

UNIVERSIDADE PAULISTA - UNIP

**SUSTENTABILIDADE DE EMPREENDIMENTOS  
HABITACIONAIS POPULARES: DESENVOLVIMENTO  
DE UMA FERRAMENTA DE ANÁLISE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia de Produção da Universidade  
Paulista – UNIP, para a obtenção do Título de  
Doutor em Engenharia de Produção.

**WAGNER COSTA BOTELHO**

**São Paulo  
2013**

UNIVERSIDADE PAULISTA - UNIP

**SUSTENTABILIDADE DE EMPREENDIMENTOS  
HABITACIONAIS POPULARES: DESENVOLVIMENTO  
DE UMA FERRAMENTA DE ANÁLISE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia de Produção da Universidade  
Paulista – UNIP, para a obtenção do Título de  
Doutor em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Oduvaldo Vendrametto

**WAGNER COSTA BOTELHO**

**São Paulo  
2013**

Botelho, Wagner Costa.

Sustentabilidade de empreendimentos habitacionais populares:  
desenvolvimento de uma ferramenta de análise / Wagner Costa  
Botelho - 2013.

228 f. : il. Color. + CD-ROM.

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós Graduação  
em Engenharia de Produção da Universidade Paulista, São Paulo,  
2014.

Área de Concentração: Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Oduvaldo Vendrametto.

1. Inovação tecnológica. 2. Habitações populares. 3. Qualidade.  
4. Sustentabilidade. 5. Construção civil. I. Título. II. Vendrametto,  
Oduvaldo (orientador).

# **WAGNER COSTA BOTELHO**

## **SUSTENTABILIDADE DE EMPREENDIMENTOS HABITACIONAIS POPULARES: DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA DE ANÁLISE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia de Produção da Universidade  
Paulista – UNIP, para a obtenção do Título de  
Doutor em Engenharia de Produção.

Aprovado em:

### **BANCA EXAMINADORA**

\_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_  
Prof. Dr. Fábio Müller Guerrini – EESCUSP

\_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_  
Prof. Dr. Jorge Muniz – FEGUNESP

\_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_  
Prof. Dr. Mário Mollo Neto - UNIP

\_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_  
Prof. Dr. Pedro L. Oliveira Costa Neto - UNIP

\_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_  
Prof. Dr. Oduvaldo Vendrametto - UNIP

## **DEDICATÓRIA**

A minha esposa Renata Maciel Botelho e meu filho Guilherme Maciel Botelho, aos meus pais Adhemar Botelho (“*In Memoriam*”) e Dircinha Costa Botelho e ao meu irmão Walmir Costa Botelho.

## **EPÍGRAFE**

O pardal encontrou casa, e a andorinha, ninho para si,  
onde acolha os seus filhotes; eu, os teus altares,  
SENHOR dos Exércitos, Rei meu e Deus meu!

Salmos 84:3

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela possibilidade e força que me deu para a realização deste trabalho.

Ao Professor Doutor Oduvaldo Vendrametto, pela confiança, perseverança, apoio e dedicação.

A todos os professores que participaram durante a realização deste trabalho e torceram pelo meu sucesso: Professor Doutor Pedro Luiz de Oliveira Costa Neto, Professor Doutor Mário Mollo Neto, Professor Doutor Benedito Sacomano.

A todos os demais que, direta ou indiretamente, fizeram parte deste momento.

## RESUMO

A complexidade e o tamanho da cadeia produtiva da construção civil levaram ao estudo das interferências de processos produtivos e inovados tecnologicamente, aderente a conceitos sustentáveis para o setor habitacional popular. O mercado crescente aumentou o número de concorrentes, contando inclusive com a participação de estrangeiros e o cliente passou a dispor de opções de produtos e serviços sustentáveis, que possibilitam comparações, aumentando o grau de exigências sobre as empresas e seus respectivos empreendimentos. Isso promoveu a indústria da construção civil. Essa nova maneira de construir edificações trouxe alterações na exigência de qualificação da mão-de-obra, do uso de tecnologias, de menores índices de tolerância de precisão para que a montagem da obra seja realizada. A gestão da construção mudou seus elementos: além de gerenciar pessoas, há também empresas fornecedoras de materiais e equipamentos tecnológicos, instaladores e supervisores, entre muitos. Preocupa-se com o meio ambiente, o trabalhador e a população quanto à segurança, saúde, poluição, desperdício de água, ocupação de espaços, entre outras. A indústria da construção civil, grande consumidora de recursos naturais, e geradora de resíduos, acarreta impactos sobre o meio ambiente. Para minimizar a geração de resíduos na construção civil é preciso a adoção de políticas e de modelo de desenvolvimento sustentável da obra. As mudanças tecnológicas podem reduzir as perdas e o entulho da construção. Esta tese ocupou-se em apresentar os princípios e as exigências relativas às construções de habitações populares sobre a qualidade, a tecnologia e a sustentabilidade. O estudo foi norteado para a cadeia produtiva da construção civil e seus elos. Estudou-se a interferência de processos produtivos e inovados tecnologicamente, com de parâmetros sustentáveis. Mostrou-se a necessidade do estabelecimento de uma ferramenta que garantisse um padrão comparativo entre essas habitações quanto a sustentabilidade. Os dados obtidos pela pesquisa foram tratados com o uso do Método *Fuzzy*. Como sequência desta tese, um software para facilitar as operações de simulações ou mesmo verificação de obra já realizada poderá ser desenvolvido.

**Palavras-Chave:** Inovação Tecnológica. Habitações Populares. Qualidade. Sustentabilidade. Construção Civil. Lógica *Fuzzy*. Meio Ambiente. Método *Fuzzy*.

## ABSTRACT

The complexity and size of the supply chain of construction led to the study of interference processes and innovated technology, adhering to sustainable concepts for the housing popular sector. The growing market has increased the number of competitors, also counting on the participation of foreigners and the customer now has options for sustainable products and services that enable comparisons, increasing the degree of demands on companies and their respective projects. This promoted the construction industry assembles the sets and in building houses. This new way of constructing buildings brought changes in the requirement for qualification of manpower, the use of technologies, lower levels of precision tolerance for the assembly work is performed. The construction management changed its ingredients: besides managing people, there are also companies that supply materials and technological equipment installers and supervisors , among many. Concerned with the environment, workers and the population about the safety, health, pollution, waste water , occupying spaces, among others. The construction industry, a major consumer of natural resources and waste generator, causes impacts on the environment. To minimize the generation of waste in construction is necessary to adopt policies and sustainable development model of the work. Technological changes can reduce losses and construction debris. This thesis, strove to present the principles and requirements for affordable housing buildings on quality, technology and sustainability. The study was guided to the supply chain of construction and its links. We studied the interference processes and technologically innovated with the sustainable parameters. Showed the necessity of establishing a tool to guarantee a standard comparison between these dwellings as sustainability. The data obtained from the study were processed using the fuzzy method. As a result of this thesis can be developed software to facilitate operations simulation or verification of completed work .

**Keywords :** Technological Innovation . Public Housing . Quality . Sustainability . Construction . Fuzzy Logic . Environment . Fuzzy .

## **LISTA DE MATRIZES**

Matriz 01 – Correlação dos principais autores consultados, *versus* as principais relevâncias de estudo – Projeto Civil.

Matriz 02 – Correlação dos principais autores consultados, *versus* as principais relevâncias de estudo – Sustentabilidade.

Matriz 03 – Correlação dos principais autores consultados, *versus* as principais relevâncias de estudo – inovação e tecnologia.

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 01 – A construção civil ontem e hoje.

Quadro 02 - Instrumento de medição de sustentabilidade.

Quadro 02 (a) - Ciclo de vida de um edifício.

Quadro 03 - Etapas do desenvolvimento sustentável da obra.

Quadro 04 – Tipos de construção.

Quadro 05 - Os pilares da construção sustentável.

Quadro 06 - Categorias *versus* fatores correlatos – Grau de sustentabilidade de um edifício.

Quadro 07 - RCC como resíduos provenientes de construções.

Quadro 08 - Aspectos relevantes de um empreendimento.

Quadro 09 - Correlação entre os recursos e/ou fases da construção civil que se destacam para uma habitação sustentável.

Quadro 10 (a) – Indicadores de construções e infraestruturas sustentáveis.

Quadro 10 (b) – Indicadores de governança.

Quadro 10 (c) – Indicadores de mobilidade.

Quadro 10 (d) – Indicadores de moradia.

Quadro 10 (e) – Indicadores de oportunidades.

Quadro 10 (f) – Indicadores de planejamento e ordenamento territorial.

Quadro 10 (g) – Indicadores de questões ambientais.

Quadro 10 (h) – Indicadores de segurança.

Quadro 10 (i) – Indicadores de serviços e equipamentos.

Quadro 11 – Elementos definidos para análise da tese.

Quadro 12 - Indicadores de sustentabilidade de projeto de infraestrutura.

Quadro 13 – Resumo quantitativo dos questionários enviados e respondidos por setor pesquisado.

Quadro 14 - A aplicação desta identificação do grau de sustentabilidade total do empreendimento habitacional popular.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 01 - O gerenciamento da qualidade do projeto baseia-se na identificação de especificações de desempenho.
- Figura 02 - Prioridades a considerar no projeto de uma construção sustentável.
- Figura 03 - *Steel Frame* em construção de residências populares – CDHU (Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano) em Avaré-SP.
- Figura 04 - Representação na forma de conjuntos da altura de uma pessoa, sob o ponto de vista da Lógica convencional (à esquerda) e do da Lógica *Fuzzy* (à direita).
- Figura 05 – Sequência lógica do raciocínio *Fuzzy*.
- Figura 06 – Ilustração de um sistema *Fuzzy*.
- Figura 07 – Representação do sistema *Fuzzy* fundamentado por regras.
- Figura 08 - Sistema *Fuzzy*.
- Figura 09 – Exemplo de defuzzificação utilizando o método do centro de massa.
- Figura 10 - Estruturação do método utilizado no desenvolvimento da tese.
- Figura 11 - Sequência básica de atividades envolvidas na execução da técnica *Delphi-Web*.
- Figura 12 – Janela de abertura do *Fuzzy Logic Toolbox*.
- Figura 13 – Sistema de interferência montado na interface do *Matlab®*.
- Figura 14 - Superfície 3D gerada na interface do *MatLab®* para a visualização dos cenários de valores das variáveis de entrada do eixo X e Y, *versus* as variáveis de saída do eixo Z.
- Figura 15 - Método de análise *Fuzzy MAMDANI*.
- Figura 16 - Configuração básica segundo especificações pré-estabelecidas para o uso do *Fuzzy Logical Toolbox*.
- Figura 17 - Base de regras - construção das regras de inferência.
- Figura 18 - Definição do domínio das variáveis de entrada – Projeto.
- Figura 19 - Definição do domínio das variáveis de saída – Projeto.
- Figura 20 - Representação da função triangular de pertinência.
- Figura 21 – Exemplo real de funções de pertinência triangular da variável de entrada I - Materiais e Equipamentos – Projeto.
- Figura 22 - Representação da função trapezoidal de pertinência – Exemplo.
- Figura 23 – Exemplo real de funções de pertinência trapezoidal da variável de entrada I - Materiais e Equipamentos – Projeto.
- Figura 24 - Saídas discretas: cenário resultante da seleção de valores das variáveis de entrada e os associados valores de saída - Projeto.
- Figura 25 - Variável independente I - Materiais e equipamentos – função de pertinência – Projeto.
- Figura 26 - Variável independente II-Resíduos – função de pertinência – Projeto.

Figura 27 - Variável independente III-Energia – função de pertinência – Projeto.

Figura 28 - Variável independente IV-INFRAESTRUTURA – função de pertinência – Projeto.

Figura 29 - Variável independente IV-INFRAESTRUTURA – função de pertinência – Projeto.

Figura 30 – Variável dependente do caso Projeto.

Figura 31 – Função polinomial – Projeto.

Figura 32 – Função polinomial – Construção e Manutenção.

Figura 33– Função polinomial – Habitação.

Figura 34 – Função polinomial – Demolição.

Figura 35 - Atendimento aos objetivos propostos.

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 01 – Comparativo das sistemáticas.

Tabela 02 – Definição das categorias.

Tabela 03 - Algoritmos e variáveis de entrada, saída e processo.

Tabela 04 - Faixas numéricas – grau de sustentabilidade – Projeto.

Tabela 05 - Tabela auxiliar para construção das regras de inferência: Fig. – Projeto.

Tabela 06 - Índices (pontos) de correlação – Projeto.

Tabela 07 - Índices (pontos) de correlação – Construção e Manutenção.

Tabela 08 - Índices (pontos) de correlação – Habitação.

Tabela 09 - Índices (pontos) de correlação – Demolição.

Tabela 10 – Classificação percentual das fases de um edifício habitacional popular.

Tabela 11 - Características básicas do Conjunto Habitacional CDHU analisado.

## **LISTA DE EQUAÇÕES**

Equação 01 - Pertinência de um elemento  $x$  de um conjunto  $A$  em um determinado universo  $U$ .

Equação 02 - A função característica dos conjuntos *Fuzzy*.

Equações 03 e 04: Resultado da defuzzificação de acordo com o tipo de conjunto *Fuzzy* de saída.

Equação 05 - Função de pertinência da relação *Fuzzy M*.

Equação 06 - Relação *Fuzzy M* de duas entradas e uma saída.

Equação 07 (a) - Conjunto *Fuzzy* de saída representando o controle a ser adotado para um par de entradas.

Equação 07 (b) - Conjunto *Fuzzy* de saída representando o controle a ser adotado para um par de entradas.

Equação 08 - Algoritmo de Euclides.

Equação 09 - Cálculo de tamanho da amostra.

### **LISTA DE FLUXOGRAMA**

Fluxograma 01 - Sequência básica do desenvolvimento desta tese.

### **LISTA DE QUESTIONÁRIOS**

Questionários de 01 a 07 encontram-se no CD de Apêndices.

Questionário 08 (a) – Medição da sustentabilidade habitacional – Projetos.

Questionário 08 (b) – Medição da sustentabilidade habitacional – Construção e Manutenção.

Questionário 08 (c) – Medição da sustentabilidade habitacional – Habitação.

Questionário 08 (d) – Medição da sustentabilidade habitacional – Demolição.

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>15</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1 Apresentação do tema .....	15
1.2 Motivação para a realização da tese .....	17
1.3 Objetivos da tese .....	18
1.4 Delimitações da tese .....	18
1.5 Relevâncias da tese .....	19
1.6 Estrutura .....	24
<b>CAPITULO II .....</b>	<b>25</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>25</b>
2.1 A rede produtiva da construção civil .....	25
2.2 Evolução do trabalho .....	26
2.3 Organização do trabalho .....	27
2.3.1 Construção civil e o trabalho .....	29
2.4 Produção enxuta .....	30
2.4.1 Construção enxuta e o <i>just-in-time</i> .....	32
2.5 Inovações tecnológicas na construção civil e a qualidade .....	33
2.5.1 Qualidade do projeto da construção civil .....	33
2.5.2 Qualidade do produto e serviço .....	35
2.5.3 Qualidade no gerenciamento do projeto .....	37
2.5.4 Qualidade na comunicação .....	40
2.6 Recurso humano na construção civil .....	41
2.6.1 Tecnologia e emprego .....	43
2.6.2 Globalização e emprego .....	43
2.6.3 Ocupação na construção civil .....	44
2.6.4 Recrutamento, admissão, treinamento e qualificação .....	45
2.7 Formação profissional .....	46
2.7.1 Novos perfis profissionais .....	47
2.8 Desenvolvimento do projeto .....	47
2.9 Tendências da construção civil .....	50
2.10 Tecnologia na construção civil .....	51
2.11 Inovação tecnológica na construção civil .....	53
2.11.1 Dificuldades à inovação tecnológica .....	58
2.11.2 A inovação tecnológica e o meio ambiente .....	59
2.12 Sustentabilidade no setor da construção civil .....	60
2.12.1 Aspectos da construção sustentável .....	66

2.13 Construção sustentável.....	69
2.13.1 Edifício sustentável .....	70
2.13.2 Princípios básicos da construção sustentável .....	73
2.13.3 Requisitos de sustentabilidade para uma edificação .....	75
2.13.4 O entulho e a sustentabilidade na construção .....	76
2.13.5 Fase da concepção do projeto.....	79
2.13.6 Harmonização no entorno da obra .....	79
2.13.7 Compromisso com grupos de interesse da obra .....	80
2.13.8 Ações favoráveis a uma construção sustentável .....	80
2.14 Certificação e avaliação ambiental.....	83
2.14.1 Liderança em energia e design ambiental – LEED.....	85
2.14.2 Certificação AQUA (Alta Qualidade Ambiental) .....	87
2.15 Indicadores de sustentabilidade em empreendimentos habitacionais .....	89
2.15.1 Indicadores de edifícios habitacionais .....	90
2.15.2 Indicadores de sustentabilidade em edificações.....	93
2.16 Materiais e equipamentos .....	96
2.17 Sustentabilidade do setor imobiliário urbano e a infraestrutura local .....	101
<b>CAPITULO III .....</b>	<b>115</b>
<b>3 MATERIAIS, METODOLOGIA, MÉTODO E DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>115</b>
3.1 Materiais .....	115
3.1.1 Teoria <i>Fuzzy</i> .....	115
3.2 Metodologia .....	132
3.3 Método .....	136
3.3.1 Definição da amostra e do questionário - pesquisa <i>survey</i> .....	139
3.4 Instrumento de coleta de dados – questionário .....	141
3.5 Recursos matemático da tese.....	143
3.5.1 Cálculo do número de respondentes por categorias (projeto, construção e manutenção, habitação e demolição) .....	143
3.5.1.1 Definição das categorias.....	143
3.5.1.2 Definição das amostras .....	143
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>147</b>
<b>4 ANÁLISE DE DADOS.....</b>	<b>147</b>
4.1 Construção da base de conhecimento.....	147
4.2 Construção do algoritmo do sistema especialista .....	147
4.3 Construção da árvore de decisões.....	150
4.4 Construção das regras de inferência .....	151
4.5 Base de regras.....	151

4.6 Inferência .....	152
4.7 Domínio das variáveis de entrada e/ou saída .....	155
4.8 Funções de pertinência .....	156
4.8.1 Funções de pertinência triangulares (TRIMF).....	156
4.8.2 Funções de pertinência trapezoidal (TRAPMF) .....	158
4.9 Saídas discretas - modelagem.....	160
4.10 Variável independente .....	161
4.11 Variável dependente .....	164
4.12 Função polinomial .....	165
4.13 Aplicação da função polinomial na obtenção dos índices de sustentabilidade para as habitações populares .....	167
4.14 Apresentação dos resultados dos demais requisitos estudados e pesquisados.....	171
A – CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO .....	171
B – HABITAÇÃO.....	176
C – DEMOLIÇÃO.....	181
4.15 Representatividade das fases da composição de um empreendimento popular sustentável.....	186
4.16 Identificação do grau de sustentabilidade total .....	188
4.17 Aplicação passo a passo da ferramenta .....	188
4.18 Validação quantitativa da ferramenta criada .....	189
<b>CAPITULO V.....</b>	<b>208</b>
<b>5 DISCUSSÕES, CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>208</b>
5.1 Discussões.....	209
5.2 Conclusão .....	212
5.3 Trabalhos futuros .....	212
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>214</b>

## CAPÍTULO I

### 1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentadas a introdução, a apresentação do tema, a motivação para a realização, os objetivos geral e específico, as delimitações e relevâncias da tese.

