribuição de nota para o indicador de preço (%)

Gráfico da Conversão de R\$/m<sup>2</sup> para %



#### 7.1.2.2. Reaproveitamento

##### Descrição:

O reaproveitamento de fôrmas com qualidade é desejado por diversos motivos, entre eles: a manutenção da geometria da estrutura de concreto armado em todos os pavimentos; a diminuição dos resíduos gerados; a utilização de peças intercambiáveis e que podem ser reutilizadas em obras futuras; a diminuição dos custos destinados ao sistema de fôrmas.

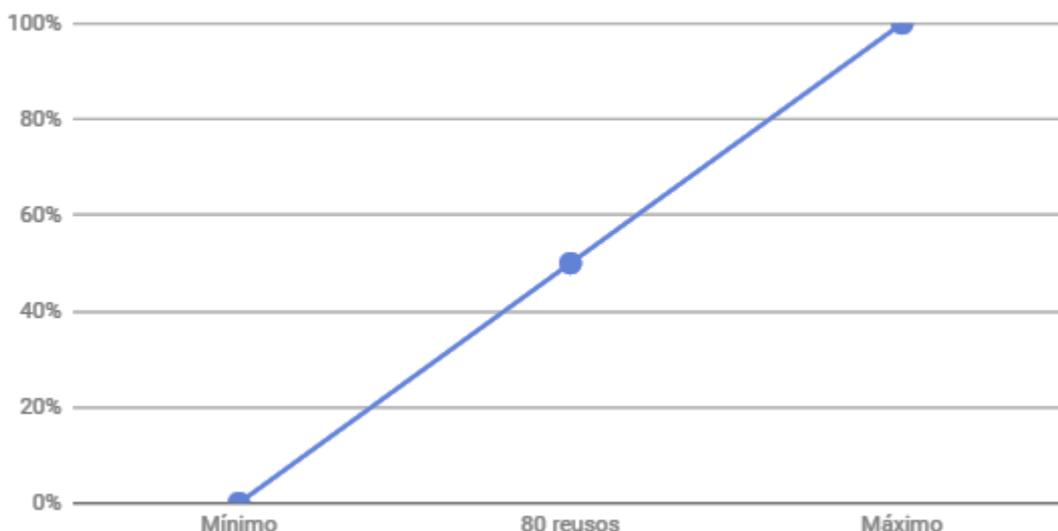
##### Indicador:

O indicador de reaproveitamento será dado pelo número de reusos previstos para cada material (n), conforme dados do fornecedor. O valor de referência considera o valor máximo de 80 utilizações para chapas compensadas fenólicas em condições adequadas de uso, conforme catálogo ULMA (Enkoflex, 2018).

##### Critério:

- Ao sistema com valor igual a 80 utilizações (compensado fenólico ULMA) receberá nota igual a 50%, pois se entende que sistemas metálicos apresentam um potencial de reuso ainda mais elevado (gráfico 4);
- Aos sistemas com outras quantidades de reusos a nota será calculada por regra de três simples diretamente proporcional;

Gráfico 4 – Proposta de atribuição de nota para o indicador de número de reusos (%)  
Gráfico da Conversão do número de reusos para %



### 7.1.2.3. Disponibilidade Regional de Material

#### Descrição:

A disponibilidade regional de material possui grande influência, pois importar sistemas de fôrmas pode significar um aumento no tempo de recebimento, aumento de custos, necessidade de treinamento ou importação da mão-de-obra. Assahi (2007), Nazar (2007) e Fajersztajn (1992) citam que distâncias mais próximas de fornecedores são fatores importantes no processo de escolha de sistemas de fôrmas, visto que facilitam a distribuição e fornecem serviços técnicos das mesmas.

#### Indicador:

Será dado pela distância em quilômetros do fornecedor com assistência técnica de cada sistema de fôrmas.

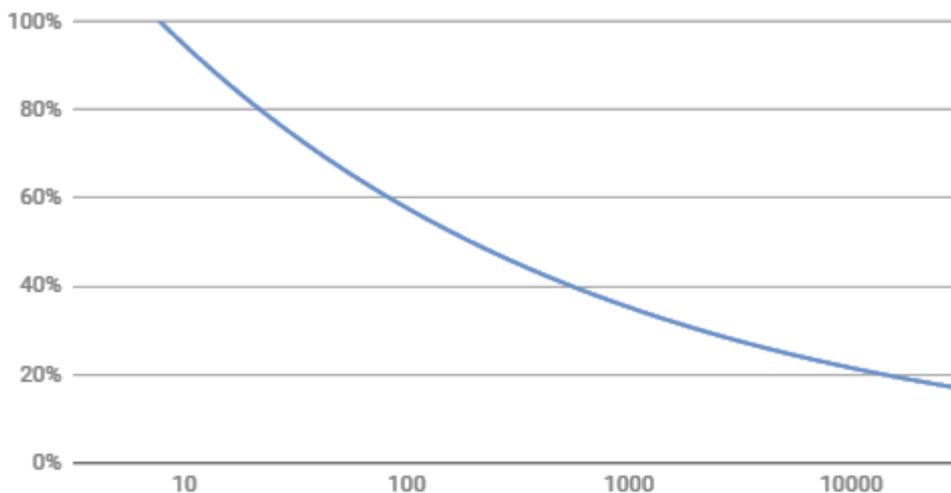
#### Critério:

- Para distâncias menores ou iguais à 10 km (ver nota 34) será atribuído 100% da nota;
- Para distâncias maiores do que 10 km o decréscimo da nota é obtido pelo inverso da curva logarítmica da base 10, o que permite que distâncias com mesma ordem de grandeza obtenham notas mais próximas, conforme expressão:

$$\text{Nota}_{\text{distância}}(x) = \frac{1}{\log_{10} x} [\%]$$

Em que  $x$  é a distância em quilômetros. A curva de atribuição de nota para disponibilidade regional de material pode ser vista no gráfico 5.

Gráfico 5 – Proposta de atribuição de nota para o indicador de distância de fornecedor (%)  
Gráfico da Conversão de km para %



#### 7.1.2.4. *Assistência Técnica, atendimento e qualidade dos serviços oferecidos*

##### **Descrição:**

A qualidade do atendimento e a capacidade de oferecer uma boa variedade de serviços agregados aos sistemas de fôrmas é um fator que pode ser significativo no processo de escolha entre fornecedores diferentes.

##### **Indicador:**

O indicador é qualitativo e considera que os seguintes itens, encontrados na bibliografia, sejam contemplados:

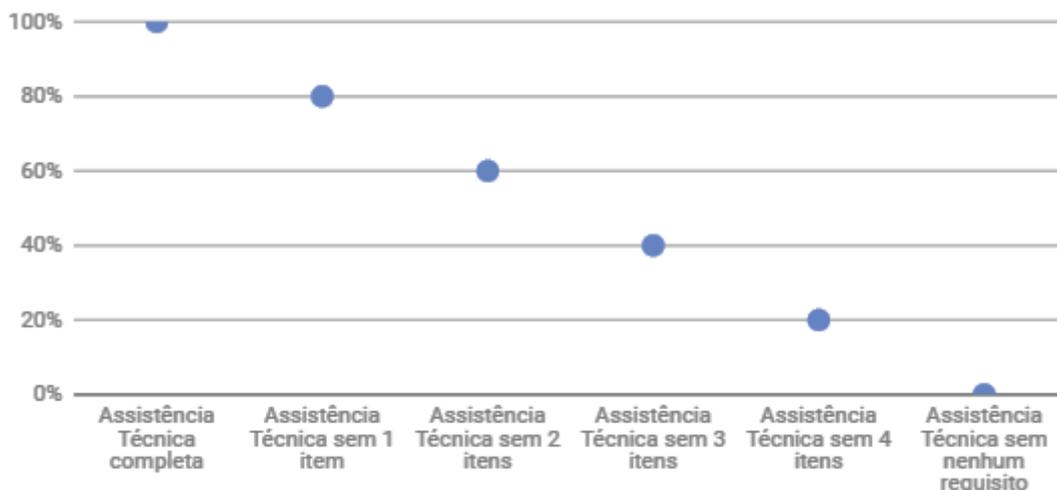
- Oferecimento de treinamentos;
- Manual de montagem;
- Serviços de manutenção;
- Portais de comunicação;
- Qualidade de atendimento.

##### **Critério:**

A atribuição de notas para assistência técnica é feita a partir do atendimento dos requisitos de assistência técnica completa:

- Nota máxima para serviço com assistência técnica completa, ou seja, os cinco requisitos são atendidos;
- Nota igual a 80% caso a assistência técnica não apresente um dos requisitos;
- Nota igual a 60% caso a assistência técnica não apresente dois requisitos;
- Nota igual a 40% caso a assistência técnica não apresente três requisitos;
- Nota igual a 20% caso a assistência técnica não apresente quatro requisitos;
- Nota igual a 0% caso a assistência técnica não apresente nenhum dos requisitos.

Gráfico 6 – Proposta de atribuição de nota para o indicador de qualidade da assistência técnica (%)



#### 7.1.2.5. Facilidade de Manuseio

##### **Descrição:**

Peças muito pesadas ou muito grandes podem diminuir o desempenho da mão de obra, seja pelo esforço físico necessário para fazer a elevação de peças ou pela dificuldade de manobra de peças com grandes dimensões, sendo necessário o uso de equipamentos auxiliares (ver nota 30).