#### 1.1 Apresentação do tema

O setor da construção civil, conservador por natureza, movido por incentivos públicos, financiamentos facilitados e pelo bom desempenho da economia, com o crescimento de renda, viu-se pressionado a mudar seus procedimentos e modernizar-se. O mercado crescente aumentou o número de concorrentes, contando, inclusive, com a participação de estrangeiros.

Na medida em que esse negócio tornou-se mais concorrido, valores até então negligenciados, como qualidade, prazos, uso de tecnologias, garantias, respeito ao ambiente e ao trabalhador passaram a ser relevantes como vantagens competitivas.

O cliente, por sua vez, passou a dispor de opções de produtos e serviços, que em quantidade e variedade possibilitavam comparações, aumentando o grau de exigências sobre as empresas. Diante dos novos desafios, as empresas com destaque e desejo de permanecer no mercado, adotaram novas posturas, implicando em profundas mudanças.

As empresas do setor, de um modo geral, buscam a eficiência no seu processo de produção para tornarem-se competitivas, por meio da implantação de ações para reduzir custos, sem negligenciar a qualidade, a segurança e o meio ambiente de modo sustentável. A redução nos custos de produção passou a ser importante para as construtoras, que implementaram a racionalização, a redução de desperdício, não somente pela ótica financeira, mas também por questões de sustentabilidade.

A sustentabilidade é, muitas vezes, descrita em termos de dimensões ambiental, econômica e social. No entanto, uma área de sustentabilidade social (humana), particularmente aplicável à construção civil, conforme Gatti *et al.* (2012), é a da segurança do trabalhador e seu bem estar dentro de suas atividades diárias que devem ser proporcionados pela indústria.

Esses fatos começam a mudar a participação privada e pública, em programas habitacionais e outros de grandes obras, em que a tecnologia está presente e aliada a processos sustentáveis.

Padrões internacionais de clientes passaram a exigir que a construção fosse feita mais rapidamente, utilizando tecnologias e materiais que assegurassem a qualidade, facilidades de manutenção, com preço compatível com a concorrência globalizada.

A conscientização da população e legislação obrigou que critérios de sustentabilidade fossem aplicados desde o projeto até a fase de uso e por todo o ciclo de vida da construção.

O processo vertical, em que partes da obra eram feitas no canteiro, demandava materiais básicos estocados e operados, com alta geração de desperdício de resíduos. A evolução do processo se deu pelo fornecimento produzido fora e instalados diretamente na obra. Isso promoveu a indústria da construção civil que, assemelhada à indústria automobilística, produz as peças e componentes, monta os conjuntos na construção.

A indústria da construção é caracterizada como um projeto industrial que oferece um produto, e deve prever adaptações e manutenção ao longo da vida útil do edifício, aproveitando recursos de sustentabilidade disponíveis e outros a serem criados.

Na fase de manutenção, ao longo da vida útil do edifício, por exemplo, o projeto deve ser concebido com conceitos de sustentabilidade, que inclui a fase de manutenção. Segundo Wood (2012), muitos profissionais da área de projetos não têm compromissos com a posterior manutenção do prédio. Em consequência, o projeto não é aderente aos períodos de manutenção previsíveis.

As fases de manutenção podem ser consideradas como momentos de inserção de recursos sustentáveis, e indicadores para a mensuração, que torne o empreendimento sustentável.

Na visão de Senaratne *et al.* (2012), a construção civil tal como uma indústria passa por estigmas de custos excessivos, baixa qualidade, altos registros de

acidentes e efeitos impactantes ao meio ambiente, isto é, a produção de resíduos e poluição de modo geral.

Os conceitos de indústria na construção civil induziram ações tomadas pelo setor, inclusive nas construções populares, como exemplo a modularização do processo produtivo, entre outras. Tal modularização, por meio de montagens de peças fabricadas fora do canteiro de obras (pré-fabricação), como na indústria convencional, tem reduzido o desperdício de materiais e geração de resíduos.

Essa nova maneira de construir trouxe alterações significativas na exigência de qualificação da mão de obra, no uso de tecnologias, maiores índices de precisão para que a “montagem” da obra possa ser realizada.

A gestão da construção mudou seus ingredientes. Não se trata de apenas gerenciar pessoas, mas empresas fornecedoras de materiais e equipamentos tecnológicos, instaladores e supervisores, entre muitos. Em determinados momentos da obra há a necessidade do convívio de inúmeras empresas para realizar suas tarefas específicas, tornando o ambiente propício a conflitos, pois trabalham simultaneamente no mesmo ambiente, cada um com suas idiossincrasias.

Além dessas mudanças, surgem aquelas, que se incorporam à cultura das pessoas e outras consagradas por lei. Há preocupação com o meio ambiente, o trabalhador, a população de maneira geral, quanto à segurança, saúde, poluição, desperdício de água, ocupação de espaços, entre outras.

Esta tese ocupou-se em pesquisar os princípios e as exigências relativas às construções de habitações populares sobre a sustentabilidade.

## **1.2 Motivação para a realização da tese**

Profissionais da construção civil, que estudaram sustentabilidade, sabem que a sustentabilidade desse setor não envolve apenas patrimônio ambiental, mas também a igualdade social e equidade econômica.

Com base em Toole e Cerpenter (2012), a sustentabilidade está intrínseca a todos os aspectos do projeto construtivo, e o conceito de sustentabilidade social continua a evoluir, o que leva o autor desta tese a prosseguir nessa investigação científica, apoiado por trabalhos de pesquisa publicados por entidades de renome, e o uso de método científico de grande utilização e aceitação no mundo da pesquisa.

Nesta tese houve a preocupação em estudar os aspectos sociais e ambientais do ciclo de vida das habitações populares.

### **1.3 Objetivos da tese**

A complexidade e o tamanho da cadeia produtiva da construção civil levaram ao estudo das interferências de processos produtivos e inovados tecnologicamente, aderentes a conceitos sustentáveis para o setor habitacional popular.

Os objetivos propostos nesta tese são explicitados a seguir:

**a. Geral:**

Estudar as exigências relativas às habitações populares quanto à sustentabilidade.

**b. Específico:**

**b1.** Criar uma base de dados referentes à sustentabilidade na habitação popular nas fases de projeto, construção e manutenção, habitação e demolição.

**b2.** Identificar para cada uma das fases (projeto, construção e manutenção, habitação e demolição) os parâmetros de sustentabilidade.

**b3.** Criar uma ferramenta que valide por comparação, o grau em que um empreendimento habitacional popular é sustentável em relação a outros semelhantes.

A investigação das habitações populares quanto à sustentabilidade define um processo que garante a padronização comparativa entre habitações populares.

### **1.4 Delimitações da tese**

Os setores da indústria da construção civil por serem abrangentes dentro da cadeia produtiva, é em si um limitador das possibilidades de pesquisa que visam atender os objetivos desta tese. Foram escolhidos itens que possibilitam a pesquisa, a análise e a verificação da validade ou não da proposta. Esses itens a que se restringe esta tese são:

- a.** Verificação das condições em que será implementado o projeto de construções de habitações populares quanto ao atendimento de infraestrutura;
- b.** Equipamentos e materiais utilizados tecnologicamente inovados;

- c. Resíduos, energia e mão de obra empregados nos processos de construção, habitação e demolição das edificações populares.

Para esta tese, habitação popular tem como princípio a definição utilizada por Abiko (1995) e Bonduki *et al.* (2003), habitação popular deve ser entendida como produto e processo, com dimensão física, determinantes políticos, sociais, econômicos, jurídicos, ecológicos e tecnológicos. Esses fatores são bem definidos, de modo a não restringir apenas à unidade habitacional no cumprimento de suas funções de moradia familiar confortável, segura e salubre, circunscritos por serviços, infraestrutura urbana e equipamentos sociais, aplicáveis a famílias de classe C, D e E. Essa classificação C, D e E, segundo ABEP (2013), baseia-se na renda média mensal familiar entre U\$467 e U\$696.

Para CDHU (2013), habitação popular é aquela que se destina a famílias com renda entre 1 e 10 salários mínimos.

Outra definição indireta de habitação popular é a da Caixa Econômica Federal do Brasil, que, limita em U\$450 a renda média familiar, a seu programa de financiamento.

## 1.5 Relevâncias da tese

A relevância desta tese se evidencia pelo propósito de gerar uma base de dados que permite medir a sustentabilidade entre empreendimentos habitacionais populares.

A investigação bibliográfica, que sustenta os dados desta tese, é apresentada nas matrizes 01, 02 e 03 correlacionando os principais autores consultados, *versus* as principais relevâncias de estudo.

Matriz 01 – Correlação dos principais autores consultados, versus as principais relevâncias de estudo – Projeto Civil.

T E M A	PRINCIPAIS AUTORES / TÍTULOS	ANO	RELEVÂNCIA			
			Projeto	Constr. Manut.	Habitaç.	Demoliç.
PROJETO CIVIL	CARVALHO <i>CONSTRUINDO COMPETÊNCIAS PARA GERENCIAR PROJETOS.</i>	2006	X	X	X	X
	OLIVEIRA <i>VII Workshop brasileiro de gestão do processo de projetos da construção civil.</i>	2007	X	X	X	X
	PMBOK <i>Gestão de Projetos - Project management institute.</i>	2008	X	X	X	X
	SILVA <i>Busca pela Qualidade no Gerenciamento de Projetos.</i>	2008	X			
	SILVA <i>Gestão de Projetos.</i>	2010	X			
	MAXIMIANO <i>Administração de projetos: como transformar ideias em resultados.</i>	2010	X	X	X	X
	SICERELLI <i>PMO - Escritório de Projetos.</i>	2010	X	X	X	X
	ÁVILA <i>Planos de comunicação em projetos de Engenharia.</i>	2010	X			
	CARNEIRO <i>Metodologia de Gerenciamento de Projetos.</i>	2010	X	X		
	SHEN et al. <i>Key Assessment Indicators for the Sustainability of Infrastructure Projects.</i>	2011	X	X	X	X
	SULLIVAN <i>Quality Management Programs in the Construction Industry: Best Value Compared with Other Methodologies.</i>	2011	X			
	SELIH et al. <i>Integrated quality and sustainability assessment in construction: a conceptual model.</i>	2011	X	X	X	
	NAHMENS <i>Effects of Lean Construction on Sustainability of Modular Homebuilding.</i>	2012	X	X		
	WANGA <i>Key evaluation framework for the impacts of urbanization on air environment – A case study.</i>	2013	X	X	X	X

Fonte: autor.

Matriz 02 – Correlação dos principais autores consultados, versus as principais relevâncias de estudo – Sustentabilidade.

T E M A	PRINCIPAIS AUTORES / TÍTULOS	ANO	RELEVANCIA			
			Projeto	Constr. Manut.	Habitaç.	Demoliç.
SUSTENTABILIDADE	GUGGEMOS <i>Decision-Support Tool for Assessing the Environmental Effects of Constructing Buildings.</i>	2006		X		
	PULASKI <i>Constructability Practices to Manage Sustainable Building Knowledge.</i>	2006		X		
	MACHADO <i>Gestão Sustentável: o gerenciamento dos resíduos sólidos da construção civil.</i>	2006	X	X	X	X
	VALENÇA <i>Gestão dos Resíduos Sólidos da construção civil: por uma prática integrada de sustentabilidade empresarial.</i>	2006	X	X	X	X
	YUDELSON <i>Conceito de construção Sustentável.</i>	2007	X	X		
	SANTOS <i>Sustentabilidade na construção civil: proposta para um conjunto residencial popular sustentável</i>	2007		X	X	
	GONZÁLEZ <i>Sustentabilidade econômica - proposta de aplicação de descobrimento de conhecimento no processo de concepção de produtos imobiliários.</i>	2007			X	
	HAMMOND <i>Inventory of carbon and energy (ICE) Version.</i>	2008				X
	VALENTE <i>Certificações na construção civil: comparativo entre LEED e AQUA.</i>	2009	X	X	X	X
	TORGAL <i>A sustentabilidade dos materiais de construção. Editora Universidade de Minho – Segunda edição. Portugal.</i>	2010	X	X	X	X
	JOHN <i>Conselho Brasileiro de construção Sustentável.</i>	2010	X	X	X	X
	TAN et al. <i>Sustainable construction practice and contractors' competitiveness: A preliminary study. Habitat International</i>	2011	X	X	X	
	DAO et al. <i>From green to sustainability: Information Technology and an integrated sustainability framework.</i>	2011	X			
	AQUA <i>Alta Qualidade Ambiental.</i>	2011	X	X	X	X
	AZHAR et al. <i>Building information modeling for sustainable design and LEED rating analysis.</i>	2011	X	X	X	X
	HARLAN <i>Desenvolvimento Sustentável: Os Resíduos da construção civil.</i>	2011	X	X		
	HQE <i>High Quality Environmental standard.</i>	2011	X	X	X	X
	KAMAR et al. <i>Collaborative initiative on green building and sustainability, through industrialized construction systems (IBS) in the construction industry in Malaysia.</i>	2011	X	X	X	
	SENARATNE <i>Evaluation of application of lean principles to precast concrete bridge beam production process.</i>	2012	X	X		
	CORRÉA 2009 <i>Sustentabilidade na construção civil.</i>	2012	X	X	X	X
	WALLBAUM et al. <i>Indicator based sustainability assessment tool for affordable housing construction technologies.</i>	2012	X	X	X	X
	TOOLE <i>Prevention through Design as a Path towards Social Sustainability.</i>	2012	X			

Fonte: autor.

Matriz 02 - (continuação) – Correlação dos principais autores consultados, versus as principais relevâncias de estudo – Sustentabilidade.

T E M A	PRINCIPAIS AUTORES / TÍTULOS	ANO	RELEVANCIA			
			Projeto	Constr. Manut.	Habitaç.	Demoliç.
SUSTENTABILIDADE	WOOD <i>Maintenance Integrated Design and Manufacture of Buildings: Toward a Sustainable Model.</i>	2012	X			
	ZUO et al. <i>Sustainability policy of construction contractors: A review.</i>	2012	X	X	X	X
	CASTRO-LACOUTRE <i>Optimization model for sustainable materials selection using objective and subjective factors.</i>	2012		X		X
	HAJIFATHALIAN et al. <i>Effects of Production Control Strategy and Duration Variance on Productivity and Work in Process: Simulation-Based Investigation.</i>	2012		X		X
	BONILLA et al. <i>Key Elements, Stages and Tools for a Sustainable World: An introduction to this.</i>	2012	X	X	X	X
	MARHANI et al. <i>Lean Constructio: Towards enhancing sustainable construction in Malaysia.</i>	2012	X	X	X	X
	CRESTANA <i>Indicadores de sustentabilidade no desenvolvimento imobiliário urbano.</i>	2012			X	
	GATTI et al. <i>Using Workforce's Physiological Strain Monitoring to Enhance Social Sustainability of Construction.</i>	2012	X	X	X	X
	CONEJOS et al. <i>Adapt star model: A climate-friendly strategy to promote built environment Sustainability.</i>	2013		X		
	AKADIRI et al. <i>Multi-criteria evaluation model for the selection of sustainable materials for building projects.</i>	2013	X	X	X	X
	SHARIFI <i>A critical review of seven selected neighborhood sustainability assessment tools.</i>	2013	X			
	ULSEN <i>A Production of recycled sand from construction and demolition waste.</i>	2013		X		X
	MADURWAR <i>Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review.</i>	2013	X	X		
	VUCICEVICA et al. <i>Sustainability assessment of residential buildings by non-linear normalization procedure.</i>	2013		X	X	
	YEHEYIS et al. <i>SADIQ, R. An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability</i>	2013	X	X	X	X
	SANTOS <i>A iluminação nos edifícios – uma abordagem no contexto da sustentabilidade e eficiência energética.</i>	2009	X	X	X	

Fonte: autor.

Matriz 03 – Correlação dos principais autores consultados, versus as principais relevâncias de estudo – inovação e tecnologia.

T E M A	PRINCIPAIS AUTORES / TÍTULOS	ANO	RELEVANCIA			
			Projeto	Constr. Manut.	Habitaç. C.	Demolição
MARTINS	<i>Inovação tecnológica na produção de edifícios impulsionada pela indústria de materiais e componentes.</i>	2004	X	X	X	X
MANZONE	<i>A construção civil rumo à Industrialização.</i>	2005	X	X		X
COZZA	<i>Ação em cada dia.</i>	2005				X
AGOPYAN	<i>A construção civil rompendo paradigmas.</i>	2005	X	X		X
CEOTTO	<i>A industrialização da construção de edifícios: de passado letárgico para um futuro promissor.</i>	2005	X	X	X	X
MATEUS	<i>Tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção.</i>	2006	X	X		X
DIAS	<i>Cadeia produtiva da construção e o mercado de materiais.</i>	2007	X	X		X
PCC-2540-USP	<i>Seleção de Materiais, Componentes e Sistemas: O Edifício e o Ambiente - Ênfase: Conjuntos de Habitações Unifamiliares de Interesse Social.</i>	2007	X	X	X	X
LUCAS	<i>Classificação e descrição geral de revestimentos para paredes de alvenaria ou de betão.</i>	2008		X		
TORGAL	<i>O Gesso na construção civil.</i>	2008	X	X	X	X
TAIGY	<i>Perfil das inovações tecnológicas na construção civil: sub-setor edificações em João Pessoa.</i>	2008	X	X	X	X
ALBANO	<i>Sustentabilidade e Habitação Popular: Ética e Estética na Arquitetura Unifamiliar.</i>	2009		X	X	
PEREIRA	<i>Cadeia produtiva da construção civil: uma análise sobre a sustentabilidade.</i>	2009	X	X	X	X
BARBI	<i>7 passos do gerenciamento de projetos.</i>	2010	X			
MADUREIRA	<i>Metodologia do Projeto: planejamento execução e gerenciamento.</i>	2010	X	X		
AGOPYAN	<i>O desafio da construção civil.</i>	2011	X	X	X	X
LIN	<i>Human Resource Allocation for Remote Construction Projects.</i>	2011	X	X		X
PEREIRA	<i>Características de Projetos Industrial.</i>	2011	X			
ROBICHAUD	<i>Greening Project Management Practices for Sustainable Construction.</i>	2011	X	X	X	X
BOYD et al.	<i>Off-site construction of apartment buildings: a case study.</i>	2012	X		X	
KORANDA	<i>An Investigation of the Applicability of Sustainability and Lean Concepts to Small Construction Projects.</i>	2012	X	X		X
SOLÍS-GUZMÁN et al.	<i>Methodology for determining the ecological footprint of the construction of residential buildings in Andalusia (Spain).</i>	2013	X	X	X	X

Fonte: autor.

## 1.6 Estrutura

Dividiu-se esta tese em cinco capítulos.

O primeiro capítulo constituiu-se pela introdução, apresentação do tema, motivação para a realização, objetivo geral, objetivo específico, delimitações e relevâncias da tese.

No segundo capítulo, procedeu-se a uma revisão bibliográfica, espécie de resgate histórico da construção civil quanto a diversos aspectos da inovação tecnológica em habitações populares, da qualidade e da sustentabilidade do setor.

No terceiro capítulo, são apresentados os materiais empregados, a metodologia, o método e o desenvolvimento com o uso da teoria *Fuzzy*, além do *Survey* de pesquisa, que deram subsídios para a análise dos dados e resultados conclusivos apresentados no capítulo IV das áreas: projeto, construção e manutenção, habitação e demolição.

No quarto capítulo, são apresentados, a construção e a análise da base de dados, que contribuíram para a verificação dos objetivos propostos formulados.

O quinto capítulo finaliza, com as discussões e os resultados conclusivos, além de possibilidades de pesquisas futuras decorrentes desta tese.

## CAPITULO II

### 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E REFERENCIAL TEÓRICO

Esse segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica que fundamenta o tema sobre sustentabilidade de empreendimentos habitacionais populares e o desenvolvimento de uma ferramenta de análise.

#### 2.1 A rede produtiva da construção civil

As rápidas mudanças do mercado globalizado têm exigido que as indústrias de todos os setores, sejam ainda mais flexíveis – saber utilizar a rede produtiva é uma questão de sobrevivência. Esse fato tem sido o argumento para ajudar as empresas a melhorar a inovação, operação, crescimento estratégico, ao ganhar uma vantagem competitiva sustentável, e entrega de valores sustentáveis para a sociedade em geral (DAO *et al.*, 2011).

A rede produtiva da construção civil compõe-se do projeto, do processo, dos materiais utilizados, da tecnologia, da comercialização e financiamento, enfim todos os insumos que abrangem desde os estudos para lançamento de uma obra até a sua entrega ao cliente final. Pereira (2009) considera a rede produtiva da construção civil como sendo um conjunto de etapas consecutivas pelos quais passam e vão sendo transformados e transferidos os diversos insumos. Essa definição abrangente permite incorporar diversas formas de redes.

Essa indústria, segundo Lazzarini (2008), está organizada em redes ou elos, constituída de indivíduos ou empresas interligadas por meio de relações diversas, composta por nós e laços que interligam os nós. Esses chamados de atores, enquanto e os laços representam o relacionamento entre eles.

Essa rede inicia nas matérias primas, passando pela manufatura, serviços, transformações no processo produtivo e inovações tecnológicas, partes realizadas em fábricas e transferidas para serem montadas na construção.

Segundo Dias (2007), a rede comporta também posturas sociais e públicas relativas ao meio ambiente e de respeito ao trabalhador que desencadearam exigências e alterações com profundas mudanças no setor. Além desses, muitos consumidores necessitam dos agentes financeiros para a aquisição do imóvel, assim como sua comercialização.

A rede produtiva da construção civil está envolvida por elos diversos, e segundo Toledo (2009), os principais são: construtoras incorporadoras e prestadoras de serviços auxiliares, que realizam obras e edificações; produção de materiais; comércio varejista e atacadista; extração e beneficiamento de insumos e atividades de prestação de serviços, como técnico-profissionais, financeiros e seguros.

Para Silva (2011), muitos elos dessa rede não conhecem seus próprios níveis de produtividade e, por consequência, os preços não são associados a essa produtividade, deixando de reverter o avanço tecnológico e organizacional em benefício para todos.

Para assegurar competitividade, as empresas da rede produtiva precisam passar a enxergar o valor que cada elo agrega, baseando-se em eficiência, produtividade, sustentabilidade, conhecimento tecnológico, verdadeira garantia da qualidade ao cliente, e não mais em quantidade de produto (SILVA, 2011).

Segundo Machado (2006), a rede produtiva da construção civil apresenta importantes impactos ambientais em todas suas etapas. A indústria da construção civil, como grande consumidora de recursos naturais, é consequentemente, grande geradora de resíduos, acarretando impactos sobre o meio ambiente.

A perenidade dessa rede produtiva, dentro de sua importância para o desenvolvimento do país como uma grande consumidora de recursos naturais e energéticos (SOLÍS-GUZMÁN *et al.*, 2013), por ser uma grande geradora de resíduos, é a necessidade da incorporação dos princípios estratégicos de gestão ambiental em seus conceitos de gestão empresarial.

## **2.2 Evolução do trabalho**

O conceito físico de trabalho corresponde a conversão de energia em ação. Para o contexto empresarial, trabalho pode ser relacionado à atividade que resulta do consumo de energia física e mental, direta ou indireta, voltada à produção de bens e serviços, contribuindo, para a reprodução da vida humana, individual e social.

Trabalho pode ser entendido como a produção, manutenção e modificação de bens ou serviços e conhecimentos necessários à sobrevivência humana, segundo Cattani (2002).

Fatos conhecidos da história mostram que na transição social do feudalismo para o capitalismo, a divisão do trabalho por ofícios foi substituída pela divisão técnica do trabalho. O trabalho medieval dominante nas oficinas de artesanato foi substituído pela divisão de diferentes tarefas nas oficinas de manufaturas modernas. Nessa sequência, às transformações na forma de realizar o trabalho ao longo da história, foram introduzidas inovações tecnológicas nos processos de trabalho e produção, por meio de máquinas. Essas mudaram a composição do trabalho e da mão de obra (VOLPATO, 1999).

O desenvolvimento tecnológico promoveu mudanças nas formas de organização da produção e do trabalho. A produção capitalista necessitava da concentração da produção num mesmo local, em que máquinas pudessem substituir trabalho manual pelo mecanizado, aumentando a capacidade e a produtividade. Para isso passou a requisitar do trabalhador, além da habilidade, o conhecimento.

### **2.3 Organização do trabalho**

Na década de 1980, no Brasil, ocorreram importantes mudanças relacionadas a processo de trabalho. Em consequência, nas empresas provocaram alteração na organização do trabalho, e fortaleceram os sindicatos.

O avanço da informática e da difusão de novas teorias e técnicas de gerenciamento, do controle de qualidade, do *Just-in-Time*, e da gestão participativa focada na contribuição intelectual dos trabalhadores no processo de produção, fez com que fosse profunda a reformulação e organização.

Houve também, nesse período um enxugamento do número de níveis hierárquicos nas empresas, facilitando o processo de comunicação e o fluxo de informações, o uso de indicadores para medir o desempenho (redução de custos, prazos, aumento da qualidade e melhoria dos resultados).

Outro fator importante surgido na década de 1990 foi à política de remuneração vinculada ao desempenho, como forma de participação nos lucros: bônus de produtividade e qualidade. Esse fator afetou positivamente o clima cultural e o relacionamento entre capital e trabalho.

Esse clima cultural é apresentado por Nassar (2000) como sendo:

“... o conjunto de valores, crenças e tecnologias que mantém unidos os mais diferentes membros, de todos os escalões hierárquicos, perante as dificuldades, operações do cotidiano, metas e objetivos..”

Na construção civil, desse período em diante, a procura de racionalizar a produção foi tímida e em poucas empresas. De maneira assemelhada, a organização do trabalho evoluiu, nesse setor, obrigando-se a passar por vários, processos de aprendizado, com objetivo de criar sistemas produtivos mais eficazes, para atender requisitos de qualidade, prazos e custos, disponíveis, por meio de tecnologia moderna.

A indústria da construção civil tem importância no desenvolvimento do Brasil, tanto no econômico, destacado pelas quantidades movimentadas de seu ciclo de produção, pelo consumo de bens e serviços, como no social, pela capacidade de empregos que cria.

A construção civil e sua cadeia produtiva, pelos volumes que manipula e usa, constituem-se em forte preocupação para a sustentabilidade do planeta.

Na pluralidade dos trabalhadores da construção civil, observa-se que há desde o analfabeto até aquele que terminou o ensino fundamental ou técnico. Em geral, a realidade brasileira é de trabalhadores em sua maioria de baixa qualificação, pouca escolaridade, aprendizado na prática e de difícil capacidade de aprendizado.

A mão de obra da construção civil tradicionalmente recebeu um fluxo migratório do campo para os centros urbanos, sendo os trabalhadores migrantes, quase sempre com baixo nível de escolaridade e precária formação profissional. Na construção civil encontraram a possibilidade de venda da sua força física de trabalho (LAMERA, 2000). Ciocchi (2003) revela que os operários da construção civil nas grandes cidades brasileiras são provenientes das regiões Norte e Nordeste do Brasil.

Na interação com outros setores, a indústria da construção civil está presente desde a extração de minérios para fabricação de materiais e componentes até a

automação de edifícios, participando com seus subsetores - construção pesada, material de construção, montagem industriais e imobiliários.

Por essas razões, a indústria da construção civil é considerada como o coração da economia, por ser um dos setores com participação tanto nos períodos recessivos, e de crescimento da economia brasileira (LAMERA, 2000).

Destaca-se a importância social e econômica da construção civil em toda a sua cadeia produtiva, pela geração de empregos diretos e indiretos.

### 2.3.1 Construção civil e o trabalho

No processo de trabalho da construção civil, há fatores importantes a serem considerados.

Segundo Tranjan (1999), existem três categorias de trabalhos:

- Os serviços rotineiros de produção caracterizam bem o trabalho na sociedade industrial, em que tarefas repetitivas são supervisionadas por um chefe que conhece mais do produto padronizado final e da máquina do que da força de trabalho. A mão de obra é considerada boa quando sabe ler e contar e é valorizada pelos chefes quando se mostra leal e capaz de seguir as normas;
- A prestação de serviços é voltada para tarefas simples e repetitivas, que ainda exigem pouca formação. O trabalho é contratado por hora ou por empreitada e difere da situação anterior por estar mais próximo do cliente, podendo ser realizado em grupo ou só. A formação até o 2º grau é considerada desejável e os chefes valorizam a assiduidade e a pontualidade;
- Os serviços especiais diferem das categorias anteriores por não necessitar de tempo preestabelecido, local predeterminado e supervisão direta. O forte dos serviços especiais está na capacidade de perceber oportunidades, resolver problemas e ser original e criativo. Manter-se atualizado é a principal estratégia para ser bem sucedido. Exigem formação escolar superior e, muitas vezes, pós-graduação, além de conhecimentos de informática.

A construção civil caracteriza-se por ser uma produção manufatureira. Essas peculiaridades do setor levam a um processo de trabalho bastante complexo. Os processos de trabalho na construção civil estão intimamente ligados às metodologias empregadas na sua produção, e ao estágio tecnológico em que se encontra o setor ou a obra em questão, de artesanal, tradicional e industrializado (de montagem).

Questões como a informalidade é fato no setor, a construção civil é o setor da atividade econômica que reúne o maior percentual de trabalhadores por conta própria (DIEESE, 2011a).

O importante é ressaltar a necessidade de uma sustentabilidade do processo produtivo, em que o cliente é o destinatário do processo, e suas aspirações devem ser atendidas, otimizando a qualidade, o prazo e o custo.

## 2.4 Produção enxuta

Para Simão (2004), a produção enxuta é uma das técnicas de administração da produção, incluindo aspectos de administração de materiais, gestão da qualidade, arranjo físico, projeto do produto, organização do trabalho e gestão de recursos humanos.

O mesmo autor considera que a produção enxuta tem como meta principal, melhorar continuamente seus processos produtivos. A busca desses objetivos dá-se por um mecanismo de redução de estoques. Os objetivos impostos para a produção enxuta são: zero defeito; tempo zero de preparação (*setup*); estoque zero; movimentação zero; quebra zero; *lead time* zero; lote unitário (uma peça). A gestão da qualidade é um condicionador para a implantação da produção enxuta, aspectos importantes como: controle de processo, visibilidade da qualidade, disciplina da qualidade, paralisação das linhas, correção dos próprios erros, inspeção 100%, lotes pequenos, organização e limpeza da fábrica, excesso de capacidade, verificação diária dos equipamentos.

Conceitos da produção enxuta são praticados na construção civil em prol da melhoria de seus processos produtivos, diante das pressões do mercado.

Essas pressões estão forçando as empresas a obterem melhores desempenhos, reduzir seus prazos, tempos, sem comprometimento da qualidade e da conformidade em relação às necessidades dos clientes e que também não ocorra

um aumento nos custos. Segundo Faversani (2004), a empresa deve investir na tecnologia do processo de produção, no sistema de gestão, logística eficiente de canteiro em fluxos físicos de informações, na gestão dos materiais e dos componentes, na redução dos prazos, dos custos, das perdas e dos desperdícios.

O quadro 01 expressa as principais características da construção civil dos anos de 1980 comparada com as dos anos 2000.

Quadro 01 – A construção civil ontem e hoje.

	<b>Anos 1980</b>	<b>Anos 2000</b>
<b>Terceirização</b>	Alguns serviços	Construtora é apenas gerenciadora
<b>Foco</b>	Sem nicho definindo	Segmentos definidos
<b>Contratos</b>	Preço fechado; investimento parcial com recursos próprios	Por administração, PMG (Preço Meta Garantido)
<b>Organização</b>	Diretoria para cada área; topo da pirâmide distante da base	Poucas diretorias, atuação direta dos donos nas decisões; topo da pirâmide próximo da base
<b>Recursos</b>	Próprios e SFH (Sistema Financeiro da Habitação)	Próprios, bancos, uso do escambo de área construída por terreno
<b>Projetos</b>	Poucos detalhes; não havia compatibilização adequada entre outros projetos; pouca participação dos projetistas na viabilização técnica e comercial dos empreendimentos	Mais detalhes, compatibilização mais consciente, projetos auxiliares complementares; maior participação dos projetistas; atualização na linguagem dos símbolos
<b>Planejamento</b>	Inexistente; cronograma riscado à mão	Atuante; uso de ferramentas eletrônicas; monitoramento mais consciente; participação de profissionais de várias áreas na elaboração

Fonte: Projeto e Engenharia (FAVERSANI, 2004)

Os esforços para manter a competitividade, aumentando o desempenho tem sido a meta das indústrias em todo o mundo. Segundo Sullivan (2011), nos últimos 30 anos, o mercado tem assistido a uma escalada crescente da implantação de programas de gestão da qualidade, fortalecidas pelo aumento da concorrência nacional e global em suas respectivas áreas de atuação. Esses programas são baseados no aumento do conhecimento adquirido pelos clientes, que levam a necessidade de um maior desempenho dos fornecedores / empreiteiro que, por sua vez, imprime resistência a mudanças.

Destacado pelo mesmo autor, a resistência aos processos preconizados pela filosofia de produção enxuta é a maior dentre todas as demais resistências, sendo as principais: resistência para mudança de métodos aprendidos há muitos anos atrás; empenho para atingir resultados outrora não monitorados.

#### 2.4.1 Construção enxuta e o *just-in-time*

Na indústria da construção civil, o termo construção enxuta tem se relacionado como o conceito de produção enxuta. O objetivo é de aumentar a eficiência da produção pela eliminação de desperdícios, reduzindo o tempo de produção.

Para que isso ocorra é preciso identificar-se os desperdícios. Entre os tipos mais comuns destacam-se: superprodução; tempo de espera; transporte; processos dispensáveis; estoque disponível; produtos defeituosos.

Quanto à mão de obra, uma empresa que utiliza a filosofia da construção enxuta transfere o máximo de tarefas e responsabilidades para os trabalhadores que realmente agregam valor ao produto. Dentro dessa filosofia é natural que o processo de trabalho deva ser feito por equipes.

Na gestão sem desperdícios, os construtores brasileiros estão obrigados a apresentar projetos de gerenciamento de resíduos para cada uma de suas obras, quer se trate de uma reforma residencial ou da construção de um grande porto. A exigência nasce de uma resolução federal - CONAMA 307 (2002) – Conselho Nacional do Meio Ambiente, que torna obrigatórios os Planos Integrados de Gerenciamento de Resíduos da construção civil em todos os municípios brasileiros.

Segundo Simão (2004), *Just-In-Time* (JIT) significa que, em um processo de fluxo, as partes corretas necessárias à montagem alcançam a linha de montagem no momento em que são necessárias e somente na quantidade necessária.

Portanto, *Just In Time* é o sistema de controle de inventário em que os materiais são comprados e unidades são produzidas somente quando necessários para atender a demanda real do cliente.

Para Simão (2004), na construção civil há uma série de dificuldades para que isso aconteça, pois os fornecedores não entregam no prazo determinado e os materiais, muitas vezes, apresentam algum tipo de defeito, representando atraso na produção.

Isso ocorre na construção civil, devido à falta de fornecedores exclusivos, pois, muitas vezes, o critério de escolha do fornecedor é pelo preço, e não a qualidade do material. Quanto a pontualidade na entrega é difícil manter um

esquema de parceria em longo prazo, pois nem sempre a empresa consegue manter uma quantidade de obras suficiente para não parar de adquirir os insumos.

## **2.5 Inovações tecnológicas na construção civil e a qualidade**

Desde os anos de 1980 o setor da construção civil tem avançado na busca da industrialização e racionalização de seus processos construtivos, face aos elevados custos de produção do setor e também devido às exigências de qualidade.

No Brasil, desde o projeto até a atividade de construção, conceitos específicos vêm sendo aplicados, destacando-se o controle tecnológico, durabilidade e de desempenho dos materiais e componentes.

Os materiais da construção civil, desde a sua extração da natureza, até a desmobilização final do empreendimento, mesmo os naturais como rochas e solo e madeira, exercem impactos diferentes no meio ambiente. Não se pode negligenciar a contribuição dos impactos ambientais que os materiais têm durante a fase de uso (AGOPYAN, 2011). Entretanto, não é essa situação que se encontra em muitas empresas construtoras.