##### **Indicador:**

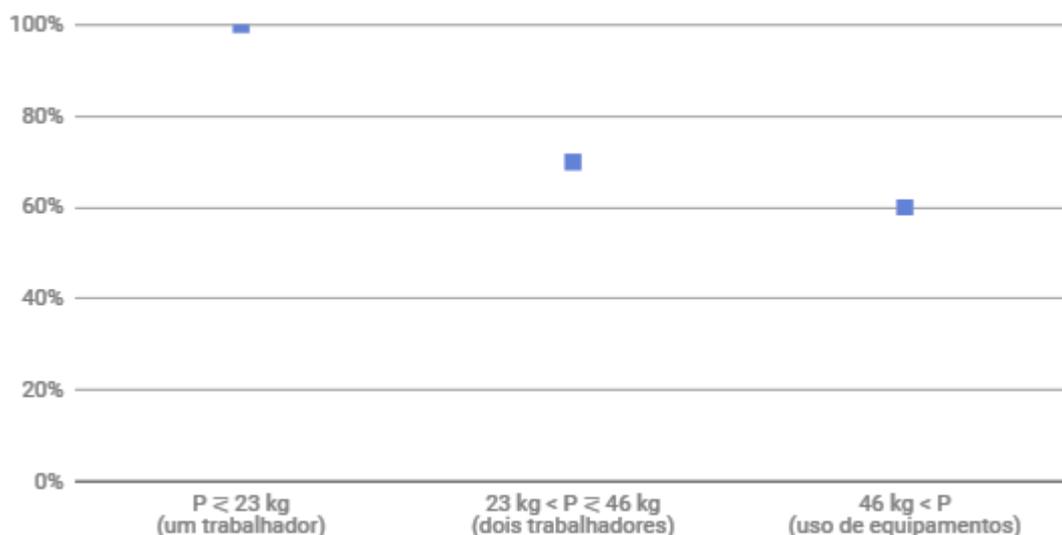
O indicador a ser considerado é o peso médio dos moldes dos sistemas a serem manuseados durante o processo de execução.

##### **Critério:**

A nota será atribuída conforme cumprimento das especificações das normas regulamentadoras de ergonomia e de condições e meio ambiente do trabalho na indústria da construção, respectivamente NR 17 e NR 18, e dos valores máximos de carga estabelecidos pelo National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH).

- Será atribuído ao sistema que apresentar a peça com peso máximo abaixo de 23 kg 100% do total da nota;
- Para sistemas com peças pesando entre 23 kg e 46 kg (até 2 trabalhadores) será atribuído 70% do total da nota;
- Para peças mais pesadas do que 46 kg será atribuído 60% da nota, pois se entende que é necessário o uso de equipamentos para fazer um levantamento frequente das peças.

Gráfico 7 – Proposta de atribuição de nota para o indicador de facilidade de manuseio (%)  
Gráfico da Conversão do peso máximo dos sistemas em kg para %



#### 7.1.2.6. Facilidade de Montagem

##### Descrição:

Sistemas bem planejados apresentam boas soluções de montagem e desmontagem, as quais melhoram a produtividade, diminuem o desgaste do trabalhador e a perda de peças danificadas por conexões permanentes ou destrutivas, como, por exemplo, conexões pregadas ou coladas.

A análise do critério facilidade de montagem é feita a partir da identificação de peças, elementos e conexões repetidas e compatíveis entre si. Entende-se que peças intercambiáveis facilitam o trabalho do operador na medida em que não se faz necessário a procura por elementos muito específicos de encaixe.

##### Indicadores:

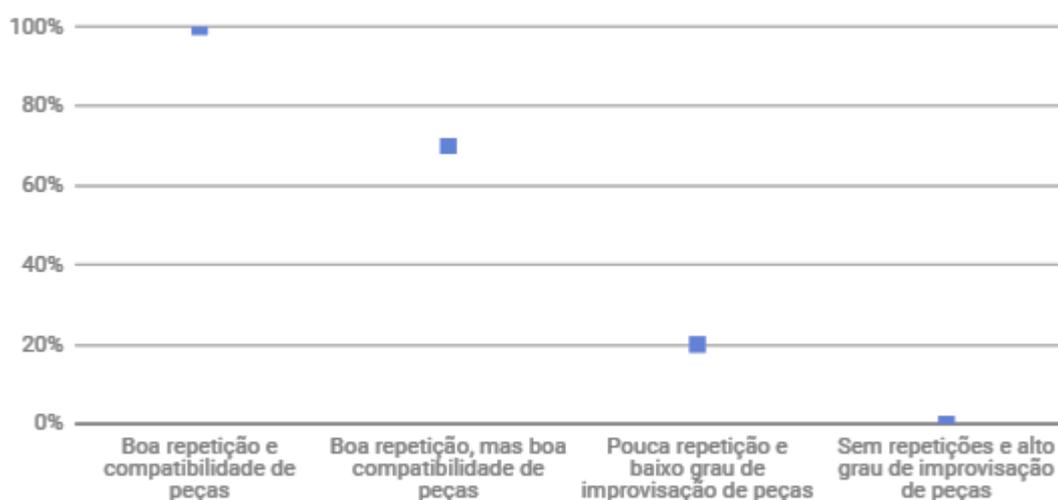
O indicador é qualitativo e considera que os seguintes itens, encontrados na bibliografia, sejam contemplados em diferentes níveis:

- Compatibilidade de peças;
- Repetição de peças.

### **Critério:**

- Ao sistema que usar repetição e compatibilidade de peças, será atribuído 100% da nota;
- Ao sistema que usar repetição de peças, com pouca compatibilidade entre elementos, será atribuído 70% da nota;
- Ao sistema que usar poucas repetições de peças, apresentando certo grau de improvisado nos elementos, será atribuído 20% da nota;
- Ao sistema que não apresentar repetições ou qualquer grau de compatibilidade, ou seja, for completamente improvisado, será atribuído 0% da nota.

Gráfico 8 – Proposta de atribuição de nota para o indicador de facilidade de montagem (%)  
Gráfico da Conversão da complexidade de montagem do sistema para %



#### *7.1.2.7. Facilidade de desforma*

### **Descrição:**

Os sistemas de fôrmas devem facilitar a etapa de desforma e permitir a reutilização dos equipamentos em próximas etapas. Fôrmas com muitas peças improvisadas tendem a apresentar menos usos e gerar mais resíduos. Para isso, os fatores a serem considerados são os encaixes, conexões e apoios, os quais, se bem modulados, devem facilitar a desforma dos sistemas.

### **Indicadores:**

O indicador é qualitativo e considera que os seguintes itens, encontrados na bibliografia, sejam contemplados em diferentes níveis:

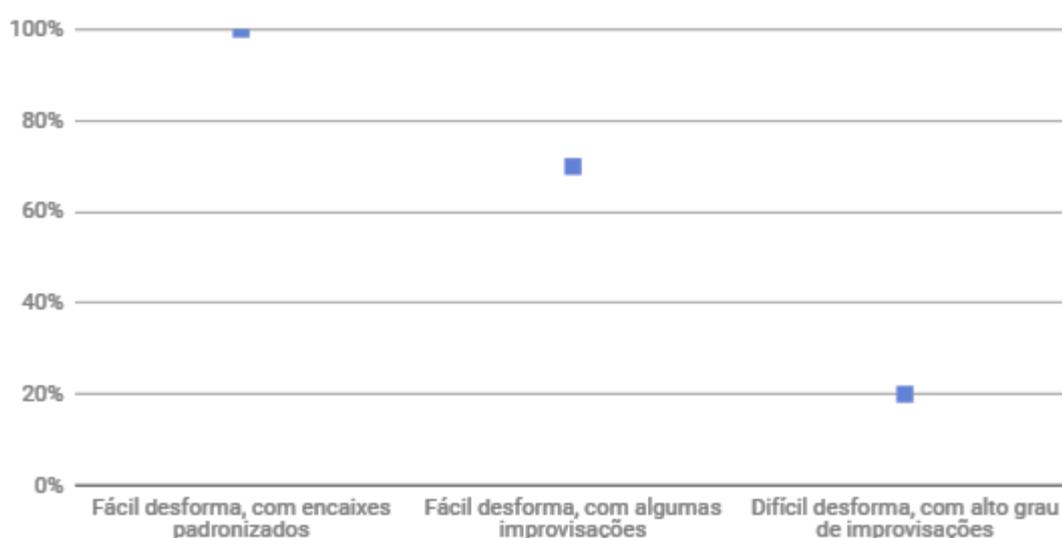
- Facilidade de desforma;
- Apoios, encaixes e conexões padronizadas;

## Critério:

- Ao sistema que seja considerado de fácil desforma, com o uso de encaixes, conexões e apoios padronizados, será atribuído 100% da nota;
- Ao sistema que seja considerado de fácil desforma, que apresente baixo grau de improvisação nos encaixes e nos apoios 70% da nota;
- Ao sistema que não seja considerado de fácil desforma e necessite de um grau superior de conexões e apoios improvisados, será atribuído 20% da nota.

Gráfico 9 – Proposta de atribuição de nota para o indicador de facilidade de desforma (%)

Gráfico da Conversão da observação da facilidade de desfôrma dos sistemas para %



### 7.2. Definição de estratégias (AHP)

A definição de estratégias é realizada através das comparações paritárias entre critérios na matriz da AHP. A matriz foi construída com base nos algoritmos utilizados no trabalho de Godoi (2014), os quais foram recriados no software MICROSOFT EXCEL®. A interface final da ferramenta pode ser visualizada no APÊNDICE A. A montagem e aplicação da mesma foi estruturada da seguinte maneira:

#### 7.2.1. Escala de comparação utilizada

O primeiro passo escolhido para a aplicação da matriz foi a definição da escala de pesos de comparação. A escala utilizada foi adaptada a partir da escala fundamental de números absolutos propostos por Saaty (2013). Os valores intermediários foram suprimidos com o intuito de facilitar a escolha da escala pelo decisor, reduzindo a quantidade de 9 intensidades para apenas 3 – além de ressaltar as diferenças de importância entre os critérios. A simplificação da escala de importâncias pode ser observada na tabela 13.

Tabela 13 – Escala de intensidade de importâncias (Adaptado de SAATY, 2013)

<b>Escala de Importância</b>	<b>Peso</b>	<b>Recíprocos</b>
Igual importância	1	1
Forte importância	5	$1/5 = 0,20$
Importância absoluta ou extrema	9	$1/9 \approx 0,11$

### 7.2.2. Comparação de estratégias

A matriz de Análise Hierárquica de Processos apresenta algumas propriedades que facilitam a comparação entre as estratégias como, por exemplo, a diagonal principal representar a comparação de critérios iguais e, por esse motivo, é preenchida com o peso 1 (um) do julgamento.