Outro fator que pode contribuir na aceitação ou rejeição do empreendimento é o atendimento aos desejos dos clientes. A deliberação sobre a qualidade do produto é abonada pelo cliente, uma vez que ele tem expectativas de certos aspectos como um projeto bem concebido, o produto final com qualidade respeitando o meio ambiente.

O uso de novas tecnologias implica em desenvolver novos materiais de construção e usá-los. Para tanto é preciso haver cooperação entre fabricantes e construtoras, na disseminação dos atributos técnicos e das instruções de aplicação destes novos materiais.

### **2.5.1 Qualidade do projeto da construção civil**

A construção civil vem passando por mudanças causadas por decisões econômicas, entre elas: a abertura do mercado nacional, a privatização de firmas estatais, a concessão de serviços públicos, a lei de licitações, a concorrência acirrada dos preços praticados pelo mercado globalizado nas obras públicas e privadas.

O referencial dos clientes mudou com a evolução da tecnologia, a complexidade das firmas e da sociedade. A exigência por produtos melhores (serviços/projetos), tanto de setores públicos como privados aumentou.

Costa Neto (2008) avança nesse mesmo entendimento ao considerar que a evolução da tecnologia e a complexidade exigida pelas firmas, a referência de cliente foi alterada, sendo que eles exigindo produtos/serviços/projetos com qualidade assegurada.

Segundo Martinez (2010), na década de 1980 , quando se falava em projetos, estabelecia-se relação com o desenvolvimento de um produto (serviço/projeto), como a construção de uma usina ou de uma rodovia. Eram projetos grandes e de longo prazo de execução. Atualmente, o conceito de projetos é muito mais amplo: “... é uma reunião de esforços aplicados de forma integrada na busca de um objetivo bem definido”.

As firmas de projetos e os profissionais do ramo estão cada vez mais preocupados com o setor e vêm aderindo a programas de melhoria de qualidade visando não somente a racionalização dos recursos, mas também a satisfação dos clientes e o fortalecimento de suas posições no mercado internacional.

Segundo Robichaud (2011), as seguintes premissas devem ser consideradas para um projeto de construção sustentável: estabelecer metas específicas de sustentabilidade e prioridades do projeto para os recursos de construção sustentável, antes de iniciar concepção e construção; contratar gerente de projeto; todos os membros da equipe do projeto de construção com desenvolvimento sustentável devem continuar a participar da construção; trabalhar com práticas sustentáveis além das metas estabelecidas; fazer reuniões mensais com a força de trabalho local inteiro, incluindo uma componente de educação sustentável em sessões.

Construção civil sustentável em todas as três dimensões de efeitos econômicos, ambiental e social é possível através de inovações práticas e tecnologias. A entanto, a maior barreira para a aplicação generalizada da construção civil sustentável é o aumento dos custos iniciais em grande parte atribuível a aprendizagem de trabalhadores da construção (NAHMENS e IKUMA, 2012).

A preocupação mundial sobre as mudanças climáticas e sustentabilidade estimulou a necessidade de edifícios verdes. Com o aumento do número de edifícios verdes, devem aumentar os especialistas competentes em projetar, construir, gerir e dar manutenção nesses novos tipos edifícios. De acordo com Hwang e Jian (2013), afirmam que a crescente preocupação mundial para os impactos ambientais negativos, empresas de construção civil de sucesso entenderam que seus gerentes de projetos precisam ter conhecimento profundo do ciclo de vida de um edifício, a fim de que seus projetos sejam viáveis quanto à sustentabilidade e competitividade global, uma vez que dificuldades como as descritas a seguir estão presentes nesse tipo de obra:

- Tempo mais longo necessário durante o processo de pré-construção;
- Seleção de subempreiteiros que prestam serviços de construção verde;
- Alto custo de materiais verdes e equipamentos;
- Alterações mais frequentes e variações com o projeto durante o processo de construção;
- Compreender as especificações verdes nos detalhes do contrato;
- Planejamento de sequências não tradicionais de construção;
- Técnicas de construção diferentes.

#### 2.5.2 Qualidade do produto e serviço

As firmas de projetos da construção civil, frente a um mercado cada vez mais competitivo, começam a utilizar as dimensões da qualidade como diferencial. Quanto ao produto e serviço, essas dimensões foram amplamente estudadas por Garvin (1992), a competitividade do setor.

Cauchick (2001) contribui com apresentando uma compilação das dimensões da qualidade apresentadas a seguir:

- Cada empresa deve decidir quais dimensões da qualidade devem ser enfatizadas, ou como deverá ser combinadas entre elas;
- A dimensão da qualidade características/especificações diferencia um produto/serviço em relação aos seus concorrentes;
- A dimensão da qualidade desempenho é o aspecto diferencial básico de qualquer produto/serviço. Para atendimento direto ao público, essa

dimensão é medida pela velocidade de atendimento;

- A dimensão da qualidade conformidade é o grau em que um produto/serviço está de acordo com as especificações, ou seja, padrões;
- A dimensão da qualidade confiabilidade está associada ao grau de isenção de falhas de um produto/serviço;
- A dimensão da qualidade durabilidade é a medida da vida útil de um produto/serviço, dentro de aspectos técnicos e econômicos;
- A dimensão da qualidade imagem é a resultante das dimensões estética e qualidade observada;
- A dimensão da qualidade atendimento ao cliente objetiva assegurar a continuidade dos serviços/produtos após a entrega desse para o cliente;
- Todas as dimensões que refletem a qualidade de um produto/serviço são importantes;
- As dimensões da qualidade no setor de serviços/engenharia é um fator de competitividade muito importante na atualidade.

Correlacionando a qualidade com a sustentabilidade, Castro-Lacouture (2012), apresenta as dimensões da sustentabilidade do material de construção que levam a uma construção fundamentada nas premissas de projeto sustentável, no quadro 02.

Quadro 02 - Instrumento de medição de sustentabilidade.

Dimensão sustentabilidade	Medição de sustentabilidade do produto
Qualidade	Comum - extraordinário
	Incerto - confiável
	Temporário - durável
Funcionalidade	Inutilizável - funcional
	Impraticável - útil
	Sem valor - útil
Pedido do usuário	Pouco atraente - atraente
	Prejudicial - benéfico
	Desapontado - satisfeito
Desenvoltura	Desperdício - engenhoso
	Ineficiente - eficiente
	Comum - inovador
Comprabilidade	Não dispostos a pagar por isso - disposto a pagar por isso
	Não quer comprá-lo - quer comprá-lo

Fonte: Adaptada da Tese de Castro-Lacouture (2012).

### 2.5.3 Qualidade no gerenciamento do projeto

A qualidade do gerenciamento do projeto na construção civil vem evoluindo quanto os aspectos tecnológicos, econômicos e sociais (OLIVEIRA, 2007).

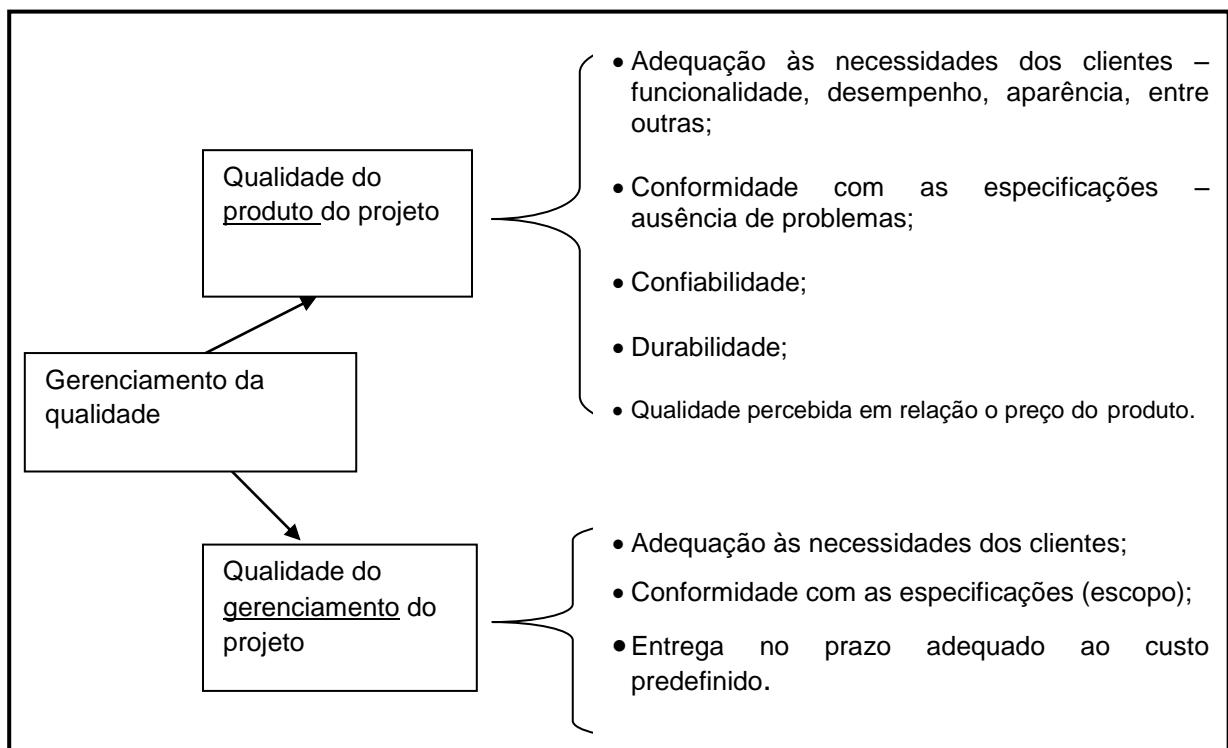
Para Maximiano (2010), o gerenciamento com qualidade define características (ou especificações) de uma entidade (produto, serviço, evento, conceito, pessoa, grupo, organização).

Para Camargos (2004), essa qualidade do gerenciamento é alcançada na operacionalização de ações como: dedicação na definição de trabalho; entendimento dos requisitos do cliente; transformação dos requisitos do cliente em documentação; planejamento com conceito de “fazer certo na primeira vez”; usar ferramentas de acompanhamento e avaliação do processo; melhorar continuamente; mudar os planos para “*baselines*” para um alinhamento padrão de ações e mudanças.

Segundo Silva (2008), gerenciamento da qualidade do produto da construção civil se inicia na definição da especificação (requisitos) que transformam as necessidades e interesses do cliente em desempenho esperado. Tais especificações de desempenho estão definidas nas características desejadas pelos clientes, assim como seu rejeite.

A qualidade do produto da construção civil não é apenas um problema em atender ao cliente, e sim, de conciliação entre os interesses do cliente e dos “*stakeholders*” ao longo de todo o processo produtivo, dentro e fora da obra. Um esquema do gerenciamento da qualidade do projeto baseada na identificação de especificações de desempenho é apresentado na figura 01.

Figura 01 - O gerenciamento da qualidade do projeto baseia-se na identificação de especificações de desempenho.



Fonte: Maximiano (2010)

Para Barbi (2010), gerenciar um projeto de construção civil com qualidade é atingir os objetivos dentro de padrões determinados, planejados com base de custos definida, cabendo ao gerente de projetos o atingimento dos objetivos propostos.

Para Pereira (2011), os projetos de construção civil podem ser caracterizados, por meio dos seguintes conceitos:

- Razão: objetivos específicos ou oportunidade de investimento;
- Parâmetros: definição prévia da delimitação do projeto, como o escopo, orçamento, recursos humanos, metas e objetivos, materiais e equipamentos, qualidade, segurança e meio ambiente, além de prazos;
- Resultado: solução desenvolvida ao atendimento do interesse do cliente, dentro de restrições de tempo e recursos.
- Singularidade: ser único;
- Complexidade e especificidade: os projetos requerem formas específicas de gestão e de execução;
- Administração: técnicas de utilizar recursos e competências, integrando-as na transformação de ideias em resultados;

- Temporalidade: o projeto tem o início, compreendendo a sua fase de concepção e conceituação, o meio, que envolve mobilização de recursos e desenvolvimento e execução do projeto, e o fim, quando se atinge o objetivo do projeto;
- Sequência clara e lógica: ter sequência bem definida e lógica de ações;
- Incerteza: as interferências devem ser monitoradas, a fim de diminuir as incertezas.

Quanto à complexidade do projeto da construção civil, de acordo com Carvalho (2006), quanto maior a complexidade do projeto, maior o seu grau de incerteza. Para Aldabó (2001), geralmente ocorrem custos fora do previsto, portanto o gerente deve prever uma margem de tolerância para desvio dos prazos, custos, retornos e resultados prefixados.

Segundo ABEPRO (2010), ao se identificar uma possibilidade de negócios, a firma identifica uma oportunidade e é feita uma análise de risco para identificar a melhor alternativa para o empreendimento. Tal alternativa tem de ter um retorno financeiro superior ao de atratividade adotada pela firma em seus estudos econômicos.

Silva (2010) define os projetos da indústria da construção civil com características comuns aos outros projetos, porém, apresentam particularidades.

Com base nos conceitos de Konishi (2010), os projetos da indústria da construção civil possuem um ciclo bem definido, sendo:

- Concepção: ciclo que analisa as condicionantes e os riscos, dentro de uma viabilidade econômica, estimativa de recursos necessários, definição de alternativas e apresentação de propostas;
- Planejamento: ciclo que detalha o escopo contratual em uma sequência de operações denominada estrutura analítica do projeto (EAP);
- Execução: ciclo que envolve a engenharia básica e de detalhamento do projeto, aquisição de materiais e equipamentos, desenvolvimento e contratação de fornecedores, monitoramento e controle da execução da construção e/ou montagem.

A gestão de projetos da indústria da construção civil requer conhecimento e boas práticas em todas as suas áreas específicas. Para tanto, Konishi (2010) estabelece que os pilares de gestão – custo, qualidade e prazo, comumente são considerados como fatores críticos para o sucesso de um empreendimento.

Certas decisões devem ser tomadas pelo setor de projetos, como localização da obra, definição do edifício a ser construído, o tipo arquitetônico, tipos de materiais e componentes, que interferem diretamente no consumo de recursos naturais e energia, antes, durante e depois do empreendimento.

O *Intergovernmental Panel on Climate Change* - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) aponta que os edifícios são a alternativa mais barata e mais efetiva para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> (AGOPYAN, 2011).

Então a melhor solução econômica para a execução de empreendimento baseado em projetos sustentáveis é ser competitivo com menor custo, com o menor tempo e possibilite atender ao cliente com a qualidade mais adequada.

#### 2.5.4 Qualidade na comunicação

A primeira etapa, comunicação, é importante para bom desempenho do projeto, por isso é essencial que seja feito um plano de comunicação antes do início das atividades, evitando o aparecimento de atritos, atrasos, comprometimento do escopo e até mesmo desentendimentos entre as pessoas da equipe (RABECHINI JR., 2001).

Das etapas do guia PMBOK (2008), as duas mais significativas são comunicação e a qualidade do projeto.

No entanto, gerir um projeto é mais que verificar, delegar e acompanhar, pressionar quando o desempenho cai, implica em facilitar a compreensão entre as pessoas com diferentes pontos de vista, através de informações claras e confiáveis, ou seja, é muito importante que seja feito o plano de comunicação objetivo e eficaz (IETEC, 2011).

Kunsch (2003) apresenta a importância da comunicação dentro das firmas de projetos como o fator do estabelecimento de políticas de linguagem comum, além de se evitar sobreposições de informações.

Para Carneiro (2010), um dos problemas em atividades de projetos é a comunicação insuficiente ou mal feita. Durante a execução do projeto, entretanto ela precisa ser planejada, devendo determinar-se a informação e comunicação necessárias para os *stakeholders*.

Um exemplo de comunicação que deve ser bem feita em uma firma é a do planejamento estratégico, possuindo características necessárias que devem ser observadas pelos diretores de firmas de projetos, uma vez que irão assegurar a consistência das expectativas - metas e objetivos, de modo que a tendência é transformar planejamento em oportunidade de negócios. O plano estratégico deve ser divulgado para todos da firma (HAJJAR, 2007).

A segunda etapa, qualidade do projeto, qualifica o produto final, tanto para o desempenho funcional como financeiro, e os fatores que afetam essa qualidade são ligados diretamente ao empreendedor (capacidade de expressar claramente os objetivos a serem atingidos), projetista (capacidade de traduzir os objetivos e restrições em alternativas de soluções funcionais tecnológicas com desempenho equivalente), executante do projeto (capacidade de executar o projeto sem afetar o nível de qualidade do projeto) e controle operacional sistematizado: disponibilidade de legislação, documentação, regras, padronização (HINO, 2001).

Administrar a qualidade do projeto é ter foco em gerenciar processos. Segundo Maximiano (2010), a administração da qualidade do projeto é definida pela qualidade de seus elementos: escopo, tempo, custos, riscos, e outros.

## **2.6 Recurso humano na construção civil**

Na esfera social, o setor é igualmente representativo, especialmente em países emergentes, absorvendo grande parte da mão de obra despreparada. O setor vem assumindo seu papel na transformação dessa realidade, expondo a carência de profissionais preparados para esse desafio.

A simplicidade dos empreendimentos populares tem servido de abrigo para a mão de obra menos qualificada. Como consequência, comprometendo a qualidade e segurança dessas construções. Esse é um dos principais problemas a serem resolvidos, para que esses conjuntos tenham melhor desempenho. São técnicas e tecnologias que não podem ser empregadas, falta de condição para entender o

projeto e realizar serviços como recomendam as normas. Far-se-á a seguir comentários sobre os recursos humanos e a qualidade requisitada.

Segundo Konishi (2010), contratar pessoas certas para atividades específicas da construção civil está cada vez mais difícil para as firmas, apesar de a construção civil historicamente ter representado um papel importante na economia brasileira, em consequência da absorção de grandes contingentes de mão de obra migrante e/ou excedente no mercado formal.

Quanto ao grau de instrução (formação escolar) dos trabalhadores da construção civil, muitos são analfabetos ou possuem apenas o primeiro grau, e quando treinados nas novas tecnologias, salvo poucas exceções, o são pelos próprios colegas de trabalho.

Sobre a origem do trabalhador da construção civil, em sua maioria, é do meio rural, geralmente do sexo masculino, com idade entre 30 e 35 anos, apresentando baixo nível de instrução e de qualificação profissional e possuindo um ganho mensal de, aproximadamente, dois salários mínimos (Holanda, 2003).

Frente a presente característica da atividade da construção civil, os operários necessitam, além do aprendizado dos modos operativos, desenvolverem a capacidade para o exercício da iniciativa própria ao aprendizado corporativo.