Além disso, os valores abaixo da diagonal principal são preenchidos com os inversos dos valores preenchidos acima da diagonal principal. Dessa forma, o preenchimento das comparações fica reduzido a comparar apenas os itens acima da diagonal principal. Em termos quantitativos isso significa uma redução de 49 para 21 comparações, o que induz a um preenchimento mais consistente e que facilita a identificação de números incoerentes.

Os critérios utilizados nas comparações paritárias são os mesmos critérios que apresentam a possibilidade de gerar indicadores. As notas calculadas a partir dos indicadores são multiplicadas pelas importâncias de cada critério do autovetor, facilitando o processo de tomada de decisão do sistema de fôrmulas mais adequado.

O *layout* da tabela para julgamentos entre critérios pode ser visto na tabela 14. As comparações são realizadas considerando que os itens da coluna “critério” apresentam um grau de importância (pesos da tabela 13) em relação aos itens da coluna “comparação”. Caso “critério” for considerado mais importante que “comparação”, utilizam-se os pesos da escala normal. Caso “critério” for considerado menos importante que “comparação”, utilizam-se os pesos da escala recíproca.

Critério	Peso	Comparação
Preço corresponde a		» Disponibilidade Regional de Material
Preço corresponde a		» Atendimento/Assistência
Preço corresponde a		» Reaproveitamento
Preço corresponde a		» Facilidade de Montagem
Preço corresponde a		» Facilidade de Desforma
Preço corresponde a		» Facilidade de Manuseio
Disponibilidade Regional de Material corresponde a		» Atendimento/Assistência
Disponibilidade Regional de Material corresponde a		» Reaproveitamento
Disponibilidade Regional de Material corresponde a		» Facilidade de Montagem
Disponibilidade Regional de Material corresponde a		» Facilidade de Desforma
Disponibilidade Regional de Material corresponde a		» Facilidade de Manuseio
Atendimento/Assistência corresponde a		» Reaproveitamento
Atendimento/Assistência corresponde a		» Facilidade de Montagem
Atendimento/Assistência corresponde a		» Facilidade de Desforma
Atendimento/Assistência corresponde a		» Facilidade de Manuseio
Reaproveitamento corresponde a		» Facilidade de Montagem
Reaproveitamento corresponde a		» Facilidade de Desforma
Reaproveitamento corresponde a		» Facilidade de Manuseio
Facilidade de Montagem corresponde a		» Facilidade de Desforma
Facilidade de Montagem corresponde a		» Facilidade de Manuseio
Facilidade de Desforma corresponde a		» Facilidade de Manuseio

Tabela 14 – Tabela de julgamento de critérios

### 7.2.3. Transferência de dados para a matriz

Os julgamentos preenchidos na tabela 14 são automaticamente transferidas para células acima da diagonal principal (células “brancas” da tabela 15). A coluna “Critério” e a coluna “Comparação” correspondem a, respectivamente, posição nas linhas da matriz e a posição nas colunas da matriz da tabela 15.

Critérios de Escolha	Comparação						
	Preço	Disponibilidade Regional de Material	Atendimento/Assistência	Reaproveitamento	Facilidade de Montagem	Facilidade de Desforma	Facilidade de Manuseio
Preço							
Disponibilidade Regional de Material							
Atendimento/Assistência							
Reaproveitamento							
Facilidade de Montagem							
Facilidade de Desforma							
Facilidade de Manuseio							

Tabela 15 – Matriz de julgamentos não preenchida

Os valores da diagonal principal são preenchidos automaticamente conforme for realizada a comparação entre os critérios com o valor igual a 1 (um). As células abaixo da diagonal principal são preenchidas automaticamente com os inversos dos valores acima da diagonal (células brancas).

#### 7.2.4. *Análise de Consistência*

A análise de consistência é a aprovação matemática do preenchimento e leva em consideração que as comparações são dependentes entre si. Assim, toda vez que uma comparação for incoerente com as demais, as taxas de inconsistência aumentam. As equações matemáticas para verificação de consistência estão apresentadas no capítulo sobre a Decisão de critérios múltiplos. Caso a taxa de consistência (CR) seja maior do que 10% (SAATY, 2013), a aplicação deve ser refeita para que seja atingida a coerência de preenchimento.

#### 7.3. Composição de nota a partir de indicadores e autovetor

Com o índice de consistência satisfatório, os valores do autovetor podem ser utilizados na composição das notas. Cada item do vetor corresponde à porcentagem de importância de cada critério em função das comparações feitas pela matriz. A soma das porcentagens dos critérios no autovetor deve ser sempre igual a 100%. Os critérios com maiores porcentagens representam os principais fatores de influência de escolha de sistemas de fôrmas.

Na primeira linha da tabela apresentada na figura 25 são transportadas as importâncias de cada critério no autovetor (resultado das comparações na AHP). Na segunda linha estão apresentados os indicadores de referência que estão associados a cada critério e na terceira linha as notas associadas aos indicadores de referência. Os critérios que não apresentam indicadores de referência utilizam indicadores qualitativos, com atribuição de nota por enquadramento em categorias.

As notas para os indicadores de cada sistema de fôrmas são calculadas conforme apresentado em '7.1.2'. As notas dos critérios de cada opção de sistema de fôrmas são multiplicadas pelas respectivas importâncias preenchidas na primeira linha da ferramenta. A soma desses produtos dá a nota para cada opção de sistemas de fôrmas. O sistema que apresentar maior nota é o mais adequado para o atendimento das estratégias definidas com a utilização da AHP.

A interface da composição de notas do sistema utilizando indicadores e as importâncias do autovetor pode ser vista na figura 25.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Componente Autovetor		%		%		%		%		%		%		%	
2	Referência	59,04 R\$/m²		10,00 km		-	-	80,00 reusos		-	-	-	-	-	-	-
3	Nota Referência	80,00 %		100,00 %		-	-	50,00 %		-	-	-	-	-	-	-
4	Critérios de Escolha/ Sistema de Fôrmas	Preço (R\$/m²)	NOTA PREÇO (%)	Disponibilidade Regional de Material (km)	NOTA DISTÂNCIA (%)	Quantidade de requisitos (n)	NOTA ASSISTÊNCIA (%)	Reaproveitamento (n)	NOTA REAPROVEITAMENTO (%)	Facilidade de Montagem (categoria por percepção)		Facilidade de Desfôrma (categoria por percepção)		Facilidade de manuseio (categoria por peso em kg)		Nota (%)
5	Sistema de fôrmas 1	R\$/m² 1		km 1		n 1		n 1								
6	Sistema de fôrmas 2	R\$/m² 2		km 2		n 2		n 2								
7	Sistema de fôrmas 3	R\$/m² 3		km 3		n 3		n 3								
8	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
9	Sistema de fôrmas 'n'	R\$/m² 'n'		km 'n'		n 'n'		n 'n'								

Figura 25 – Interface da ferramenta na composição das notas dos sistemas de fôrmas com indicadores

### Exemplo de composição de nota com autovetor:

Caso um autovetor seja composto pelos termos apresentados na tabela 16<sup>37</sup> após ser realizado o julgamento pelo tomador de decisões e a taxa de consistência (CR) seja considerada consistente, pode-se passar para a etapa de composição de notas com o uso de indicadores.

Tabela 16 - Porcentagem da importância relativa dos itens do autovetor.

Critérios	Autovetor (Importância dos Critérios)
Preço	10%
Disponibilidade Regional de Material	15%
Reutilização	15%
Assistência Técnica, atendimento e serviços	30%
Facilidade de manuseio	5%
Facilidade de montagem	5%
Facilidade de desforma	20%
Total (soma)	100%

<sup>37</sup> As importâncias dos critérios na tabela 16 foram escolhidas de maneira arbitrária com a intenção de ilustrar o exemplo.

Se para o critério de preço um sistema de fôrmas apresentar um preço ponderado de 70,00 R\$/m<sup>2</sup> de fôrma produzida, utilizando o cálculo da proporcionalidade da nota com relação ao preço de referência (R\$ 59,04 R\$/m<sup>2</sup> equivale a 80% da nota relativa ao preço), e lembrando que, para o critério preço, a proporção da nota se dá de maneira inversamente proporcional ao aumento do preço, temos que:

$$\text{Nota para critério de preço} = \frac{59,04 \text{ R}\$/\text{m}^2 \cdot 80\%}{70,00 \text{ R}\$/\text{m}^2} = 67,47\%$$

Para realizar a composição da nota basta fazer o produto entre a nota do critério e o valor correspondente ao preço no autovetor, ou seja, 10% do total dos critérios. A figura 26 apresenta a representação gráfica da composição de nota para o preço deste exemplo:

$$\text{Proporção preço} = 67,47\% \cdot 10\% = 6,47\%$$

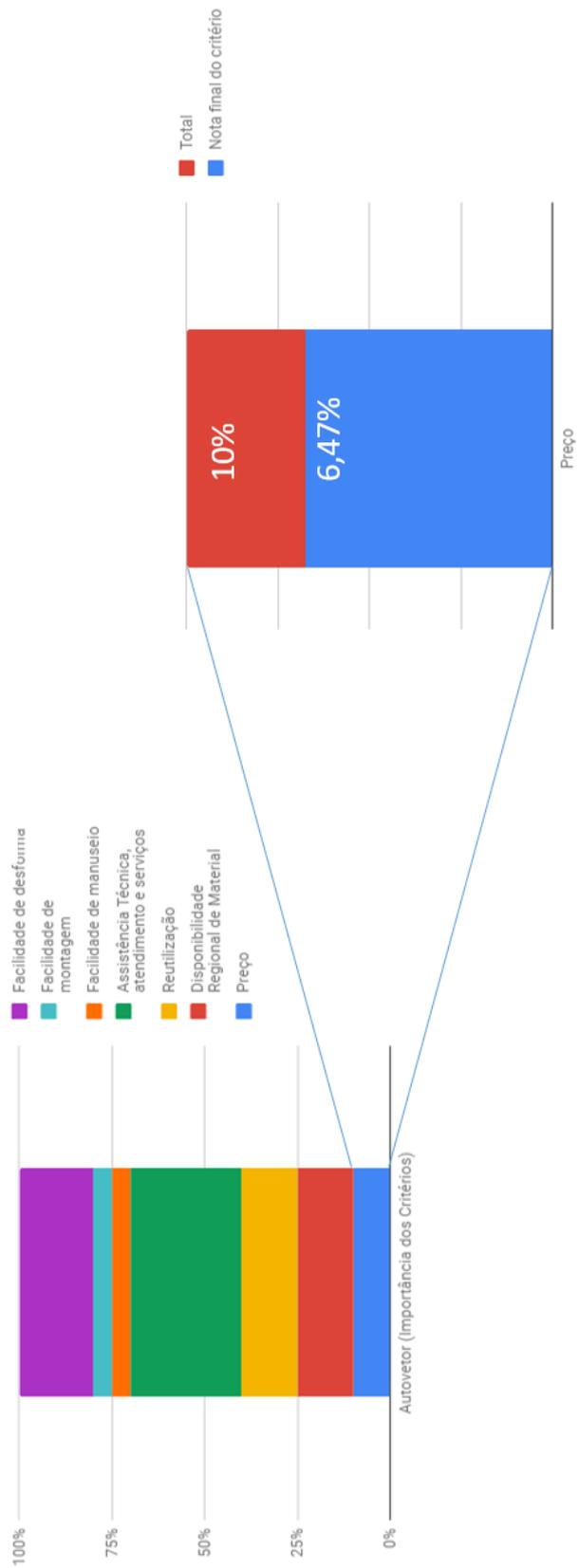


Figura 26 – Representação gráfica da composição de nota para preço (Exemplo)

## 8. ENTREVISTA

Com a finalidade de confirmar a importância dos critérios utilizados para compor a análise hierárquica de processos e agregar ao conteúdo deste trabalho percepções do mercado da construção civil, foi realizada uma entrevista com um profissional especialista em sistemas de fôrmas.

O especialista entrevistado apresenta formação como engenheiro civil e atua em uma empresa que fornece diferentes sistemas de fôrmas com alto grau de industrialização e com soluções para diversos tipos de estrutura. O roteiro de questões utilizadas para a entrevista está apresentado no APÊNDICE C.

Para o especialista, a escolha do sistema de fôrmas se dá, em princípio, desde a concepção do tipo de estrutura mais adequada (entre calculista e cliente) para a realização de um empreendimento. Nesse sentido, são observadas questões como existência e o uso de uma estrutura de periferia, se será comercial ou para estacionamentos, por exemplo. Cada uso implica demandas estruturais diferentes, com diferentes espaçamentos entre pilares e diferentes pés-direitos.

Entre as soluções oferecidas pela empresa, foi ressaltada a preferência pelo uso de fôrmas com moldes de chapas de compensado para estruturas executadas com laje maciça. As chapas de compensado podem ser alugadas, adquiridas e muitas vezes são incorporadas a outros elementos do sistema.

A opção pelo uso de compensado inicialmente foi feita por questões de custo, sendo que este apresenta preço mais conveniente frente a outras soluções. A continuidade do uso de compensado se dá, atualmente, pelo fato de as principais soluções industrializadas de escoramento e demais equipamentos serem projetados para atender o uso desse tipo de molde. Nesse sentido, foi ressaltada a menor utilização de outros tipos de moldes de maneira considerável em relação às chapas de compensado.

Foi destacado, também, o desgaste progressivo com perda de qualidade das chapas de compensado através da diminuição da resistência e descolamento de lâminas, o que exige manutenções e substituições constantes.

No que se refere à opção por diferentes tipos de soluções em termos de escoramento e cimbramento, foi indicado que a escolha pode ser feita com o auxílio da equipe que realizará a montagem das estruturas de apoio conforme percepções de adaptabilidade e preferência de uso. Foi ressaltado, também, que devem ser observadas com cuidado as cargas que atuam sobre os vigamentos e escoramentos.

Sistemas racionalizados apresentam elementos integrados e tem como principais vantagens o aumento da produtividade e a diminuição de erros, pois as peças se encaixam somente em configurações pré-determinadas. Para facilitar o uso desse tipo de sistema, foi afirmado que são oferecidos acompanhamentos técnicos, treinamentos, manuais de montagem,

instruções técnicas e certificação, e foi salientado que é corriqueiro equipes não estarem habituadas a trabalhar com sistemas racionalizados. De maneira resumida, foi apontado pelo especialista que o incremento tecnológico dos sistemas de fôrmas exige capacitação técnica da mão de obra.

Como exemplo de melhoria na produtividade foram citados sistemas de fôrmas que utilizam painéis com dimensões padronizadas, que se encaixam sobre as escoras e apresentam um apoio de liberação rápida, o qual mantém somente as escoras remanescentes e permite movimentar os equipamentos liberados para as etapas seguintes.

Por outro lado, foi apontado que a adaptação nas soluções com elementos integrados é um dos fatores que influenciam na complicação da desforma, na diminuição de reaproveitamento, na demanda por maior quantidade de jogos de fôrmas.

A facilidade de manuseio foi também destacada como fator importante, pois a falta de equipamentos de transporte dentro de uma obra, a exemplo de guas, pode inviabilizar a utilização de sistemas de fôrmas que contenham peças mais pesadas.

Segundo o especialista, a distância em relação ao fornecedor é avaliada em conjunto com outros fatores, como a preferência por uma solução tecnológica e a abundância de determinada solução em determinada região, fator este que está relacionado com os custos diretos dos sistemas, o qual, por sua vez, foi apontado como mais influente na tomada de decisão dos clientes.

Também foi sinalizado que o fornecedor deve proporcionar ao cliente serviços de atendimento para não deixar o cliente com carências técnicas durante a execução dos sistemas. O relacionamento com cliente e a manutenção de parcerias foi apontado como um critério importante no momento da escolha entre fornecedores e que as empresas buscam cada vez mais melhorar os canais de comunicação com o cliente.

Por fim, para o especialista, os itens levantados na pesquisa bibliografia foram considerados importantes na composição dos critérios a serem utilizados na decisão de critérios múltiplos.

## 9. RESULTADOS

### 9.1. Aplicação da ferramenta

Para testar a aplicação da AHP, a mesma foi submetida ao preenchimento do mesmo especialista em fôrmas para construção civil. O profissional recebeu instruções sobre o preenchimento da ferramenta, sobre a escala de importância dos pesos a serem considerados e sobre o atendimento do índice de consistência. A figura 27 apresenta os resultados do preenchimento dos julgamentos feitos pelo profissional.

	Critério	Peso	Comparação
	Preço corresponde a	5,0	» Disponibilidade Regional de Material
	Preço corresponde a	5,0	» Atendimento/Assistência
	Preço corresponde a	0,11	» Reaproveitamento
	Preço corresponde a	1,0	» Facilidade de Montagem
	Preço corresponde a	1,0	» Facilidade de Desforma
	Preço corresponde a	1,0	» Facilidade de Manuseio
Disponibilidade Regional de Material	Disponibilidade Regional de Material corresponde a	0,11	» Atendimento/Assistência
Disponibilidade Regional de Material	Disponibilidade Regional de Material corresponde a	0,2	» Reaproveitamento
Disponibilidade Regional de Material	Disponibilidade Regional de Material corresponde a	1,0	» Facilidade de Montagem
Disponibilidade Regional de Material	Disponibilidade Regional de Material corresponde a	1,0	» Facilidade de Desforma
Disponibilidade Regional de Material	Disponibilidade Regional de Material corresponde a	1,0	» Facilidade de Manuseio
Atendimento/Assistência	Atendimento/Assistência corresponde a	1,0	» Reaproveitamento
Atendimento/Assistência	Atendimento/Assistência corresponde a	5,0	» Facilidade de Montagem
Atendimento/Assistência	Atendimento/Assistência corresponde a	5,0	» Facilidade de Desforma
Atendimento/Assistência	Atendimento/Assistência corresponde a	0,11	» Facilidade de Manuseio
Reaproveitamento	Reaproveitamento corresponde a	1,0	» Facilidade de Montagem
Reaproveitamento	Reaproveitamento corresponde a	1,0	» Facilidade de Desforma
Reaproveitamento	Reaproveitamento corresponde a	1,0	» Facilidade de Manuseio
Facilidade de Montagem	Facilidade de Montagem corresponde a	1,0	» Facilidade de Desforma
Facilidade de Montagem	Facilidade de Montagem corresponde a	1,0	» Facilidade de Manuseio
Facilidade de Desforma	Facilidade de Desforma corresponde a	1,0	» Facilidade de Manuseio

Figura 27 – Julgamentos realizados pelo especialista

Após o preenchimento os dados foram transportados para as células acima da diagonal principal (figura 28). O preenchimento da diagonal principal e das células abaixo da diagonal principal é feito automaticamente com os valores recíprocos.

Critérios de Escolha	Preço						
		Disponibilidade Regional de Material	Atendimento/Assistência	Reaproveitamento	Facilidade de Montagem	Facilidade de Desforma	Facilidade de Manuseio
Preço	1,0	5,0	5,0	0,1	1,0	1,0	1,0
Disponibilidade Regional de Material	0,2	1,0	0,1	0,2	1,0	1,0	1,0
Atendimento/Assistência	0,2	9,0	1,0	1,0	5,0	5,0	0,1
Reaproveitamento	9,0	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Facilidade de Montagem	1,0	1,0	0,2	1,0	1,0	1,0	1,0
Facilidade de Desforma	1,0	1,0	0,2	1,0	1,0	1,0	1,0
Facilidade de Manuseio	1,0	1,0	9,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Figura 28 – Matriz dos julgamentos realizados pelo especialista

Observa-se no autovetor (figura 29) uma importância maior dada ao critério de assistência técnica, enquanto o preço, apontado na entrevista como um fator importante na escolha de chapas compensadas, seria apenas o quarto critério mais importante.