A implantação de sistemas de gestão da qualidade enfatiza a importância do treinamento e exige que seus resultados sejam registrados.

Segundo Lino (2005), a construção civil brasileira é o segmento da economia que abriga a maior faixa de mão de obra desqualificada do país, operando com um sistema de gestão ultrapassado, e o engenheiro de obras está direcionado para atividades que poderiam e deveriam estar sob a abrangência de atividades dos mestres de obra.

A desqualificação e saber dos operários da construção civil pode ser recuperadas através do contínuo treinamento formal, tendo em vista que as tecnologias e novas técnicas sempre estão em evolução.

### 2.6.1 Tecnologia e emprego

Analistas especializados veem o progresso técnico como o único grande responsável pela redução de empregos. Nos anos de 1970, segundo Mañas (2004), a discussão sobre esse tema novamente se apresentou, ampliada pelo desemprego que se abateu sobre muitos países. Especialistas avaliam a inovação tecnológica como responsável pelo desemprego, porém, também como fato de geração de novos postos de trabalho.

As alterações provocadas pelas novas tecnologias têm exercido um papel de destaque na economia mundial, como drásticas reduções de custos e preços dos bens e serviços, estimulando ao trabalhador buscar outras atividades laborais.

### 2.6.2 Globalização e emprego

A globalização e interligação pela comunicação instantânea têm substituído certas profissões de tempo integral, para parcial ou por vezes contratada a distância, para períodos de tempo definidos.

Segundo Vendrametto (2002), a nova configuração, desencadeada pela globalização da economia mundial em termos de organização da produção, tem dois destaques a se considerar. Um deles é a perda de identidade de cadeias produtivas devido ao fracionamento e o outro, a exclusão social com a redução de postos de trabalho e seletividade externa para os novos postos.

Para Alvarez (2001), uma das consequências da nova configuração provocada pela globalização é o crescimento do desemprego.

Segundo o mesmo autor, nos Estados Unidos, na década de 1980, um dos principais sintomas foi que os trabalhadores com baixa qualificação se depararam com o declínio de seus salários reais, enquanto aqueles com alta qualificação viram, no mesmo período, a ascensão de seus salários.

Quanto à construção civil brasileira, de acordo com Sacomano (2002), há maior cobrança por parte das construtoras quanto à capacitação de seus subcontratados, estabelecendo novos parâmetros na terceirização de serviços/produtos dentro e fora do canteiro da obra.

“ ... uma questão determinante para a competitividade da construção civil brasileira é a crescente racionalização de alguns componentes estruturais, ..., que estão sendo produzidos fora do canteiro de obras” (SACOMANO, 2002).

A industrialização da construção civil mundial, atrelada ao desenvolvimento de novas tecnologias competitivas, vem demandando profissionais especialistas para tarefas específicas.

Diante desses fatos, a mão de obra disponível até então, vem perdendo espaço rapidamente, em razão da alta velocidade das mudanças, sem tempo para absorver e adequar-se à nova realidade. Postos de trabalho são removidos de dentro da obra e proporcionando outros fora, porém, de qualificação especializada.

### 2.6.3 Ocupação na construção civil

Em relação à oportunidade de empregos, a indústria da construção civil é uma grande geradora de ocupação da mão de obra nacional quando se compara com outras atividades industriais. Aponta-se este setor como sendo aquele que mais emprega no setor industrial (CONSTRUBUSINES, 2010).

Segundo Rifkin (2001), o desemprego possui diversas causas, uma está relacionada à tecnologia. é possível responsabilizar as inovações tecnológicas pela redução do emprego, quando representam racionalização dos processos produtivos e crescimento da produtividade do trabalho.

Para Cattani (2002), um aspecto de destaque a respeito do impacto da tecnologia sobre o emprego está ligado ao crescimento da produtividade do trabalho em comparação ao do produto. E conclui que empregos com atividades rotineiras e com baixos requisitos de escolaridade, como são os da construção civil, são os mais atingidos de forma negativa pela introdução de inovações.

Para Gaither (2002), os trabalhadores não aproveitados por motivos como habilidade e capacitação técnica, irão para outras empresas ou ficarão desempregados.

Afirma o mesmo autor, que nos anos de 1980, quando projetos de automação foram implementados nos Estados Unidos, muitas empresas perceberam que não podiam treinar ou re-treinar seus atuais empregados (FRAZIER, 2002). Porém, em

pouco tempo alguns trabalhadores norte americanos da área administrativa e do setor de produção perderam seus empregos e migraram para a economia informal ou permaneceram desempregados.

Quanto mais a tecnologia se fizer presente nas empresas, o treinamento e a reciclagem de empregados se tornarão real e de responsabilidade das empresas.

Segundo Rifkin (2001), o desemprego mundial atingiu o seu ponto mais alto desde a década de 1930. No atual mercado global do trabalho, algumas centenas de milhões de seres humanos estão desempregados ou subempregados.

Mañas (2004) corrobora com essa questão ao afirmar que a somatória da mudança tecnológica e do desemprego constitui uma fração do desemprego total.

Essa condição não é apenas no setor da construção civil, os setores mais tradicionais da economia — agricultura, indústria e serviços — estão vivenciando a inovação tecnológica e consequentemente o desemprego.

Dentre as diversas causas do desemprego, a tecnologia, e as inovações tecnológicas são responsáveis pela redução do emprego, quando racionalizam os processos produtivos e aumentam a produtividade do trabalho, sem a necessidade de contra partida do aumento da demanda de trabalhos.

#### 2.6.4 Recrutamento, admissão, treinamento e qualificação

As empresas da cadeia produtiva da construção civil estão se dedicando de modo intensivo ao recrutamento, admissão, treinamento e qualificação de seus trabalhadores.

Morales (2002) explica treinamento como sendo a promoção de mudanças no comportamento dos trabalhadores, através de um processo educacional. Por esse meio as pessoas adquirem conhecimentos, habilidades e atitudes para o desempenho de suas funções.

O treinamento pode e deve ser praticado na indústria da construção civil pelos benefícios que proporciona aos trabalhadores, como a melhora das suas habilidades e conhecimentos, tornando-se mais eficiente seu trabalho ao possibilitar a introdução de novas tecnologias.

Para Campos (2004), o treinamento está restrito a um número limitado de empresas, pelo investimento que se faz necessário.

Na falta de programas de treinamento por parte da organização, capacitar os colaboradores pode ser por meio da observação do companheiro na execução da tarefa. Esse método de transmissão do conhecimento tem seu lado positivo, pois na falta de políticas empresariais que proporcionem ou possibilitem o repasse e o armazenamento de conhecimentos por meio de treinamentos formais, os próprios trabalhadores solucionam o seu problema e garantem a perpetuação do acervo técnico dos ofícios.

Nesses casos, o mestre de obras é o elo principal desse treinamento interno ao canteiro, e o desenvolvimento da mão de obra depende fundamentalmente das relações entre os mestres e os trabalhadores.

Porém, a alta rotatividade do setor da indústria da construção civil é prejudicial para esse tipo de transmissão do conhecimento, pois nem sempre há tempo para a formação de grupos em uma obra. O próprio processo produtivo do setor impõe a substituição constante de trabalhadores na obra.

## **2.7 Formação profissional**

Formar um profissional é atender a todos os processos que permitem adquirir e desenvolver conhecimentos teóricos, técnicos e operacionais relacionados à produção específica, tanto quando desenvolvidos nas escolas ou nas empresas (CATTANI, 2002).

Segundo Pulaski *et al.* (2006), profissionais da construção têm conhecimentos e competências que podem ajudar a melhorar o processo de elaboração do projeto do edifício sustentável. O conhecimento adquirido durante o projeto usando práticas de construtibilidade tem melhorado o desempenho dos edifícios quando a equipe está integrada para defender a causa ambiental. Periodicamente as lições aprendidas são compartilhadas entre os diversos grupos de trabalhadores e oficinas práticas são realizadas para a integração entre projetistas e construtores.

A formação de profissionais da construção deve contemplar conhecimentos e competências que a equipe de projeto possa utilizar para melhorar a sustentabilidade dos edifícios. Práticas de gestão de projetos que fortaleçam a integração entre as disciplinas de projeto e construção são necessárias para superar

os desafio e complexidades que podem desenvolver-se em projeto de construção sustentável.

### 2.7.1 Novos perfis profissionais

Em organizações onde a mudança tecnológica está em evolução, o trabalhador deve preparar-se para as novas tarefas, como fator de competitividade.

Segundo Silva (2000), a racionalização e otimização que vem passando os sistemas de produção na construção civil, centenas de postos de trabalhos foram fechados. O novo sistema produtivo estabelece grande variedade de habilidades (flexibilidade), soluções criativas, alto grau de engajamento na empresa e capacidade para tomar conhecimento de todo processo produtivo.

Com o mesmo enfoque, para Zibas (2003), os novos padrões de trabalhadores, face ao avanço dos novos processos produtivos, requerem aptidão e raciocínio rápido, demandando uma maior escolaridade formal. Embora a educação profissional continue sendo necessária às organizações, têm-se registrado um baixo grau de instrução da mão de obra, opondo-se a implementação das novas técnicas de qualidade e produtividade.

## 2.8 Desenvolvimento do projeto

Segundo Ítalo (2010), as firmas precisam ser mais competitivas e organizadas para um ambiente globalizado, levando a fase de execução e planejamento dos projetos a um patamar agressivo.

Quanto aos objetivos de um projeto, Sicerelli (2010) apresenta os seguintes: promover o alinhamento dos objetivos dos projetos com os objetivos da firma; gerar conhecimento e habilidades para melhorar a capacidade e qualidade das entregas; identificar deficiências e melhores práticas na busca da solução das deficiências e a disseminação das melhores práticas; detectar e implantar processos de gerenciamento; valorizar o treinamento e desenvolvimento de habilidades em gerenciamento de projetos; implementação de serviços de apoio para gerenciamento de projetos; zelar para que a qualidade e eficiência dos produtos entregues e serviços prestados.

Assim como há requisitos para o sucesso do projeto civil, Carneiro (2010) apresenta fatores que levam um projeto à falha. São eles:

- Desdenhar da complexidade do projeto;
- Carência de acesso às informações e de comunicação interna;
- Elementos-chave não integrados;
- Medidas de controle inexistentes;
- Alterações constantes de requisitos;
- Implementação insuficiente ou estratégia não definida;
- Gerenciar o projeto com *softwares* especialistas, como se fosse a solução;
- Expectativas diferentes entre contratante e fornecedor;
- Atitude ganha-ganha deixada para segundo plano;
- Liderança, comprometimento e patrocínio inexistentes;
- Realização de “n” aditivos contratuais no mesmo projeto, sem uma visão de oportunidades de novos negócios.

É possível entender que o ato de projetar depende de pessoas hábeis e com atitude, de uma estrutura organizacional madura e de método bem definido, e o uso de técnicas e instrumentos para gerenciamento dos projetos.

Segundo Santos (2010), as principais finalidades do projeto em uma firma de projetos de engenharia civil são:

- Padronizar informações, cronogramas, estimativas, relatórios, planos;
- Ser o elemento central de informações;
- Ser um centro de apoio aos times de projetos;
- Estimular o espírito de equipe;
- Manter histórico dos projetos e promover a distribuição das lições aprendidas;
- Realizar comparações de desempenho entre projetos;
- Estimar riscos e ações de mitigação dos projetos;
- Promover a análise interdisciplinar dos projetos, objetivando elevados índices de qualidade;
- Equipe envolvida em: selecionar os processos adequados; usar uma abordagem definida para adaptar os planos e as especificações do produto de forma a atender aos requisitos do produto e do projeto; atender aos requisitos para satisfazer as necessidades, desejos e

expectativas das partes interessadas; balancear as demandas conflitantes de escopo, tempo, custo, qualidade, recursos e risco para produzir um produto de qualidade; conhecer a estimativa e o controle dos custos do projeto; conhecer o planejamento do projeto (cronograma, comparação entre os recursos planejados e os utilizados); conhecer o planejamento e o controle da comunicação (sistemas de informação e comunicação do projeto).

Assim como Ítalo (2010), Ávila (2010) também considera que a gestão de projetos de engenharia civil tem, nos últimos anos, procurado profissionais com conhecimento e habilidades diversificados e bem definidos, que atendam a um mercado cada vez maior na diminuição de prazos, de custo e otimização dos recursos humanos e materiais.

Segundo Madureira (2010), a divisão do projeto de engenharia tem as seguintes etapas, sendo elas: estudo de viabilidade; estudo preliminar; anteprojeto; projeto legal; projeto pré-executivo; comercialização; acompanhamento técnico.

Um fator que não pode ser desconsiderado no gerenciamento de um projeto é o ciclo de vida, definido por Maximiano (2010), como sendo a sequência de fases que vão do início ao final de um projeto qualquer.

Esse princípio permite a visualização de todas as fases de um projeto, possibilitando a aplicação das técnicas de administração do projeto compostas de um início, de um desenvolvimento intermediário e final, que são a descoberta e inspiração da ideia, a concepção, ou seja, uma ideia transformada em modelo mental ou representação do produto, desenho detalhado do produto – eventualmente um protótipo ou maquete, desenvolvimento ou gradual elaboração e entrega final do projeto a ser apresentado ao cliente (MAXIMIANO, 2010).

Os processos degradatórios que demandam manutenção na edificação até o final da vida do material utilizado devem ser analisados na fase de projeto, porém, a velocidade da degradação, depende de fatores que podem ser controlados durante o uso da edificação.

O planejamento do projeto, apresentado por Maximiano (2010), é gradual e sucessivo, começando na percepção de esclarecer um problema (necessidade ou oportunidade) e terminando na aprovação definitiva desse plano, que é o sinal verde

para o início do projeto. A execução do projeto consiste em realizar atividades programadas, que consiste em mobilizar os recursos definidos no planejamento, definir responsabilidades e autoridades e determinar a realização de serviços por terceiros. O encerramento do projeto consiste na entrega do produto ou serviço, e para alguns projetos ainda deve-se considerar a fase de testes e período de manutenção.

## **2.9 Tendências da construção civil**

Cada vez mais a demanda por edifícios sustentáveis vem aumentando, por sua capacidade de reduzir o consumo de energia e de água, minimizar os impactos sobre o ecossistema com o uso de materiais ambientalmente corretos. São intitulados de edifícios verdes.

Os esforços para melhorar o processo de elaboração de projetos verdes passam pela concepção do projeto, além dos níveis básicos de profissionais da construção.

Para maximizar os benefícios ao meio ambiente pela capacidade de construção profissional, é necessário o uso do conhecimento ao longo do processo de projeto inteiro, adaptando as práticas de gestão para ajudar a alcançar os objetivos de construção sustentável. Uma prática é o uso da construtibilidade como conceito, em que as alterações do projeto são feitas para melhorar a eficiência energética da construção.

Para maximizar os benefícios das capacidades de construção profissional, são necessários métodos para utilizar a construção sustentável. Uma estratégia é adaptar as práticas atuais de gestão de projetos para ajudar a alcançar os objetivos de construção sustentável. Isso requer uma abordagem que se concentra em como os edifícios são projetados, quem está envolvido no projeto, quais pontos em tempo e quais as técnicas de gestão são mais adequadas e, como o projeto pode ser concluído de forma mais eficiente e sustentável quanto ao desperdício de energia e uso da água em edifícios, enquanto os esforços de construtibilidade se concentra na eliminação dos esforços de construção desnecessários (PULASKI *et al.*, 2006).

A construção civil, com a reestruturação da sua capacidade de produção, está mudando, adotando técnicas de gerência de produção.

Determinados segmentos da construção civil vêm passando por processo significativo de reestruturação produtiva, embora a velocidade e o ritmo de adoção dessas mudanças sejam bastante diferenciados nas diversas regiões do país. Um grande número de empresas passou a adotar novos métodos de construção, calçado em novas tecnologias e de novas formas de gestão da força de trabalho (DIEESE, 2011b).

A utilização de sistemas construtivos baseados na pré-fabricação de elementos antes produzidos no próprio canteiro, vem transformando o processo de construção em sistemas de montagem. As inovações tecnológicas na construção civil incluem os materiais e sistemas construtivos e consegue a qualidade desejada do produto final.

A estratégia competitiva das empresas de construção civil deve estar na reorganização e atualização do processo de produção, para a racionalização das atividades produtivas.

## **2.10 Tecnologia na construção civil**

Diversos autores tem-se preocupado em explicar tecnologia segundo sua área de atuação. Entretanto, para muitos leigos, a tecnologia é a máquina.

Porter (2004) define que tecnologia é conhecimento.

Corroborando com essa afirmação, Vendrametto *et al.* (2003) concluem que:

“A tecnologia é consequência de conhecimentos científicos ou empíricos, obtida por meios éticos ou não. Seu desenvolvimento depende de base sólida científica, cultural e de investimentos. O uso da tecnologia, ou o produto com forte base tecnológica, pelos efeitos que propicia, transgride fronteiras, credos, regimes políticos e fiscalização aduaneira. Seu emprego altera cenários econômicos, políticos, filosóficos e culturais. Daí a necessidade de definições que contextualizem e circunscrevam o conceito no local e dimensão em que o protagonista pretende tratá-la”.

O uso da tecnologia favorece a obtenção de vantagem competitiva em variedade de operações que antes não recebiam a sua influência.

Para Porter (2004), dentre os fatores que modificam as regras da concorrência, a inovação tecnológica aparece entre os mais proeminentes.

Na indústria da construção civil, o atual modelo tecnológico, não se estabeleceu em um curto prazo, pois houve um longo período de desenvolvimento que até hoje perpetua.

Vargas (2005) considera que a indústria da construção civil passou no mínimo por três estágios: técnico; aplicação de teorias e métodos científicos. Esses estágios colocaram a indústria nacional da construção civil a produzir novos materiais e componentes que permitiam transformações na produção de edifícios, tais como:

- Tijolos cerâmicos de oito furos (1935);
- Louça sanitária (1936);
- Telhas de fibrocimento (1937);
- Bacias sifonadas (1943);
- Blocos de concreto (1948);
- Fios revestidos com material termoplástico (1965);
- Esquadrias de alumínio (1970); e
- Tubulações e eletrodutos rígidos de P.V.C (1972).

Essa tendência leva a um novo sistema construtivo que traz para a construção civil a linha de produção, o planejamento, o não desperdício, o aumento de produção, a redução de mão de obra e a padronização.