Critérios	Autovetor	Autovalor	N	IC	CR
Preço	13,73%	11,3	7,0	0,72	0,54
Disponibilidade Regional de Material	6,40%				
Atendimento/Assistência	22,61%				
Reaproveitamento	21,19%				
Facilidade de Montagem	9,49%				
Facilidade de Desforma	9,49%				
Facilidade de Manuseio	17,10%				
	100%				

Figura 29 – Resultados do julgamento do especialista

O índice de consistência (CI) é dado pela equação 1 (ver capítulo 4). O cálculo para a aplicação está demonstrado a seguir:

$$CI = \frac{11,3 - 7}{7 - 1} = 0,72$$

O próximo passo é a verificação da taxa de consistência, a qual deve ser menor do que 0,1 (CR<0,1, SAATY, 2013). Para calculá-la é necessário, além do valor do CI, o valor do índice de consistência aleatório (IR), dado pela tabela 7 (ver capítulo 4). Como o número de critérios da matriz é igual a 7, o valor do IR é igual a 1,32. Temos, portanto:

$$CR = \frac{0,72}{1,32} = 0,54$$

Como o valor de CR foi igual a 0,54 e, portanto, maior do que 0,1, o preenchimento da matriz foi considerado inconsistente (figura 29). Além disso, é evidente a divergência de importância do critério de preço apontada no autovetor e a da observada na entrevista. Dessa maneira, a comparação paritária dos critérios deveria ser ajustada, por tentativas, com o objetivo de obter uma melhor consistência entre os julgamentos.

A inconsistência dos resultados pode ser justificada por alguns motivos, entre eles a falta de familiaridade do especialista com a ferramenta, a falta de clareza com que foram passadas as instruções para a realização dos julgamentos, as simplificações de cálculo dos parâmetros da matriz e a simplificação adotada na escala de importâncias.

Em contraponto, a figura 30 apresenta uma tentativa de realizar comparações consistentes a partir de ajustes<sup>38</sup> nas comparações realizadas pelo especialista.

	Critério	Peso	Comparação
	Preço corresponde a	5,0	» Disponibilidade Regional de Material
	Preço corresponde a	5,0	» Atendimento/Assistência
	Preço corresponde a	1,0	» Reaproveitamento
	Preço corresponde a	9,0	» Facilidade de Montagem
	Preço corresponde a	9,0	» Facilidade de Desforma
	Preço corresponde a	9,0	» Facilidade de Manuseio
	Disponibilidade Regional de Material corresponde a	1,0	» Atendimento/Assistência
	Disponibilidade Regional de Material corresponde a	0,2	» Reaproveitamento
	Disponibilidade Regional de Material corresponde a	5,0	» Facilidade de Montagem
	Disponibilidade Regional de Material corresponde a	5,0	» Facilidade de Desforma
	Disponibilidade Regional de Material corresponde a	5,0	» Facilidade de Manuseio
	Atendimento/Assistência corresponde a	0,2	» Reaproveitamento
	Atendimento/Assistência corresponde a	5,0	» Facilidade de Montagem
	Atendimento/Assistência corresponde a	5,0	» Facilidade de Desforma
	Atendimento/Assistência corresponde a	5,0	» Facilidade de Manuseio
	Reaproveitamento corresponde a	9,0	» Facilidade de Montagem
	Reaproveitamento corresponde a	9,0	» Facilidade de Desforma
	Reaproveitamento corresponde a	9,0	» Facilidade de Manuseio
	Facilidade de Montagem corresponde a	1,0	» Facilidade de Desforma
	Facilidade de Montagem corresponde a	1,0	» Facilidade de Manuseio
	Facilidade de Desforma corresponde a	1,0	» Facilidade de Manuseio

Figura 30 – Julgamentos consistentes

<sup>38</sup> Ajustes realizados pelo autor.

Na figura 31 é possível observar a composição da matriz de comparação preenchida com os julgamentos feitos com o objetivo do atendimento da taxa de consistência, com a complementação dos valores da diagonal principal e com os valores recíprocos.

Critérios de Escolha	Preço	Critérios de Escolha					
		Disponibilidade Regional de Material	Atendimento/Assistência	Reaproveitamento	Facilidade de Montagem	Facilidade de Desforma	Facilidade de Manuseio
Preço	1,0	5,0	5,0	1,0	9,0	9,0	9,0
Disponibilidade Regional de Material	0,2	1,0	1,0	0,2	5,0	5,0	5,0
Atendimento/Assistência	0,2	1,0	1,0	0,2	5,0	5,0	5,0
Reaproveitamento	1,0	5,0	5,0	1,0	9,0	9,0	9,0
Facilidade de Montagem	0,1	0,2	0,2	0,1	1,0	1,0	1,0
Facilidade de Desforma	0,1	0,2	0,2	0,1	1,0	1,0	1,0
Facilidade de Manuseio	0,1	0,2	0,2	0,1	1,0	1,0	1,0

Figura 31 – Matriz dos julgamentos consistentes

Na figura 32 estão explicitados o autovetor, o autovalor, a quantidade de termos, o índice de consistência e a taxa de consistência para a aplicação de julgamentos apresentada na figura 30.

Critérios	Autovetor	Autovalor	N	CI	CR
Preço	34,23%	7,5	7,0	0,08	0,06
Disponibilidade Regional de Material	11,27%				
Atendimento/Assistência	11,27%				
Reaproveitamento	34,23%				
Facilidade de Montagem	3,00%				
Facilidade de Desforma	3,00%				
Facilidade de Manuseio	3,00%				
Total	100%				

Figura 32– Resultados do julgamento consistente

Com CR igual a 0,06 o autovetor é considerado consistente, as importâncias de cada critério denotam a estratégia escolhida, priorizando preço e reaproveitamento, e os valores das importâncias podem ser utilizados na composição de notas.

## 9.2. Comparação com outras ferramentas disponíveis

A análise de resultados também foi expandida de maneira a contemplar os resultados para calculadoras de AHP online. Nesse sentido, com objetivo de comparação, foi utilizado o

site *AHP Online Calculator*<sup>39</sup>, que é uma ferramenta online que permite realizar comparações entre até 20 critérios. A base de cálculo da ferramenta foi estruturada a partir do trabalho de Alonso e Lamata (2006)<sup>40</sup>.

Foi comparado o preenchimento dos julgamentos pela ferramenta montada no Software MICROSOFT EXCEL® a partir do trabalho realizado por Godoi (2014), que oferece simplificações nos cálculos do autovalor e autovetor. Foram comparados tanto os resultados do preenchimento considerado consistente (figura 33), quanto do preenchimento considerado inconsistente (figura 34).

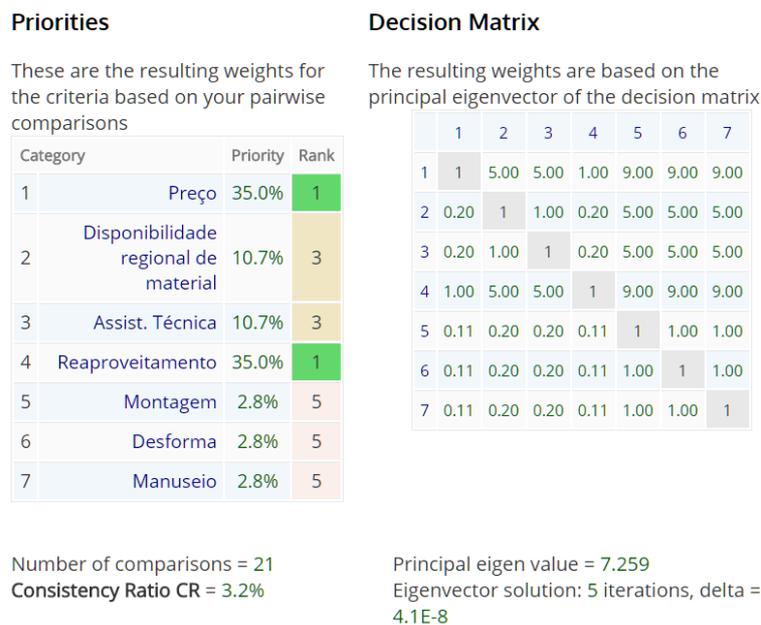


Figura 33 – AHP Online Calculator – Preenchimento consistente

<sup>39</sup> Acessada em novembro de 2018 em: <https://bpmsg.com/ahp-online-calculator/>

<sup>40</sup> Alonso, J., & Lamata, T. (2006). Consistency in the Analytic Hierarchy Process: a New Approach. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 14, 445–459.

### Priorities

These are the resulting weights for the criteria based on your pairwise comparisons

Category	Priority	Rank
1 Preço	15.8%	4
2 Disponibilidade regional de material	5.1%	7
3 Assist. Técnica	16.7%	3
4 Reaproveitamento	23.6%	1
5 Montagem	8.3%	5
6 Desforma	8.3%	5
7 Manuseio	22.3%	2

Number of comparisons = 21  
Consistency Ratio CR = 43.3%

### Decision Matrix

The resulting weights are based on the principal eigenvector of the decision matrix

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	5.00	5.00	0.11	1.00	1.00	1.00
2	0.20	1	0.11	0.20	1.00	1.00	1.00
3	0.20	9.00	1	1.00	5.00	5.00	0.11
4	9.00	5.00	1.00	1	1.00	1.00	1.00
5	1.00	1.00	0.20	1.00	1	1.00	1.00
6	1.00	1.00	0.20	1.00	1.00	1	1.00
7	1.00	1.00	9.00	1.00	1.00	1.00	1

Principal eigen value = 10.483  
Eigenvector solution: 13 iterations, delta = 1.6E-8

Figura 34 – *AHP Online Calculator* – Preenchimento inconsistente

Pode ser observado que, para o julgamento considerado inconsistente houve significativa alteração na classificação dos critérios, enquanto para a matriz de julgamento considerado consistente a classificação foi mantida, mas as proporções foram alteradas. Isso pode ser explicado pelo fato do método proposto por Godoi (2014) apresentar simplificações no cálculo do autovetor e do autovalor. Além disso, a adaptação na escala de julgamento dos critérios proposto por Saaty (1991) tende a gerar inconsistência, pelo fato de os números 5 e 9 não serem múltiplos.

Outro ponto importante a ser destacado é uma facilidade de preenchimento que a *AHP Online Calculator* apresenta, em que pode ser escolhido o critério que apresenta mais importância para o decisor (figura 35). Este aspecto contribui para a minimização de erros de preenchimento de julgamentos recíprocos (inversos da escala de intensidade de importância de Saaty, 1991).