Para Grandi (2003), o processo produtivo na construção civil inovado com diferentes materiais provocou alterações como a mudança na consciência profissional. Os profissionais, ao executarem uma parede em blocos de concreto, são pressionados a realizá-la com precisão, ao contrário do que fariam com material cerâmico. E o sistema leva o profissional a produzir mais e melhor e, como consequência, a ganhar mais.

A evolução desses processos tem propiciado alguns avanços na técnica de execução como revestimento de argamassa de dosagem obtida em laboratório; fôrmas padronizadas visando a maior produtividade na montagem; escoramento com vigotas de aço com regulagem de altura; alvenaria estrutural racionalizada a partir do projeto; lajes limpas, sem a presença de tubulação (a tubulação hidráulica desce pelos “shafts” - compartimentos ocos, embutidos nas paredes do banheiro e

cozinha); portas montadas dentro do batente na fábrica; janela com o vidro é levada montada para o canteiro; “kits” hidráulicos pré-montados para posterior instalação na obra.

Há um aumento de produtividade e uma redução do número de postos de trabalho, com redução no número de trabalhadores empregados no sistema convencional, e aumento no nível de qualificação e melhoria na qualidade de vida.

## **2.11 Inovação tecnológica na construção civil**

A inovação tecnológica envolve a criação de tecnologia continuamente, baseada em pesquisa de desenvolvimento, criação, uso e validação pelo mercado (MANZONE, 2005).

Na construção civil, o debate sobre inovação tecnológica ressurgiu nos anos de 1970, em decorrência das transformações dos processos produtivos verificados em escala mundial. Segundo Cattani (2002), a inovação tecnológica diz respeito a transformações de caráter tecnológico que incidem sobre o processo de produção e/ou produto.

Tomando como base Porter (2004), a inovação tecnológica pode ser divida em: substituição de equipamentos; e aquisição de novos conhecimentos e métodos.

Em complemento a Porter (2004), Gaither (2002) define algumas vantagens e desvantagens da especialização da mão de obra, que deverá operar os equipamentos citados por Porter:

### **Vantagens**

- 1.** Devido ao trabalho repetitivo, os índices de produção são elevados;
- 2.** As taxas salariais são baixas. Trabalhadores podem ser treinados rapidamente. Trabalhadores podem ser recrutados facilmente.

### **Desvantagens**

- 1.** A insatisfação do trabalhador pode fazer com que os custos totais sejam excessivos devido aos elevados índices de rotatividade;
- 2.** A qualidade da produção pode ser baixa, porque os trabalhadores não são motivados para produzir produtos de alta qualidade, uma vez que os trabalhadores fazem somente uma pequena parte de um produto,

nenhum trabalhador particular é responsável pela qualidade do produto inteiro.

Segundo Agopyan (2005), a indústria da Construção civil hoje, diferente do passado quando era considerada conservadora, vêm se modernizando nas últimas décadas, suplantando conceitos, hábitos e modelos.

Em meio a tudo isso se transformou processos, surgiram novas sistemáticas de trabalho, paradigmas construtivos foram mudados e provocaram alterações no cotidiano de profissionais e, consequentemente, de usuários finais.

Para Rifkin (2001), enquanto as primeiras tecnologias industriais substituíram a força física do trabalho humano, trocando força muscular por máquinas, a inovação tecnológica, baseada no computador, promete substituir a própria mente humana, colocando máquinas inteligentes no lugar dos seres humanos em toda a escala de atividade econômica.

Para Aldabó (2001), a inovação tecnológica em si, não é uma situação inusitada, mas sim a velocidade com que acontece é que preocupa, sendo necessário para tanto preparar-se para a adaptação ao impacto das mudanças; preparar-se para renunciar ao poder formal em favor do poder da competência; questionar as premissas que vêm orientando a sua atuação na área profissional; desenvolver mais profundamente seus conhecimentos e habilidades; passar a exercitar o trabalho em grupo; ampliar o feixe de conhecimento de modo a interpretar melhor a grande massa de inovação existente.

Por fim, a inovação tecnológica na construção civil não depende somente de fatores intrínsecos aos canteiros (COZZA, 2005).

A melhoria do ambiente de negócios e a união dos elos que compõem a cadeia produtiva são fundamentais.

Martins (2004) identifica e descreve três diferentes níveis no processo de inovação tecnológica na construção de edifícios. São eles:

- a. Inovação de produto de construção: refere-se aos produtos acabados de construção que incorporam novas tecnologias, seja através de serviços ou novos equipamentos. São exemplos os residence-services, apart-hotéis e “edifícios inteligentes”. Esse nível de inovação é mais perceptível

ao usuário;

- b.** Inovação de produto para a construção: caracteriza-se pela introdução de novos produtos para a construção na forma de insumos e não altera o produto final de modo evidente para o usuário. Esse tipo de inovação requer alterações no processo de produção e representa uma inovação para as empresas construtoras e seus fornecedores;
- c.** Inovação organizacional: caracteriza-se pela modernização da estrutura de produção através de novas formas de gerência e controles, inclusive de qualidade. Esse tipo de inovação está inter-relacionado com a anterior, no entanto, apresenta características próprias e pode prescindir da utilização de novos insumos.

Para Lino (2005), a construção civil iniciou um novo caminho em busca da industrialização de seus processos. A ideia basicamente consiste em eliminar os aspectos artesanais do processo de produção e passar a operar com a ótica de uma indústria.

Como exemplo, construção pré-fabricada de edifícios tem como vantagem: economia de escala na fabricação de varias unidades repetida, velocidade de instalação quando os módulos são construídos fora do canteiro de obras, e melhoria da qualidade e da precisão na fabricação (LAWSON, 2012).

Para tanto são necessárias algumas quebras de paradigmas e apostas em novas soluções tecnológicas, tais como painéis pré-fabricados para fachadas, gesso acartonado, banheiros prontos, estruturas metálicas, estruturas pré-fabricadas de concreto, sistemas hidráulicos flexíveis, estruturas em paredes de concreto, entre tantas alternativas. Segundo Torgal (2008), esses novos sistemas além de trazerem melhores índices de desempenho em relação aos utilizados anteriormente, permitem um melhor controle na produção e execução dos mesmos.

Considerando competitividade como capacidade de se formular e programar estratégias que permitam aumentar ou conservar continuamente uma posição no mercado empresarial, e pela exigência feita pelos consumidores mais esclarecidos, é fato que a prestação de serviços e a fabricação de produtos continuem sendo cada vez mais diferenciadas na qualidade e ao mesmo tempo de menor custo.

Esse contexto atual tem levado as organizações pertencentes aos mais diversos setores de atividade industrial a reverem o seu posicionamento e a se decidirem em termos estratégicos.

No entanto, Porter (2004) verifica que a maioria das empresas pertencentes ao setor industrial ainda não se definiu por uma clara estratégia competitiva que as pudessem colocar em posição favorável em relação às suas concorrentes. Em geral, as organizações desconhecem o comportamento das cinco forças determinantes da competitividade:

1. Entrada de novos concorrentes: determina a probabilidade de novas empresas entrarem em uma indústria e conquistarem mercado;
2. Poder de negociação dos compradores: determina até que ponto os compradores retêm grande parte do valor criado para eles mesmos, deixando as empresas de uma indústria apenas com modestos retornos;
3. Ameaça de novos substitutos: determina até que ponto algum outro produto pode satisfazer às mesmas necessidades do comprador;
4. Poder de negociação dos fornecedores: determina até que ponto os fornecedores irão apropriar-se do valor criado para os compradores;
5. Intensidade da rivalidade entre os concorrentes existentes: determina até que ponto empresas que já estão em uma indústria irão conquistar o valor criado por elas para compradores, entre elas mesmas, passando esse valor para compradores na forma de preços mais baixos.

Essas forças determinantes também regulam a concorrência na indústria da construção civil. Sem dúvida, esse conhecimento é de grande valia para a correta escolha de estratégias competitivas por parte das organizações, haja vista que a estratégia competitiva visa estabelecer uma posição lucrativa e sustentável contra aquelas forças.

A introdução de um conjunto de inovações tecnológicas importantes na indústria da construção civil pode permitir que uma empresa intensifique a diferenciação e reduza o custo simultaneamente, e talvez alcance ambas as estratégias.

Se determinada empresa pertencente ao setor da indústria da construção civil opta pela adoção de uma estratégia de inovação tecnológica, sobretudo se for,

então teoricamente essa empresa ficará em posição favorável em relação às suas concorrentes, pois que poderá alcançar diferenciação e liderança no custo simultaneamente.

Entretanto, diante da possibilidade do surgimento de clientes mais poderosos e mais exigentes com relação à aquisição de produtos de melhor qualidade e a preços mais baixos, algumas poucas empresas do setor estão começando a rever o seu posicionamento.

Investir em inovações tecnológicas na intenção de gerar novos produtos ou buscar um posicionamento estratégico só faz sentido se aumentar de alguma forma sua capacidade de permanecer no mercado em condições julgadas adequadas pela organização.

Alguns autores citam a inovação na construção civil como uma estratégia competitiva mundial, cada vez mais presente nas empresas do setor.

Para que a inovação tecnológica seja usada como estratégia competitiva, Holanda (2003) entende que além de reconhecer as características estruturais do setor, é importante identificar as principais tendências das empresas construtoras e fornecedores de materiais e componentes quanto ao desenvolvimento e utilização de inovações, dentre as quais destaca:

- A construtora busca no mercado uma tecnologia e a insere no seu sistema produtivo: esse é o modo mais comum das empresas construtoras adquirirem uma nova tecnologia. Porém, sua implantação representa um grande desafio para a maioria;
- A construtora cria a necessidade e desenvolve uma nova tecnologia: um número reduzido de empresas construtoras dispõe dos recursos necessários para o desenvolvimento de uma inovação internamente e os riscos envolvidos também são totalmente assumidos por elas;
- A construtora cria a necessidade e forma parceria com fornecedores: os processos de desenvolvimento e implantação, por envolver a necessidade de integração da inovação com outros subsistemas do edifício, são geralmente conduzidos pelas empresas construtoras;
- Os fornecedores induzem a necessidade na construtora e fornecem uma inovação: essa é uma alternativa pouco explorada pelo setor, pois

para aproveitar a vantagem competitiva, os fornecedores passam a assumir a maior parcela dos riscos envolvidos.

A tendência é que os fornecedores deverão conduzir o processo de desenvolvimento de novos produtos a partir de uma estratégia de princípios de colaboração e confiança junto aos construtores.

#### 2.11.1 Dificuldades à inovação tecnológica

Alguns elementos constituem-se em dificuldades à inovação tecnológica para as empresas construtoras e a indústria de materiais e componentes.

Nas empresas construtoras, de materiais e componentes, os principais fatores que dificultam o processo de inovação tecnológica são:

- A postura conservadora de grande parcela das empresas construtoras ou incorporadoras (MARTINS, 2004);
- O menor preço como o principal critério adotado por diversas empresas construtoras para a contratação dos diversos fornecedores de componentes e elementos do edifício, deixando de lado os condicionantes de ordem técnica que também têm grande peso (SABBATINI, 2000);
- A necessidade de ampliação dos recursos públicos e privados destinados à pesquisa, incentivando à inovação principalmente nas pequenas e médias indústrias em parceria com centros de pesquisa e universidades (MARTINS, 2004);
- A falta de visão sistêmica e de compreensão quanto ao processo de produção de edifícios dos fornecedores de materiais e componentes em geral (SABBATINI, 2000).

Durante a produção de materiais de construção, as principais fontes de emissão de gases de efeito estufa são: combustível fóssil utilizado durante a fabricação e transporte dos materiais, extração da madeira nativa, a emissão de grande quantidade de poluentes durante a calcinação da cal e do gesso (transformação do calcário  $\text{CaCO}_3$  em óxido de cálcio  $\text{CaO}$  por aquecimento a altas temperaturas sem atingir o seu ponto de fusão) (AGOPYAN, 2011).

Pelas citações anteriores, não é fácil empreender inovações tecnológicas na produção da indústria da construção civil. E também não é possível para as empresas continuarem a produzir com baixos índices de produtividade e elevados índices de desperdícios, o que demanda uma postura ativa do setor.

#### 2.11.2 A inovação tecnológica e o meio ambiente

As mudanças tecnológicas também podem reduzir as perdas e o entulho da construção. No entanto, pode se considerar que nem todas as novas tecnologias adotadas recentemente colaboram com a redução das perdas.

Para Valença (2006), a geração do resíduo durante a fase de construção é decorrência das perdas dos processos construtivos. Parte das perdas do processo permanece incorporada nas construções, quando por deficiência no uso de novas tecnologias e mão de obra não qualificada, as dimensões finais de uma construção são superiores àquelas projetadas.

Segundo Cassiolato (2008), a inovação tecnológica como processo se estende para além das atividades formais de projeto e desenvolvimento e passa a incluir em todos os desdobramentos da produção até o ciclo final da vida do produto por ela gerado.

Para Hajifathalian et. al. (2012), o aumento da produtividade, a redução das horas de trabalho com a introdução de novas tecnologias e o uso de conceitos de sustentabilidade, podem melhorar o desempenho do projeto, mas são em muitas vezes, difícil de realizar. O processo de construção é complexo e consiste um grande número de tarefas interdependentes e sequencial.

Esses processos começam com ocupação de terras livres e continua com a implementação de materiais obtidos nos processos de produção de energia. No final, a estrutura obtida consome significativa quantidade de energia para a construção de manutenção, proporcionando conforto para os ocupantes, e geração de grande quantidade de resíduos (VUCICEVICA, 2013).

A inovação tecnológica na construção Civil é para os empresários um adicional competitivo, sustentável e com impacto ambiental reduzido.

## 2.12 Sustentabilidade no setor da construção civil

Tradicionalmente resistentes à modernização de seus meios de produção, as empresas construtoras brasileiras do setor de edificações veem-se pressionadas a investir na melhoria da qualidade de seus produtos e na evolução de seus processos de produção em busca de maior competitividade, como garantia de sobrevivência no mercado.

Segundo Selih e Srdic (2011), qualidade inclui também o desempenho sustentável do ambiente construído e processos de construção. Esse desempenho e sustentabilidade na construção civil apresenta um arranjo de três níveis: produto de estrutura, processo (projeto) e construção. Além disso, deve-se ter consciência de que a qualidade tem um caráter multidisciplinar, isto é, diferentes abordagens. O conceito de qualidade na construção civil exige o cumprimento de explícitos e implícitos requisitos, e precisa ser avaliado do ponto de vista do produto (estrutura) ou o processo (projeto).

Hoje, a organização tradicional do trabalho na construção civil subdividiu e reduziu as tarefas tornando sua execução simples. Observam-se inserções de inúmeras inovações tecnológicas relativo a materiais, processos, projetos e gestão. São visíveis os sinais de mudanças tecnológicas.

O exemplo da alvenaria tradicional atualmente coexiste no mercado com vários processos inovados tecnologicamente para a produção de alvenaria de vedação vertical (paredes), e cabe atentar se as questões ambientais estão sendo respeitadas em todo o processo produtivo inovado.

Outro exemplo sustentável é o descrito por Ulsen (2013) que, em seu estudo, apresenta tecnologias que vêm possibilitando o uso de materiais de construção civil originados de reciclagem de resíduos da construção civil, aplicadas na construção de elementos rústicos como chapisco e paredes não estruturais.

Sustentabilidade tem um conceito amplo. Na construção civil não é tão simples de ser praticada, a não ser que seja apoiado por pessoas da organização informadas sobre os conceitos ambientais. A sustentabilidade na organização requer o esforço de todos em atingir as metas a eles confiadas (BONILLA *et al.*, 2012).

A última década testemunhou um crescente nível de atenção à sustentabilidade e desenvolvimento sustentável em todos os setores. A indústria da

construção não é exceção. Suas atividades têm impactos importantes sobre o contexto social, ambiental e aspectos econômicos da sustentabilidade do planeta. Segundo Zuo *et al.* (2012), impactos positivos também são evidentes como contribuição para o crescimento do produto interno bruto (PIB) dos países em desenvolvimento, proporcionando oportunidades de emprego e produção de vários tipos de edifícios e instalações, a fim de satisfazer as necessidades dos homens como seres vivos. Os impactos negativos como a geração de resíduos, gás de efeito estufa, ruído e poeira são fatos reais.

Como apresentado por Robichaud (2011), a construção de edifícios ambientalmente sustentáveis tem crescido na última década. O público é cada vez mais consciente dos benefícios da construção sustentável sobre as emissões de gases de efeito estufa e do consumo de recursos naturais. Outros fatores, incluindo maior energia preços, aumentaram de custos de materiais de construção, e incentivos regulatórios, também estão pressionando o mercado de construção sustentável para crescer e expandir. No entanto, as barreiras à construção sustentável continuaram a existir, incluindo a capacidade de entregar um projeto sustentável dentro de restrições de custo aceitáveis.

Ao analisar cenários de desenvolvimento globais, Wallbaum *et al.* (2012) concluem que a construção civil de edifícios é de grande importância social e econômica na crescente demanda mundial por habitação sustentável, e a necessidade de solução para o setor, é a de habitação a preços acessíveis, uma vez que a habitação é uma das necessidades humanas básicas, em que a partir de uma perspectiva social não só oferece abrigo, mas também dá uma sensação de um futuro seguro.

Para tanto, o desenvolvimento do projeto de habitação sustentável a preços acessíveis caracteriza-se como um desafio para o setor de construção civil habitacional que passa por escassez de recursos humanos qualificados, falta de tempo devido à urgência da demanda construtiva, comprometendo o controle de qualidade, escolha de melhores tecnologias de construção. Segundo Wallbaum *et al.* (2012), materiais vêm sendo produzidos sinteticamente, porém, o concreto, um dos mais energeticamente emissor de carbono e gerador de resíduos na produção de materiais de construção, tem ao mesmo tempo a sua versatilidade de difícil concorrência.

Para Raut *et al.* (2011), é preocupante a acumulação de resíduos não gerenciados das diversas indústrias e/ou agricultura, principalmente em países em desenvolvimento. A construção com material sustentável é uma solução viável não só ao problema de poluição, mas também uma opção económica para projeto de edifícios verdes – a exemplo o tijolo de barro, principalmente após a demolição.

Nahmens e Ikuma (2012) descrevem construção verde como sendo a prática de criar estruturas e utilização de processos que são ambientalmente responsáveis e eficientes de recurso, ao longo do ciclo de vida de um edifício. Semelhante à construção enxuta, o foco da construção verde é na remoção de resíduos no processo de construção.

Contudo na natureza tudo está em constante transformação. Essas transformações irão degradar a capacidade de um material ou produto de executar a sua função na construção civil.

Segundo González (2007), o responsável técnico pela obra deve estar atento com a degradação da qualidade da vida humana no planeta e do trabalhador.