A - Importance - or B?		Equal	How much more?								
1	<input checked="" type="radio"/> Preço	or <input type="radio"/> Disponibilidade Regional	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
2	<input checked="" type="radio"/> Preço	or <input type="radio"/> Atendimento/Assistência	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
3	<input checked="" type="radio"/> Preço	or <input type="radio"/> Reaproveitamento	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
4	<input checked="" type="radio"/> Preço	or <input type="radio"/> Facilidade de Manuseio	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
5	<input checked="" type="radio"/> Preço	or <input type="radio"/> Facilidade de Montagem	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
6	<input checked="" type="radio"/> Preço	or <input type="radio"/> Facilidade de Desforma	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
7	<input checked="" type="radio"/> Disponibilidade Regional	or <input type="radio"/> Atendimento/Assistência	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
8	<input checked="" type="radio"/> Disponibilidade Regional	or <input type="radio"/> Reaproveitamento	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
9	<input checked="" type="radio"/> Disponibilidade Regional	or <input type="radio"/> Facilidade de Manuseio	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
10	<input checked="" type="radio"/> Disponibilidade Regional	or <input type="radio"/> Facilidade de Montagem	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
11	<input checked="" type="radio"/> Disponibilidade Regional	or <input type="radio"/> Facilidade de Desforma	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
12	<input checked="" type="radio"/> Atendimento/Assistência	or <input type="radio"/> Reaproveitamento	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
13	<input checked="" type="radio"/> Atendimento/Assistência	or <input type="radio"/> Facilidade de Manuseio	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
14	<input checked="" type="radio"/> Atendimento/Assistência	or <input type="radio"/> Facilidade de Montagem	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
15	<input checked="" type="radio"/> Atendimento/Assistência	or <input type="radio"/> Facilidade de Desforma	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
16	<input checked="" type="radio"/> Reaproveitamento	or <input type="radio"/> Facilidade de Manuseio	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
17	<input checked="" type="radio"/> Reaproveitamento	or <input type="radio"/> Facilidade de Montagem	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
18	<input checked="" type="radio"/> Reaproveitamento	or <input type="radio"/> Facilidade de Desforma	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
19	<input checked="" type="radio"/> Facilidade de Manuseio	or <input type="radio"/> Facilidade de Montagem	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
20	<input checked="" type="radio"/> Facilidade de Manuseio	or <input type="radio"/> Facilidade de Desforma	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
21	<input checked="" type="radio"/> Facilidade de Montagem	or <input type="radio"/> Facilidade de Desforma	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9

Figura 35 – Layout para realizar julgamentos AHP Online Calculator

Por fim, a *AHP Online Calculator* ainda aponta os critérios que devem ter o julgamento refeito, destacando-os com cores diferentes e indicando qual a intensidade deve ser aplicada para que seja atingido o índice de consistência adequado (figura 36).

A - Importance - or B?		Equal	How much more?
1	<input checked="" type="radio"/> Preço or <input type="radio"/> Disponibilidade Regional	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input checked="" type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
2	<input checked="" type="radio"/> Preço or <input checked="" type="radio"/> Atendimento/Assistência	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input checked="" type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
3	<input type="radio"/> Preço or <input checked="" type="radio"/> Reaproveitamento	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input checked="" type="radio"/> 9
4	<input checked="" type="radio"/> Preço or <input type="radio"/> Facilidade de Manuseio	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
5	<input checked="" type="radio"/> Preço or <input type="radio"/> Facilidade de Montagem	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
6	<input checked="" type="radio"/> Preço or <input type="radio"/> Facilidade de Desforma	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
7	<input type="radio"/> Disponibilidade Regional or <input checked="" type="radio"/> Atendimento/Assistência	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input checked="" type="radio"/> 9
8	<input type="radio"/> Disponibilidade Regional or <input checked="" type="radio"/> Reaproveitamento	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input checked="" type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
9	<input checked="" type="radio"/> Disponibilidade Regional or <input type="radio"/> Facilidade de Manuseio	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
10	<input checked="" type="radio"/> Disponibilidade Regional or <input type="radio"/> Facilidade de Montagem	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
11	<input checked="" type="radio"/> Disponibilidade Regional or <input type="radio"/> Facilidade de Desforma	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
12	<input checked="" type="radio"/> Atendimento/Assistência or <input type="radio"/> Reaproveitamento	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
13	<input checked="" type="radio"/> Atendimento/Assistência or <input type="radio"/> Facilidade de Manuseio	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input checked="" type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
14	<input checked="" type="radio"/> Atendimento/Assistência or <input type="radio"/> Facilidade de Montagem	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input checked="" type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
15	<input type="radio"/> Atendimento/Assistência or <input checked="" type="radio"/> Facilidade de Desforma	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input checked="" type="radio"/> 9
16	<input checked="" type="radio"/> Reaproveitamento or <input type="radio"/> Facilidade de Manuseio	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
17	<input checked="" type="radio"/> Reaproveitamento or <input type="radio"/> Facilidade de Montagem	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
18	<input checked="" type="radio"/> Reaproveitamento or <input type="radio"/> Facilidade de Desforma	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
19	<input checked="" type="radio"/> Facilidade de Manuseio or <input type="radio"/> Facilidade de Montagem	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
20	<input checked="" type="radio"/> Facilidade de Manuseio or <input type="radio"/> Facilidade de Desforma	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
21	<input checked="" type="radio"/> Facilidade de Montagem or <input type="radio"/> Facilidade de Desforma	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
CR = 43.3% Adjust highlighted judgments to improve consistency			

Figura 36 - Apontamento de critérios para melhorar consistência

## 10. CONCLUSÕES

Sistemas de fôrmas passam por um processo de industrialização muito grande, o que gera maior racionalidade e menor produção de resíduos. Contudo, pode ser verificada em grande quantidade a opção por sistemas montados de maneira artesanal em função de uma política de adoção de redução de custos diretos.

Ao priorizar somente a redução de custos diretos, entretanto, pode-se incorrer em grandes erros, como a falta de projeto de fôrmas atendendo a NBR 15.696 (2009), e, por consequência, prejuízos, como:

- A falta de segurança das estruturas provisórias, provocada pela busca do barateamento sistemático, sujeitando inclusive operários a acidentes;
- O grande desperdício de materiais destinados a moldes e cimbramento, pois as fôrmas são pensadas somente em termos de montagem, sem levar em consideração as etapas de desforma;
- A baixa qualidade de acabamento das estruturas de concreto, fazendo-se necessário em etapas posteriores lançar mão de grandes quantidades de materiais e de esforço da mão de obra na tentativa de corrigir imperfeições, as quais podem gerar manifestações patológicas.

A AHP é uma excelente ferramenta de análise de critérios múltiplos, pois é possível fazer uma ponderação de influência dos principais critérios que podem ser utilizados na escolha dos sistemas de fôrmas. Além disso, podem ser ajustadas à estratégia adotada pela construtora.

A baixa consistência dos resultados obtidos na aplicação com o especialista pode ser explicada por alguns motivos, entre eles:

- A falta de familiaridade do especialista (tomador de decisões) com a ferramenta;
- A falta de clareza nas instruções necessárias ao preenchimento;
- As simplificações utilizadas nos cálculos dos parâmetros da matriz;
- A simplificação da escala com o objetivo de agilizar o processo de escolha potencializa as inconsistências, visto que os números 5 e 9 para indicar as importâncias não são múltiplos. Nesse sentido, sugere-se uma alteração da importância 5 pela escala 3;
- O *layout* da ferramenta que exige que o tomador de decisões preencha os julgamentos recíprocos (inversos). A *AHP Online Calculator* apresenta um *layout* mais fácil para realizar os julgamentos, em que é possível escolher o critério dominante.

A *AHP Online Calculator* apresentou-se como uma excelente ferramenta, com *layout* simplificado e sugestão de correção de julgamentos. Como pontos negativos, pode-se citar a necessidade de acesso ao servidor da página, o qual nem sempre pode estar acessível.

Como pontos positivos da ferramenta elaborada no software EXCEL®, pode-se citar a facilidade de acesso e verificação dos cálculos, bem como a facilidade de reproduzir os algoritmos encontrados na literatura. Além disso, a simplificação dos cálculos apresentou pequenas diferenças no proporcionamento do autovetor.

Na literatura foram observados diversos critérios importantes na tomada de decisão sem, entretanto, que fossem identificados com tamanha facilidade indicadores correlatos. Na elaboração da ferramenta, os critérios e seus respectivos indicadores forneceram o embasamento teórico para estruturar a tomada de decisão. Os indicadores também podem ser retroalimentados com facilidade para manter a tomada de decisão atualizada.

Dessa forma, foi constatado que indicadores podem ter grande utilidade não só na medição de desempenho como também na composição de ferramentas de tomada de decisão. O uso de indicadores para ponderar as porcentagens de cada critério na composição de notas dos sistemas de fôrmas pode ser útil ao indicar o sistema com o melhor desempenho global dentro das estratégias escolhidas.

No uso de indicadores deve ser observada a confiabilidade dos dados. Neste trabalho, por exemplo, optou-se por não se utilizar valores encontrados na literatura para a produtividade de montagem dos sistemas de fôrmas, sendo a produtividade avaliada através da percepção qualitativa da mão de obra. Para isso foi utilizada a “decomposição” da produtividade nas atividades: manuseio, montagem e desforma.

### **Recomendações para Trabalhos Futuros:**

De modo a complementar as conclusões, é verificado que a variedade de temas importantes abordados neste trabalho possa ter deixado algumas lacunas devido às limitações anteriormente citadas. Assim, recomenda-se para trabalhos futuros:

- Ampliar a revisão sobre critérios utilizados na escolha de sistemas de fôrmas, bem como de indicadores correlatos;
- Estender revisão com a finalidade de encontrar critérios mais elaborados sobre escoramentos, cimbramentos e demais constituintes dos sistemas de fôrmas;
- Desenvolver método para definição, medição e validação de indicadores de sistemas de fôrmas para edificações em concreto armado convencional através de uma estrutura básica (ou unitária), que contenha elementos como pilares, vigas e lajes;
- Comparações entre AHP recriadas em softwares como EXCEL® e AHP que utilizam processos iterativos para verificar a existência de diferenças significativas estatisticamente.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A.T. **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado.** São Carlos, 1998. 97p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- AL-ASHWAL, M. T.; ABDULLAH, R.; ZAKARIA, R. **Traditional formwork system sustainability performance: experts' opinion.** IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017
- AL-HARBI, K. M. S. **Application of the AHP in project management.** International Journal of Project Management 19 (4) (2001) 19–27.
- ALMEIDA, A. M. D. P.; VIEIRA, J. G. V. **Logística colaborativa: um estudo com fornecedores de supermercados de pequeno e médio porte.** Revista Gestão Industrial. Volume 9, n.03. 2013
- ARAÚJO, L. O. C. de. **Execução de estruturas de concreto armado.** Apostila de apoio às aulas de Construção Civil I. Rio de Janeiro: s.n., 2008
- ASSAHI, P. N. **Sistema de fôrma para estrutura de concreto.** Boletim Técnico, São Paulo: s.n. 2007
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.696:** Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto – Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos. Rio de Janeiro, 2009
- \_ **NBR 14.931:** Execução de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004
- \_ **NBR 7.190:** Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997
- \_ **NBR NM 67:** Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998
- BARBOSA, J. G. P.; GOMES, J. S. **Um estudo exploratório do controle gerencial de ativos e recursos intangíveis (capital intelectual) em empresas brasileiras.** ENANPAD, 2001, Campinas. Anais... Rio de Janeiro: ANPAD, 2001
- BARROS, M.B; MELHADO, S.B, **Recomendações para a produção de estruturas de concreto armado em edifícios.** Versão Ampliada e Atualizada em 2006 a partir do texto original de 1998. Projeto EPUSP/SENAI. São Paulo, 2006.
- BATIZ, E. C.; VERGARA, L. G. L.; LICEA, O. E. A. **Análise comparativa entre métodos de carregamento de cargas e análise postural de auxiliares de enfermagem.** Produção, 22(2). 2012
- BRAGA, V. S.; CASTRO, J.; VERAS, G.; CRISTOFORI, V.; REBELO, M. **Qualidade no atendimento ao cliente.** Revista de Trabalhos Acadêmicos. Março, 2014

- BRIOZO, R. A.; MUSETTI, M. A. **Método multicritério de tomada de decisão: aplicação ao caso da localização espacial de uma Unidade de Pronto Atendimento – UPA 24 h.** Gestão e Produção. São Carlos, 2015
- BUTTLE, F. **Customer Relationship Management: Concepts and Tools.** Oxford, UK: Elsevier Butterworth Heinemann. 2004
- CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil.** [Acesso em 11 de novembro de 2018] disponível em <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poderpublico/sinapi/Paginas/default.aspx>.
- CARMO, B. B. T.; NETO, J. F. B.; DUTRA, N. G. S. **Análise do impacto nos custos de transporte de um modelo de seleção de fornecedores baseado em variáveis socioambientais e de competitividade.** Produção, 21(3), 2011
- CASTRO, J, J, V; CASTRO, J, A; UZAC, R, A; FREITAS, A, H, C. **Fôrmas para concreto: análise comparativa entre fôrmas mistas e fôrmas convencionais tendo como referência a aplicação em vigas.** Revista Pensar Engenharia. Janeiro de 2017.
- CHIKKAVEERAYANAVAR, N. V.; PATIL, N. **Planning and scheduling of shuttering system for multistoried building.** International Research Journal of Engineering and Technology. Volume 4, Julho de 2017.
- COSTA, C. P. D. **Fôrmas para construção civil e suas aplicações.** Belo Horizonte: Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.
- COSTA, D. B. **Diretrizes para concepção, implementação e uso de sistemas de indicadores de desempenho para empresas da construção civil.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. UFRGS/PPGEC. Porto Alegre, 2003
- COSTA, D. B.; FORMOSO, C. T.; LIMA, H. R.; BARTH, K. B. **Sistema de indicadores para benchmarking na construção civil: manual de utilização.** Porto Alegre, 2005.
- ELEUTÉRIO, S. A. V.; SOUZA, M. C. A. F. **Qualidade na prestação de serviços: uma avaliação com clientes internos.** Caderno de Pesquisas em Administração, volume 9, número 3, São Paulo, julho/setembro 2002
- FAJERSZTAJN, H.; LANDI, F. R. - **Fôrmas para concreto armado - aplicação para o caso do edifício.** São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1992.
- GODOI, W. C. **Método de construção das matrizes de julgamento paritários no AHP – método do julgamento holístico.** Revista Gestão Industrial. Volume 10, n.03. 2014
- KABASHI, N.; KRASNIQI, C.; KADIRI, Q.; SADIKAJ, A.; MORINA, H. **Formwork for modern and visual concrete constructions.** IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017.
- LANTELME, E. M. V.; TZORTZOPOULOS, P.; FORMOSO, C. T. **Indicadores de qualidade e produtividade para a construção civil.** Porto Alegre: Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. (Relatório de Pesquisa).

- LANTELME, E. M. V. **Proposta de um sistema de indicadores de qualidade e produtividade para a construção civil.** 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.
- LIBESSART, L.; DJELAL, C.; CARO, P. **Influence of the type of release oil on steel formwork corrosion and facing aesthetics.** Construction and Building Materials 68. 2014
- LOGANATHAN, K.; VISWANATHAN, K. E. **A study report on cost, duration and quality analysis of different formworks in high-rise building.** International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 7, n.04. Abril de 2016.
- MAADANI, O. **Rheology-covercrete: a concept of controlling quality and durability of concrete.** Thesis. The Master of Engineering in Civil Engineering Program. University of Ottawa. Ottawa-Carleton Institute for Civil Engineering. Department of Civil and Environmental Engineering. Carleton University. Ottawa, Canada. January, 1998.
- MARANHÃO, G. M. **Fôrmas para concreto: subsídios para a otimização do projeto segundo a NBR 7190:97.** 2000. Dissertação de Mestrado. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2000.
- MORIKAWA, M, S. **Materiais alternativos utilizados em fôrmas para concreto armado.** 2003. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil. UNICAMP. Campinas, SP. 2003
- MOSSMANN, A, S. **Levantamento do gerenciamento do resíduo de madeira para a confecção de estrutura de concreto armado.** 2011. Dissertação de Mestrado, São Leopoldo. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2011.
- NAVARRO, G. P. **Proposta de sistema de indicadores de desempenho para a gestão da produção em empreendimentos de edificações residenciais.** 2005. 163 f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2006.
- NAZAR, N. **Fôrmas e escoramentos para edifícios: critérios para dimensionamento e escolha do sistema.** Editora Pini. São Paulo, SP, 2007.
- NEMATI, K. M. **Formwork for concrete. Temporary Structures - Lesson 1: Introduction to Concrete Formwork and Vertical Formwork Design.** University of Washington. Department of Construction Management. 2007
- NETTO, W. A. C. **A importância e a aplicabilidade da manutenção produtiva total (TPM) nas indústrias.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção) -Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2008.
- NORMA REGULAMENTADORA MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO - Nr 17. **Ergonomia.** Brasília, 2018
- \_ Nr 18. **Condições e Meio ambiente de Trabalho na indústria da Construção.** Brasília, 2018

- PATEL, A. S.; SHARMA, N.; KKASHIYANI, B. **A study on comparatively use of various types of form work for achieve superior concrete.** Journal of International Academic Research for Multidisciplinary. Volume 1, n.11. Dezembro de 2013
- PERES, P. O. **Um estudo comparativo sobre os sistemas de fôrmas: mesa voadora x convencional.** Trabalho de Conclusão de Curso. Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2013.
- POON, C. S.; YIP, R. **Comparison of the use of traditional and low waste formwork systems in Hong Kong.** The 2005 World Sustainable Building Conference, Tokyo: SB05Tokyo: p. 2741-2748. 2005
- PRETTO, M. E. J. **Influência da rugosidade gerada pelo tratamento superficial do substrato de concreto na aderência do revestimento de argamassa.** 2007. 180f. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil- PPGEC, UFRGS, Porto Alegre.
- SAATY, T. L. **Analytic hierarchy process.** Encyclopedia of operations research and management science. New York, 2013.
- SANCHES, F. G. **Avaliação dos parâmetros do processo de revestimento de painéis compensados com filme fenólico para uso como fôrmas.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, 2012.
- SOUZA, E. A. **O treinamento industrial e a gerência de riscos - uma proposta de instrução programada.** Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do grau de Mestre em Engenharia. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.
- STOLZ, C. M. **Análise dos principais parâmetros que influenciam na área de contato substrato/argamassa de revestimento.** 2015. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.
- ULMA CONSTRUCTION. **Horizontal formwork with BTM beams.** Catálogo, 2018
- ULMA CONSTRUCTION. **ENKOFLEX: timber slab formwork.** Catálogo, 2018
- VOLPE, R. A.; LORUSSO, C. B. **A importância do treinamento para o desenvolvimento do trabalho.** Psicologia, online, p. 1-8, 2009.
- WALLENIUS, J.; DYER, J. S.; FISHBURN, P. C.; STEUER, R. E.; ZIONTS, S; DEB, K. **Multiple criteria decision making, multiattribute utility theory: recent accomplishments and what lies ahead.** Management Science, 7, v. 54, p. 1336-1349, 2008.
- YOUNG, S. L.; WOGALTER, M. S. **Comprehension and memory of instruction manual warnings: conspicuous print and pictorial icons.** The Human Factors Society, 1990
- YU, A. T. W.; POON, C.S.; WONG, A.; YIP, R.; JAILLON, L. **Impact of construction waste disposal charging scheme on work practices at construction sites in Hong Kong.** Waste Management, 33(1),