A construção civil é contribuidora para impactos ambientais, caracterizada por desperdiçar matéria prima e insumos utilizados nos processos construtivos, requer planejamento e práticas que reduzam esses efeitos.

Para a indústria da construção civil, segundo Valença (2006), é imprescindível atuar no desenvolvimento de tecnologias que potencializem o reuso de resíduos. Essa ação deve ser aplicada nos processos de produção, nos produtos e serviços, cujo principal objetivo é diminuir os impactos ambientais. Além desses, é desejável que também se reduzam os custos diretos e indiretos de produção, tempo e desperdício de materiais.

Segundo Senaratne e Ekanayake (2012), em uma obra civil de empreendimento habitacional, há sete tipos principais de desperdícios gerados: resíduos atribuíveis à superprodução; ao tempo de espera excessivo; ao transporte; a defeitos; ao tempo; a pessoas; à burocracia.

As causas desses desperdícios são o mau planejamento e a ineficaz gestão de forças externas aos processos. Para Senaratne e Ekanayake (2012), é

importante identificar e prevenir as atividades e métodos que são responsáveis pela geração de tais desperdícios.

A produção mais limpa direciona para as questões ambientais em diversas áreas, entre as quais o desenvolvimento de medidas de redução de consumo de matéria prima, água e energia.

Embora os conceitos de sustentabilidade e construção mais limpa podem levar a redução no desperdício gerado durante a obra, segundo Koranda *et al.* (2012), há diferenças específicas na aplicação desses conceitos, ou seja: a sustentabilidade busca eliminar o desperdício de material e emissões, concentrando-se na minimização do impacto ambiental; enquanto a construção mais limpa, tem foco na redução do desperdício, tanto de materiais como de operações tendo como alvo o custo final da obra. Os requisitos de sustentabilidade e de construção mais limpa na concepção de um projeto são diferentes, dependendo do tamanho do projeto, localização, definições, ambiente, etc. e do nível de conhecimento do pessoal envolvido em todas as fases.

Construção mais limpa é um conceito dos princípios de fabricação japonesa adaptado aos processos de construção civil, em que o objetivo é entregar um produto personalizado sem manter estoques intermediários, como uma nova abordagem de gestão para a indústria da construção.

Segundo Marhani *et al.* (2012), as indústrias de construção em países, como Austrália, Brasil, Dinamarca, Equador, Finlândia, Peru, Cingapura, Reino Unido, Estados Unidos da América e Venezuela têm implementado os conceitos de construção mais limpa que é a aplicação prática dos princípios de produção enxuta para o ambiente de construção. Ou seja, é gerenciar e melhorar o processo de construção para entregar o que o cliente necessita, eliminando os resíduos do fluxo de construção, alinhado ao conceito da produção enxuta, eliminando os desperdícios, focando em tempos de ciclos produtivos mais rápidos.

Quanto aos produtos utilizados na construção civil, pretende-se reduzir os impactos ambientais à saúde humana, considerando a segurança em todo seu ciclo de vida, desde a extração da matéria prima, fabricação, uso e destinação final.

Do ponto de vista energético, o empreendimento deve apresentar edifícios mais eficientes, que possam gerar impactos cada vez menores ao meio ambiente. A

não sustentabilidade do meio ambiente toma proporções maiores ao se considerar a produção total de entulho originada pelas perdas previstas em projeto acrescido do desperdício, ocasionado pela falta de processos construtivos racionalizados e/ou industrializados, para a execução de obras civis.

Por toda a vida útil de uma edificação são gerados resíduos, seja na fase de manutenção, como na fase de reforma e adequação ao uso e até na fase de desocupação e demolição das construções.

No Brasil, a inter-relação entre a geração dos resíduos, o seu manejo e o meio ambiente desde a coleta até a disposição final, chama atenção por sua ineficiência à gestão dos resíduos da construção civil (VALENÇA, 2006).

A geração e o descarte de material de construção civil de maneira desordenada levam a sociedade pedir por providências das autoridades governamentais e dos responsáveis pela geração de entulho, para que encontrem soluções que deem tratamento adequado aos materiais descartados pelas construções. Um fator discutido é quanto ao processo construtivo tradicional, em que existe um alto índice de desperdício do material utilizado e também o não reaproveitamento do entulho.

Toda a cadeia produtiva desse setor deve implantar uma reciclagem sustentável dos seus resíduos, na adoção de medidas de prevenção à geração; recuperação ou reutilização eficiente, a baixo custo, dos resíduos gerados; conscientização e responsabilidade ambiental; além de participação de todos os agentes, públicos e privados.

Segundo Agopyan (2011), os conceitos de sustentabilidade na construção civil chegaram em 2000, quando o departamento de engenharia da construção civil (USP) organizou um evento denominado “Simpósio sobre construção e Meio Ambiente da teoria à prática”. Nesse encontro foram apresentados pelo governo brasileiro os segmentos da indústria da construção civil a serem melhorados. São eles:

- a.** Redução das perdas de materiais;
- b.** Aumento da reciclagem de resíduos;
- c.** Eficiência energética nas edificações;
- d.** Conservação de água;

- e. Melhoria da qualidade do ar interno;
- f. Durabilidade e manutenção dos edifícios;
- g. Redução do déficit habitacional, infraestrutura e saneamento;
- h. Melhoria na qualidade do processo construtivo.

As populações das grandes cidades do mundo estão aumentando rapidamente e enfrentando um déficit habitacional. O método convencional está sendo substituído pela pré-fabricação. A exemplo da Austrália, Boyd *et al.* (2012) apresentam para essa substituição de método os seguintes benefícios: minimização de resíduos; maior reciclagem de material e tratamento de resíduos; redução da energia incorporada na construção de edifícios; redução de energia consumida com transportes; redução de emissões de carbono; redução dos impactos gerados no entorno da obra.

Sustentabilidade no setor da construção civil mundial tem sido fator de debates nos últimos 40 anos, dos quais uma grande quantidade de documentos e compromissos foi gerada por todo o mundo. Contudo, não é perceptível a aplicação prática de tais ações, no dia a dia, das obras espalhadas pelas cidades, pelos órgãos envolvidos.

Essas ações por vezes não acontecem, quando o gerente da obra não visualiza o processo de reciclagem como um todo, por questões culturais, por exemplo, deixando caçambas inteiras de entulho da construção civil sejam contaminadas por lixo orgânico (SANTOS, 2007).

Para Lauria (2007), para o ano de 2050, quando a população mundial estará em aproximadamente com 10 bilhões de habitantes, o impacto que será gerado será, em média, oito vezes o atual. Para que as construtoras minimizem essas previsões, seus empreendimentos devem aplicar os 4 R's (Reducir, Reabilitar, Reutilizar e Reciclar), de forma que é preferível reutilizar um edifício ao invés de demoli-lo; recuperar materiais; diminuir a produção de entulho, diminuindo o uso de materiais novos.

Com a crescente demanda por eficiência energética na indústria da construção civil, há uma necessidade de empresas qualificadas (equipamentos e pessoas) para implementar práticas sustentáveis. Segundo Tan *et al.* (2011), esse fato é fonte de vantagem competitiva para a indústria da construção civil.

Segundo Agopyan (2011), de um modo compacto, o impacto ambiental da indústria da construção civil, depende de sua cadeia produtiva como a extração, produção, transporte de materiais e componentes, concepção e projetos, construção (execução), manutenção, a demolição, e a destinação dos resíduos gerados do início ao final da vida útil do empreendimento.

A construção civil brasileira, com a próxima Copa do Mundo e Olimpíadas, está em expansão. Porém, segundo Campos (2011), essa expansão não se traduz em desenvolvimento sustentável para a indústria da construção civil brasileira, por haver uma lentidão do setor em absorver novas tecnologias, e até mesmo investir em outras já utilizadas. Do outro lado, a utilização de materiais de vedação e acabamentos feitos ainda de forma simples, com a utilização de materiais não renováveis de modo predatório, e o descarte ilegítimo de resíduos, tem sido um problema.

Um objetivo da indústria da construção civil é a realização de um produto que satisfaça o consumidor final, com funcionalidade, segurança, durabilidade, esteticamente agradável, com interesses econômicos e com baixo impacto ambiental. Mateus (2006) alinha-se ao pensamento do desenvolvimento sustentável ao afirmar que a procura da racionalização completa, equilibrando as diferenças em nível social – por intermédio da justiça social, econômica – através da eficiência econômica, ecológica – através da prudência ecológica.

A economia e a sociedade necessitam promover o desenvolvimento sustentável, para ter uma futura geração saudável. No setor da indústria da construção civil, responsável por transformar o ambiente natural em ambiente construído, essa premissa precisa ser continuamente atualizada e mantida (AGOPYAN, 2011).

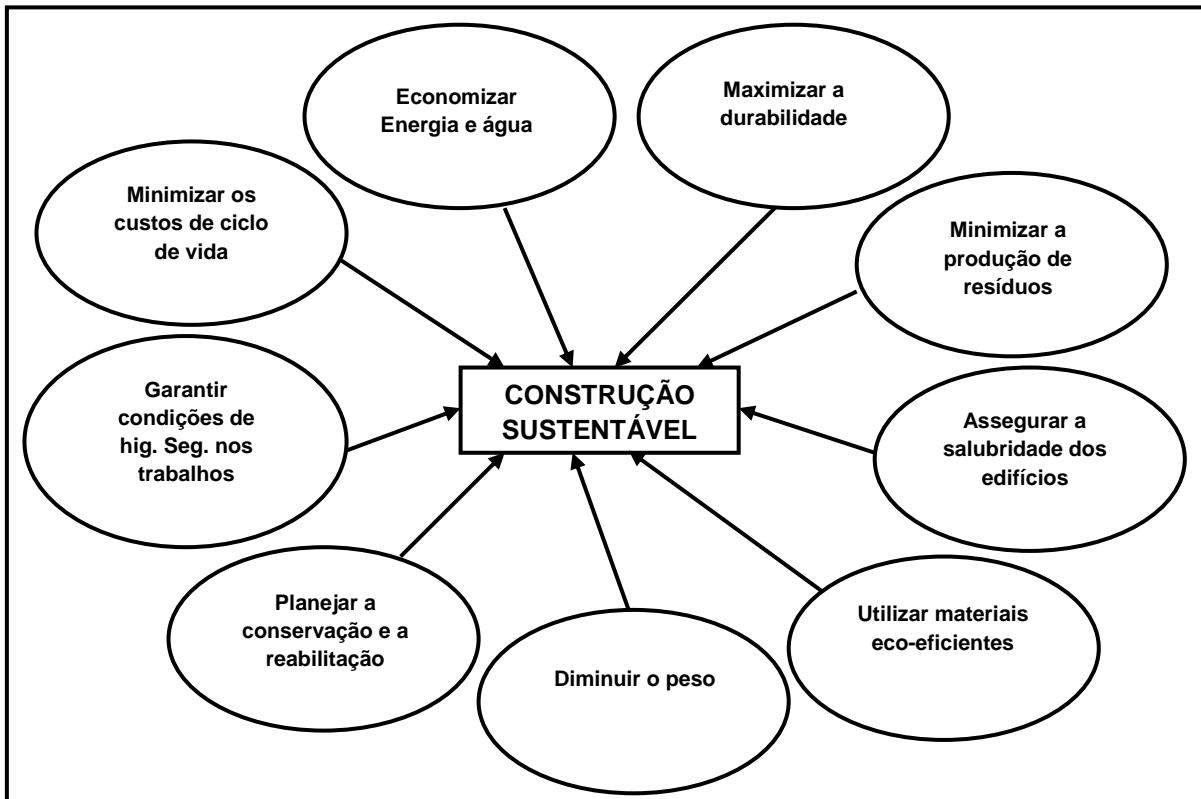
#### 2.12.1 Aspectos da construção sustentável

O conceito de qualidade da obra, com as preocupações ambientais, conduz a construção civil ao quadrante - custo, qualidade, tempo e eficiência ecológica. A eficiência ecológica envolve o meio ambiente quanto ao consumo predatório dos recursos naturais, da produção de resíduos e emissão de gases poluentes nocivos à saúde humana, ao ecossistema e a conservação da biodiversidade.

Segundo Mateus (2006), a construção sustentável, considera o ciclo de vida do edifício, conforme método de concepção, com visão de integração entre o projeto arquitetônico, o conforto ambiental, de maneira que o consumo seja diminuído com o passar do tempo.

O mesmo autor elabora a inter-relação de prioridades que segundo ele devem estar presentes durante a fase de projeto de uma construção sustentável – figura 02.

Figura 02 - Prioridades a considerar no projeto de uma construção sustentável.



Fonte: Mateus ( 2006).

Considerando as fases do ciclo de vida de um edifício, como as definidas no quadro 02 (a), por Valente (2009), a integração com o meio ambiente é necessária, um vez que, são grandes as contribuições que vão desde a conscientização dos projetistas, passando pela especificação correta de materiais, localização do empreendimento, adoção de sistemas sustentáveis de iluminação, ar, água e paisagismo.

Quadro 02 (a) - Ciclo de vida de um edifício

FASES	FATOS
<b>Concepção</b>	Este é o início de tudo para a vida de um edifício. Estudos de viabilidades são realizados atrelados às especificações construtivas.
<b>Construção</b>	É o momento em que a teoria é transformada em execução.
<b>Habitação</b>	Nesse momento os usuários estarão validando o edifício através do uso contínuo das unidades.
<b>Manutenção</b>	Nessa etapa surgem as necessidades de reposição de alguns elementos de desgaste natural ou não, como equipamentos e sistemas.
<b>Transformação</b>	Aqui o produto, um dia concebido, não mais atente as necessidades para o qual foi criado. Nesse momento, um legado de materiais de demolição não recicláveis pode surgir, caso a fase inicial de concepção a questão sustentável desse produto não tenha sido considerada.

Fonte: Valente (2009)

Segundo Lauria (2007) pode-se pensar em construção sustentável quando existe uma estreita comunicação entre os diferentes atores nesse processo que passa pelo cliente que irá habitar a construção, pelos profissionais técnicos que utilizam e/ou propõe o uso de novas tecnologias, e pelas instituições públicas ou privadas conscientes da necessidade de revalorização do meio.

Para engenheiros, projetistas e construtores, ser sustentável está ligado à economia de energia, com a utilização de técnicas inovadoras, a criação de espaços saudáveis no empreendimento de construção moderna.

A criação de tecnologias sustentáveis, segundo Yudelson (2007) é condição para que uma construção civil se situe dentro de preceitos econômicos, sociais e ambientalmente adequados. Esse desenvolvimento passa pelas etapas apresentadas no quadro 03.

Quadro 03 - Etapas do desenvolvimento sustentável da obra

ETAPAS	AÇÕES NECESSÁRIAS
<b>Aproveitamento dos recursos naturais da obra</b>	Aproveitamento dos recursos naturais que direta ou indiretamente incidem sobre a obra como forma de economia energética. Recursos como o sol, o vento, a vegetação, dentre outros.
<b>Eficiência energética da edificação após a entrega ao proprietário</b>	Gerar a própria energia através de fontes alternativas renováveis como o sol e o vento, controlar a entrada do calor para dentro da edificação por meio de vegetação.
<b>Controle dos resíduos da edificação após a entrega ao proprietário</b>	Áreas para a disposição de resíduos incentivam aos usuários do edifício a participarem da coleta seletiva.
<b>Conforto acústico da edificação após a entrega ao proprietário</b>	Proporcionar um ambiente interno sem a penetração externa de ruídos, através de vedações e esquadrias especiais de baixo impacto ambiental.

Fonte: Adaptado de Yudelson (2007)

## 2.13 Construção sustentável

As primeiras menções sobre o conceito de construção sustentável foram feitas em meados dos anos de 1970, no momento da crise do petróleo.

Para Ramos (2008), a construção sustentável está nos modelos construtivos que promovam alterações conscientes no seu entorno, de forma a atender as necessidades das construções, habitações e uso do homem moderno, mantendo o meio ambiente e os seus recursos naturais, com qualidade de vida para os futuros habitantes da terra, assim como os atuais.

Para o mesmo autor, esse conceito de ecologia arquitetônica proporciona vantagens para a seus usuários ao oferecer, por exemplo, uma residência com economia de água e energia, além de benefícios ambientais e de bem estar à saúde de seus moradores.

Os principais benefícios de uma construção sustentável de acordo com Ambiente-Brasil (2011), são:

- Redução dos custos de investimento e de operação;
- Imagem, diferenciação e valorização do produto;
- Redução dos riscos;
- Mais produtividade e saúde do usuário;
- Novas oportunidades de negócios;
- Satisfação de fazer a coisa certa.

Quanto ao custo de uma construção sustentável, o mesmo autor, considera que o uso de recursos ambientalmente sustentáveis na construção não gera um aumento de preço, quando adotados durante as fases de concepção do projeto.

Por exemplo, um sistema de aquecimento solar pode ser pago, pela economia gerada, em apenas um ano de uso. Empreendimentos que utilizam sistema de reuso de água (a água dos chuveiros e lavatórios, após tratamento, volta para abastecer os sanitários e as torneiras das áreas comuns), chegam a uma economia de água da ordem de 35%, considerando a viabilidade econômica é uma das condições para a sustentabilidade (AMBIENTE-BRASIL, 2011).

Os conjuntos habitacionais, para a população de baixa renda, construídos pelo Governo do Estado de São Paulo Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano (CDHU) vêm alterando a sua concepção de projeto, incluindo o

paisagismo e áreas de lazer. Esse fato deve-se a busca mundial pela qualidade de vida que esses conjuntos habitacionais podem oferecer a seus moradores. Atualmente, o CDHU, instala aquecedor solar como parte integrante do projeto e da obra, demonstrando a preocupação dos órgãos públicos com a sustentabilidade do empreendimento.

#### 2.13.1 Edifício sustentável

As exigências de sustentabilidade na construção civil demandam inovações tecnológicas

Segundo os conceitos apregoados pelo *Green Building Council* dos EUA, em um edifício sustentável, benefícios como a redução do consumo de água e energia, maior produtividade, *marketing* positivo, benefício da saúde de seus usuários e benefícios ao meio ambiente, estão presentes como fatores de conforto e capital (AMBIENTE-BRASIL, 2011).

A redução do consumo de energia, com a utilização de melhores práticas tecnológicas, diminui os resíduos, a poluição e a degradação ambiental. Esses são os objetivos principais de um edifício sustentável.

No quadro 04, são apresentados os aspectos de uma construção sustentável, relacionados a tipos de construção, sejam, convencionais, com ênfase bioclimática e premissas da eco-eficiência, que segundo Mateus (2006), são pontos que uma vez integrados levam a um edifício sustentável.