## APÊNDICE A - INTERFACE DA FERRAMENTA

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
				Critério de Escolha									Critérios						
		Critério Peso Comparação												TOTAL COLUMNS	Autovetor	Autovetor	N	CI	CR
1														0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2		Preço corresponde a		Preço									Preço	0,00					
3		Preço corresponde a		Disponibilidade Regional de Material									Disponibilidade Regional de Material	0,00					
4		Preço corresponde a		Atendimento/Assistência									Atendimento/Assistência	0,00					
5		Preço corresponde a		Reaproveitamento									Reaproveitamento	0,00					
6		Preço corresponde a		Facilidade de Montagem									Facilidade de Montagem	0,00					
7		Preço corresponde a		Facilidade de Destorma									Facilidade de Destorma	0,00					
8		Preço corresponde a		Facilidade de Manuseio									Facilidade de Manuseio	0,00					
9		Disponibilidade Regional de Material corresponde a		Atendimento/Assistência									Atendimento/Assistência	0,00					
10		Disponibilidade Regional de Material corresponde a		Reaproveitamento									Reaproveitamento	0,00					
11		Disponibilidade Regional de Material corresponde a		Facilidade de Montagem									Facilidade de Montagem	0,00					
12		Disponibilidade Regional de Material corresponde a		Facilidade de Destorma									Facilidade de Destorma	0,00					
13		Disponibilidade Regional de Material corresponde a		Facilidade de Manuseio									Facilidade de Manuseio	0,00					
14		Atendimento/Assistência corresponde a		Reaproveitamento									Reaproveitamento	0,00					
15		Atendimento/Assistência corresponde a		Facilidade de Montagem									Facilidade de Montagem	0,00					
16		Atendimento/Assistência corresponde a		Facilidade de Destorma									Facilidade de Destorma	0,00					
17		Atendimento/Assistência corresponde a		Facilidade de Manuseio									Facilidade de Manuseio	0,00					
18		Reaproveitamento corresponde a		Facilidade de Montagem									Facilidade de Montagem	0,00					
19		Reaproveitamento corresponde a		Facilidade de Destorma									Facilidade de Destorma	0,00					
20		Reaproveitamento corresponde a		Facilidade de Manuseio									Facilidade de Manuseio	0,00					
21		Facilidade de Montagem corresponde a		Facilidade de Destorma									Facilidade de Destorma	0,00					
22		Facilidade de Montagem corresponde a		Facilidade de Manuseio									Facilidade de Manuseio	0,00					
24		Facilidade de Destorma corresponde a		Facilidade de Manuseio									Facilidade de Manuseio	0,00					
24		Escala de pontuação		Preço									Preço	0,00					
25		Critério é irrelevante em comparação ao outro		0,11															
26		Critério é menos relevante na escolha		0,2															
27		Relação igual entre critérios		1															
28		Critério é mais relevante na escolha		5															
29		Critério é muito mais relevante na escolha		9															



## APÊNDICE B.2 - FÓRMULAS DAS CÉLULAS

N	O	P	Q	R	S	T
Critérios	TOTAL COLUMNS	Autovetor	Autovetor	N	CI	CR
Prego	=SOMA(F2:F8)	=SEERRO(SOMA(F14:L17)/\$R\$2;"")	=SOMAPRODOTO(P2:P8;O2:O8)	=SOMA(F2;G3;H4;I5;J6;K7;L8)	= (Q2- R2)/(R2-1)	= SZ1/32
Disponibilidade Regional de Material	=SOMA(G2;G8)	=SEERRO(SOMA(F12:L12)/\$R\$2;"")				
Atendimento/Assistência	=SOMA(H2;H8)	=SEERRO(SOMA(F13:L13)/\$R\$2;"")				
Reaproveitamento	=SOMA(I2;I8)	=SEERRO(SOMA(F14:L14)/\$R\$2;"")				
Facilidade de Montagem	=SOMA(J2;J8)	=SEERRO(SOMA(F15:L15)/\$R\$2;"")				
Facilidade de Desforma	=SOMA(K2;K8)	=SEERRO(SOMA(F16:L16)/\$R\$2;"")				
Facilidade de Manuseio	=SOMA(L2;L8)	=SEERRO(SOMA(F17:L17)/\$R\$2;"")				
Total		=SOMA(P2:P8)				

## APÊNDICE C - ROTEIRO PARA ENTREVISTA

Considerações: as perguntas são relacionadas aos moldes (chapas compensadas, alumínio, aço, plástico, ...) e demais componentes dos sistemas de fôrmas associados. Por componentes se entende: fixação e encaixe dos moldes, conexões, vigamentos, escoras, etc.

- 1) Qual é a tua visão sobre a oferta de diferentes opções tecnológicas disponíveis no mercado brasileiro? Como está o mercado brasileiro em relação ao mercado internacional?**
- 2) Analisei o catálogo de diversas empresas e percebi uma preferência pelo uso de compensados fenólicos como molde. Essa impressão está correta? Poderia me explicar?**
- 3) O material do molde pode influenciar o uso de escoramentos, conexões e outros equipamentos de um sistema de fôrmas?**
- 4) É possível realizar uma análise integral de moldes considerando pilares, vigas e lajes? Ou deve ser realizada uma separação entre esses itens para determinados critérios? (ex: capacidade de carga)**
- 5) Os critérios utilizados neste trabalho são suficientes para a escolha de um sistema de fôrmas?**

Capacidade de Carga

Estanqueidade

Preço

Produtividade

Disponibilidade Regional de Material

Reaproveitamento

Facilidade de Montagem

Facilidade de Desforma

Facilidade de Transporte

- 6) Há algum critério que deveria ser inserido na matriz de análise? Qual o melhor indicador para este critério?**

## ANEXO A - COMPOSIÇÕES DE CUSTO (SINAPI)

COMPOSIÇÃO 92263-FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA PILARES E ESTRUTURAS SIMILARES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM. AF 12/2015						
TIPO ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO DO ITEM	UN.	COEF.	PREÇO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL
INSUMO	1358	CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA PARA FORMA DE CONCRETO, DE *2,2 X 1,1* M, E = 17 MM	M2	1,335	26,65	35,57
INSUMO	4491	PONTALETE DE MADEIRA NAO APARELHADA *7,5 X 7,5* CM (3 X 3 ") PINUS, MISTA OU EQUIVALENTE DA REGIAO	M	2,307	6,29	14,51
INSUMO	4517	SARRAFO DE MADEIRA NAO APARELHADA *2,5 X 7,5* CM (1 X 3 ") PINUS, MISTA OU EQUIVALENTE DA REGIAO	M	8,291	2,26	18,73
INSUMO	5068	PREGO DE ACO POLIDO COM CABECA 17 X 21 (2 X 11)	KG	0,215	12	2,58
COMPOSICAO	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,276	13,01	3,59
COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,38	15,51	21,4
COMPOSICAO	91692	SERRA CIRCULAR DE BANCADA COM MOTOR ELÉTRICO POTÊNCIA DE 5HP, COM COIFA PARA DISCO 10" - CHP DIURNO. AF_08/2015	CHP	0,062	23,86	1,47
COMPOSICAO	91693	SERRA CIRCULAR DE BANCADA COM MOTOR ELÉTRICO POTÊNCIA DE 5HP, COM COIFA PARA DISCO 10" - CHI DIURNO. AF_08/2015	CHI	0,214	22,13	4,73
MÃO-DE-OBRA=23,69%; MATERIAL=76,11%; EQUIPAMENTO=10,76%				TOTAL ITEM (R\$/m²)		102,58

COMPOSIÇÃO 992265-FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA VIGAS, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM. AF 12/2015						
TIPO ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO DO ITEM	UN.	COEF.	PREÇO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL
INSUMO	1358	CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA PARA FORMA DE CONCRETO, DE *2,2 X 1,1* M, E = 17 MM	M2	1,19	26,65	31,71
INSUMO	4491	PONTALETE DE MADEIRA NAO APARELHADA *7,5 X 7,5* CM (3 X 3 ") PINUS, MISTA OU EQUIVALENTE DA REGIAO	M	0,162	6,29	1,01
INSUMO	4517	SARRAFO DE MADEIRA NAO APARELHADA *2,5 X 7,5* CM (1 X 3 ") PINUS, MISTA OU EQUIVALENTE DA REGIAO	M	7,734	2,26	17,47
INSUMO	5068	PREGO DE ACO POLIDO COM CABECA 17 X 21 (2 X 11)	KG	0,155	12	1,86
COMPOSICAO	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,222	13,01	2,88
COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,111	15,51	17,23
COMPOSICAO	91692	SERRA CIRCULAR DE BANCADA COM MOTOR ELÉTRICO POTÊNCIA DE 5HP, COM COIFA PARA DISCO 10" - CHP DIURNO. AF_08/2015	CHP	0,054	23,86	1,28
COMPOSICAO	91693	SERRA CIRCULAR DE BANCADA COM MOTOR ELÉTRICO POTÊNCIA DE 5HP, COM COIFA PARA DISCO 10" - CHI DIURNO. AF_08/2015	CHI	0,169	22,13	3,73
MÃO-DE-OBRA=25,37%; MATERIAL=74,40%; EQUIPAMENTO=10,41%				TOTAL ITEM (R\$/m²)		77,17

COMPOSIÇÃO 92267-FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA LAJES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM. AF 12/2015						
TIPO ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO DO ITEM	UN.	COEF.	PREÇO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL
INSUMO	1358	CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA PARA FORMA DE CONCRETO, DE *2,2 X 1,1* M, E = 17 MM	M2	1,05	26,65	27,98
COMPOSICAO	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,006	13,01	0,07
COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,028	15,51	0,43
COMPOSICAO	91692	SERRA CIRCULAR DE BANCADA COM MOTOR ELÉTRICO POTÊNCIA DE 5HP, COM COIFA PARA DISCO 10" - CHP DIURNO. AF_08/2015	CHP	0,005	23,86	0,11
COMPOSICAO	91693	SERRA CIRCULAR DE BANCADA COM MOTOR ELÉTRICO POTÊNCIA DE 5HP, COM COIFA PARA DISCO 10" - CHI DIURNO. AF_08/2015	CHI	0,001	22,13	0,02
MÃO-DE-OBRA=1,68%; MATERIAL=98,32%; EQUIPAMENTO=0%				TOTAL ITEM (R\$/m²)		28,61