Quadro 04 – Tipos de construção

Aspectos	Tipos de construção		
	Convencional	Bio-climática	Eco eficiente
Configuração do edifício	Outras influências	Influência pelo clima	Influenciada pelo meio ambiente
Orientação do edifício	Pouco importante	Crucial	Crucial
Fachadas e janelas	Outras influências	Dependente do clima	Dependentes do meio ambiente
Fonte de energia	Gerada	Gerada / Ambiente	Gerada / ambiente / local
Controle do ambiente interno	Eletromecânica (artificial)	Eletromecânico / natural	Eletromecânico / natural
Consumo de energia	Geralmente elevado	Reduzido	Reduzido impacto ambiental
Fontes de matéria prima	Pouco importante	Pouco importante	Reutilizáveis / recicláveis / reciclados
Tipos de materiais	Pouco importante	Pouco importante	

Fonte: Mateus (2006).

Uma lista de prioridades é apresentada pelo mesmo autor no quadro 05, como sendo os pilares da construção sustentável, a ser aplicadas a todas as fases que compõem o ciclo de vida de um empreendimento. Entendendo como ciclo de vida, as etapas de projeto, construção, operação / manutenção e demolição / deposição de resíduos de uma obra.

Quadro 05 - Os pilares da construção sustentável

Prioridades da construção sustentável	Ações
Economizar energia e água	Gestão eficiente com equipamentos redutores tecnologicamente adequados
Assegurar a salubridade dos edifícios	Maximização do conforto ambiental, principalmente quanto à iluminação e à ventilação
Maximizar a durabilidade dos edifícios	Alteração nos conceitos de projeto incluindo ao fator resistência o fator durabilidade do empreendimento
Planejar a conservação e manutenção dos edifícios	Conscientização na fase de projeto que os edifícios possuem uma vida útil limitada
Utilizar materiais ecologicamente corretos ou eco eficientes	Utilização de materiais que desde a sua extração até a sua devolução ao meio ambiente, possuem um baixo impacto ambiental
Utilizar produtos sem composição química nociva à camada de ozônio e saúde dos usuários	Não utilização ao longo da obra, e de toda vida útil do empreendimento, de gases que agridam a camada de ozônio
Ser durável	Utilização de materiais mais duráveis
Exigir poucas operações de manutenção	Escolha que requeiram poucas operações de manutenção
Incorporar baixa energia primária	Diminuição do uso de materiais que para a extração de sua matéria prima, transporte, processamento, utilização na obra, manutenção e demolição, consumam energia em grande escala
Estar disponível nas proximidades do local da construção	Utilização de materiais produzidos no entorno da obra
Ser elaborado a partir de material reciclado e/ou ter potencial para vir a ser reciclado ou reutilizado	Mitigação do problema ambiental como o uso de materiais reutilizados e/ou reciclados
Apresentar baixa massa de construção	Projetar edifícios que atenda a relação de menor massa utilizada
Minimizar a produção de resíduos	Gerenciar a perda de matérias durante a extração, transporte, processamento, utilização e descarte
Ser econômica	Conceber edifícios que após a aplicação de todas as prioridades de uma construção sustentável, ainda seja rentável para o empreendedor e para os interessados
Garantir condições dignas de higiene e segurança nos trabalhos de construção e/ou manutenção	Utilização de escolha criteriosa de materiais, produtos, sistemas construtivos e processos de construção, de modo a melhorar as condições de trabalho dos trabalhadores diminuindo as condições de riscos de acidentes, durante todo o ciclo de vida do empreendimento.

Fonte: Mateus (2006).

Em consonância com o exposto acima, Allen (2011) apresenta o grau de sustentabilidade de um edifício em uma listagem de fatores, que nesta tese é apresentada no quadro 06 de categorias *versus* fatores correlatos.

Quadro 06 - Categorias *versus* fatores correlatos – Grau de sustentabilidade de um edifício.

Categoria	Fatores correlatos
Locais sustentáveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhoria ou degradação do entorno;</li> <li>• Usuários podem utilizar transporte alternativo que diminua as emissões de CO<sub>2</sub>;</li> <li>• Qual nível de incômodo a obra causará para o entorno;</li> <li>• Como a água pluvial é administrada.</li> </ul>
Eficiência hidráulica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso da água pluvial e armazenada para uso adequado;</li> <li>• Tratamento das águas servidas;</li> <li>• Uso de instalações que reduzam o consumo de água.</li> </ul>
Energia atmosférica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiência no aquecimento e esfriamento do edifício;</li> <li>• Uso de energia renovável do próprio local;</li> <li>• Potencialidade do edifício em contribuir para a destruição da camada de ozônio.</li> </ul>
Materiais e recursos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reciclagem e reutilização de materiais e resíduos durante a obra e manutenção do edifício;</li> <li>• Uso de materiais de construção adquiridos na região;</li> <li>• Madeira de áreas de reflorestamento.</li> </ul>
Qualidade do ambiente externo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualidade do ar interno;</li> <li>• Ações de controle da fumaça de cigarro;</li> <li>• Ventilação eficiente;</li> <li>• Uso de materiais que não liberam gases tóxicos;</li> <li>• Controle de substâncias químicas utilizadas na obra;</li> <li>• Conforto térmico;</li> <li>• Uso da luz natural.</li> </ul>
Inovação e projeto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de criatividade embasada na tecnologia de projeto.</li> </ul>

Fonte: adaptado de Allen (2011).

Os edifícios sustentáveis apresentam um papel fundamental na redução de emissões que comprometem a qualidade do clima global. A concepção de futuras construções com potencial de reutilização é um critério útil para a sustentabilidade. Não obstante, o ambiente construído seja o maior consumidor mundial de energia, emissor de gases de efeito estufa, tem o maior potencial para melhoria da eficiência energética. Esse fato leva os profissionais da construção civil a produzirem edifícios com mais eficiência, além de alternativas de demolição tradicional e reconstrução, que é naturalmente sustentável, uma vez que implica menos energia e resíduos (CONEJOS *et al.*, 2013).

### 2.13.2 Princípios básicos da construção sustentável

Diversos estudiosos conceituam sustentabilidade dentro do enfoque ecológico, biológico e de engenharia, no meio em que trabalham na busca de soluções para cada caso.

O uso de práticas de sustentabilidade na indústria da construção civil vem crescendo, porque agentes como governos, consumidores, investidores e associações diversas, estimulam e fortalecem o setor a aceitar esses estágios em suas atividades.

As organizações devem alterar suas metodologias produtivas e de gestão de suas obras. Para atingir tais objetivos, as organizações devem planejar a sua evolução sustentável, buscando, em cada obra, padrões econômicos de relevância da obra como empreendimento.

Conforme Corrêa (2009), empreendimentos para serem sustentáveis atendem a:

- Adequação ambiental;
- Viabilidade econômica;
- Justiça social;
- Aceitação cultural;
- Aproveitamento de condições naturais locais;
- Utilizar mínimo de terreno e integrar-se ao ambiente natural;
- Implantação e análise do entorno;
- Não provocar ou reduzir impactos no entorno – paisagem, temperaturas e concentração de calor, sensação de bem-estar;
- Qualidade ambiental interna e externa;
- Gestão sustentável da implantação da obra;
- Adaptar-se às necessidades atuais e futuras dos usuários;
- Uso de matérias-primas que contribuam com a eco-eficiência do processo;
- Redução do consumo energético;
- Redução do consumo de água;
- Reduzir, reutilizar, reciclar e dispor corretamente os resíduos sólidos;

- Introduzir inovações tecnológicas sempre que possível e viável;
- Educação ambiental: conscientização dos envolvidos no processo.

Quanto à visão social e ética da sustentabilidade na construção civil, Félix (2004) considera que a dificuldade de acesso à moradia de amplos setores populacionais é a principal ameaça à sustentabilidade das cidades brasileiras, já que, em razão da exclusão de grande parte da população do mercado imobiliário formal, cresce o déficit habitacional e as normas de ocupação irregulares em áreas de risco, de proteção ambiental e de mananciais.

Romero (2006) apresenta o tema num contexto que vai além da dimensão dita como ecológica, ao considerar que a construção da sustentabilidade nas cidades brasileiras precisa enfrentar várias questões desafiadoras, como a concentração de renda e a desigualdade econômica e social, o difícil acesso à educação de boa qualidade e ao saneamento ambiental, o déficit habitacional e a situação de risco de grandes assentamentos, além da degradação dos meios construído e natural, e dos acentuados problemas de mobilidade e acessibilidade. Apresenta algumas estratégias a serem incorporadas a um modelo de sustentabilidade, como:

- Ventilação permanente: aplicada em área urbana necessária para manter a qualidade do ar. Quanto ao projeto arquitetônico urbanístico pode-se garantir a passagem do ar através de divisas descontínuas ou devido a implantações não contínuas, em locais quentes não obstruir a passagem de ar por lagos ou rios (traçados viários que permitam o fluxo de ar).
- Resfriamento evaporativo: consiste em retirar o calor do ambiente pela evaporação da água, consequentemente aumenta a umidade relativa do ar e reduz sua temperatura. Nas áreas urbanas, pode-se conseguir criar um micro clima mais ameno através da implantação de espelhos d'água ou lagos na direção dos ventos, em espaços públicos ou praças. O uso de vegetação próxima à edificação ajuda a deixar a temperatura mais amena devido à evaporação das plantas.
- Iluminação natural: estratégias para promover a iluminação natural das edificações são recomendadas para todos os tipos de micro clima, pois promovem conforto lumínico, salubridade e são eficazes na busca pela eficiência energética das edificações.

- Sombreamento: é um procedimento que visa evitar o sobre aquecimento das superfícies expostas à insolação direta. A colocação de plantas ao redor das edificações diminui o albedo (reflexão da radiação em direção a casa), evita também que o piso acumule calor durante o dia e o irradie de volta durante a noite. Praças e ruas arborizadas é outra forma de controlar a insolação excessiva amenizando o calor no interior das edificações e na área urbana como um todo.

#### 2.13.3 Requisitos de sustentabilidade para uma edificação

A melhor forma de reduzir os desperdícios ocorridos de uma demolição é não deixar que ela ocorra. Fazer manutenção predial alonga a vida útil dos edifícios, conservando a aparência da construção, mantendo as condições de segurança da estrutura e do edifício como um todo.

Para Lin (2011), a crescente importância econômica do desenvolvimento da construção sustentável em mercados emergentes, como Ásia, Oriente Médio e América Latina, obrigou muitas empresas de engenharia e construção a implementar uma estratégia global à luz do crescimento internacional.

Porém, há fatores que influenciam a sustentabilidade de um edifício além do nível socioeconômico dos utilizadores, sendo os mais importantes, descritos por Mateus (2006) apresentados a seguir:

- a. Grau de conforto exigido por seus utilizadores;
- b. O número de utilizadores;
- c. Condição climática local;
- d. Condutibilidade térmica dos materiais;
- e. Perdas e ganhos de carga térmica;
- f. Volume da construção (área útil e pé direto médio);
- g. Orientação geográfica da edificação;
- h. Áreas envidraçadas e sua orientação;
- i. Condição econômica dos utilizadores;
- j. Eficiência energética dos utilizadores.

#### 2.13.4 O entulho e a sustentabilidade na construção

Em todo o mundo, a quantidade de entulho da construção civil, corresponde aproximadamente, à metade do material utilizado.

Quase a totalidade das atividades desenvolvidas na indústria da construção civil gera entulho.

A baixa cultura quanto à reutilização e reciclagem de materiais deve ser revista pelos construtores, empreiteiros e trabalhadores do setor.

Entre os benefícios ambientais de um edifício estão aqueles produzidos pela reciclagem do entulho. Reciclagem visa reduzir o uso dos recursos naturais e a conservação da matéria prima no processo produtivo da indústria da construção civil.

Segundo Romero (2006), o uso de material reciclado em programas de habitação popular, traz ótimos resultados. Os custos de produção da infraestrutura das unidades podem ser reduzidos. A viabilização de produção de componentes originários do entulho é realizada com o emprego de maquinaria e não o emprego de mão de obra intensiva. A minimização de resíduos é uma importante maneira de se reduzir o impacto ambiental. O desenvolvimento desse processo amplia os benefícios ambientais conseguidos com cada um dos critérios a seguir.

- Redução da geração do entulho pelo uso de materiais conscientemente;
- Reutilização de materiais pelo aproveitamento de produtos dentro de novos processos;
- Reciclagem pela reintrodução de materiais no processo produtivo.

Gerir de modo sustentável os resíduos sólidos é evitar que sejam gerados. Se isso for inevitável buscar a reutilização e a reciclagem. Em última instância, incinerá-los.

Segundo Santos (2007), um dos problemas que embaraçam a prática da reciclagem é a falta da cultura do setor. A sustentabilidade do setor será promissora, se os envolvidos cumprirem seus papéis (clientes, construtores, transportadores, trabalhadores e governo), dispondo regularmente os resíduos em áreas públicas e/ou privadas com licença ambiental.

Na produção de habitação popular, definida por Albano (2009) como moradia de baixo custo, ocorre problema relacionado diretamente ao produto final. As construtoras não usam métodos de interação entre o projeto e a produção. A baixa margem de lucro desse tipo de empreendimento leva-os, muitas vezes, à repetição de projetos padronizados, adotando soluções iguais para situações diferentes e cometimento de mesmos erros.

Para Harlan (2011), há algumas décadas, o termo desenvolvimento sustentável vem ganhando destaque no cenário mundial, buscando o equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a proteção ambiental.

Esse desenvolvimento sustentável tem na sociedade seu principal protagonista. A conscientização popular que haverá benefícios energéticos, no uso de recursos naturais, na geração de resíduos, na emissão de gases poluentes, entre outras questões críticas.

A indústria da construção civil se encontra em pleno crescimento. É importante geradora de impactos ambientais na utilização dos recursos naturais, na modificação da paisagem e na geração dos grandes volumes de resíduos.

O Brasil possui uma forte e ampla legislação sobre os resíduos da construção civil (RCC) - Resolução do CONAMA 307 (2002).

Os RCC, segundo Harlan (2011), são apresentados como resíduos provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras, e os resultantes da preparação e escavação de terrenos, divididos em classes A, B, C e D – quadro 07.

Quadro 07 - RCC como resíduos provenientes de construções.

<b>Classe A:</b> Reutilizáveis e recicláveis como agregados	Alvenaria, concreto, argamassa, solos, outros
<b>Classe B:</b> Recicláveis para outras destinações	Madeira, metal, plástico, papel, outros
<b>Classe C:</b> Sem tecnologia para reutilização e/ou reciclar	Gesso e outros
<b>Classe D:</b> Resíduos perigosos	Tintas, óleos, solventes, amianto, etc

Fonte: ABLP – Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública (2011)

O entulho de construção e demolição pode ser definido como material residual produzido no processo do ciclo de vida de um empreendimento habitacional, assim como a reforma ou demolição de parte das estruturas em fase

de manutenção e/ou ampliação. A quantidade de resíduos sólidos gerados para reutilização ou reciclagem de forma apropriada é dependente do método de demolição e remoção de materiais utilizados.

Segundo Yeheyis *et al.* (2013), alguns indicadores são de grande importância para a sustentabilidade do processo de demolição. São apresentados, a seguir, em categorias ambiental, econômica, social e de desempenho, e para Wanga *et al.* (2013), dentre eles o indicador ambiental é uma eficaz ferramenta para a gestão estratégica e avaliação de desempenho de um empreendimento:

- Indicadores ambientais (resíduos gerados, resíduos reciclados, emissões evitadas);
- Indicadores econômicos (custo da disposição de resíduos, consumo de combustível - transporte);
- Indicadores sociais (aceitação pública dos planos de gestão de resíduos e ações, participação pública no planejamento e implementação, segurança de trabalho);
- Indicadores de desempenho (definir o sistema, indicador de seleção, a coleta de dados).

Guggemos (2006) considera que a construção de edifícios residenciais populares consome quantidades significativas de energia e produz grande quantidade de emissões e resíduos, e os esforços de melhoria ambiental devem ser focados durante o projeto e a construção, considerando todo o seu ciclo de vida. Esforços ambientais na seleção de materiais e modelo arquitetônico para a eficiência energética são necessários.

A seleção de materiais durante a fase de projeto tem um efeito direto sobre a definição do método construtivo. A preferência pelo uso de materiais sustentáveis representa uma estratégia importante na construção civil. Na construção, equipamento para operação e demolição final de edifícios são fatores do impacto humano sobre o meio ambiente, de forma direta (por meio de material e consumo de energia e poluição consequente de resíduos) e indireta (através das pressões em infraestrutura, muitas vezes, ineficientes).

Akadiri *et al.* (2013) afirmam, em sua literatura, que a seleção cuidadosa de materiais de construção sustentáveis tem sido identificada como a maneira mais fácil

para os projetistas incorporarem princípios de sustentabilidade em seus projetos de construção.

#### 2.13.5 Fase da concepção do projeto

A elaboração de projeto envolve a fase de estudos preliminares, estudo de viabilidade econômica, das legislações, das condições naturais e do entorno da obra. Identifica-se a demanda de necessidades e define-se o padrão da edificação a ser construída.

Essa fase é de extrema importância para a sustentabilidade do empreendimento, ao consentir plena liberdade ao empreendedor e aos profissionais envolvidos na concepção do projeto, na busca do aumento de seu desempenho sócio ambiental, na minimização de custos e por influenciar todas as fases seguintes do projeto.

Segundo Ceotto (2005), um empreendimento sustentável deve atender as necessidades dos usuários, ser economicamente viável para seus investidores e ser produzido com técnicas que reduzam o trabalho degradante e inseguro feito pelo homem.

#### 2.13.6 Harmonização no entorno da obra

Para a ação sustentável devem ser planejadas, na concepção do projeto, as intervenções e impactos que serão causados pelo empreendimento em seu entorno, a curto, médio e longo prazos.

Para Romero (2006), esses impactos são abrangentes desde o transporte local até a influência na qualidade do ar de seu entorno, passando pelo adensamento, verticalização, impermeabilização, alterações da paisagem natural pelo desmatamento, desvios de cursos d'água, ocupação excessiva e intensiva nos grandes centros urbanos, alteração de lençóis, poluição e formação de barreiras arquitetônicas ao local, alterando o clima, o desempenho de ventos dominantes, a produção de espaço artificial em abundância, a alteração do comportamento das espécies vegetais etc. São fatores que estão ligados à maneira como administrarmos o espaço construído em nossas cidades.

### 2.13.7 Compromisso com grupos de interesse da obra

As partes envolvidas, denominadas de *stakeholders*, ou seja, os grupos de indivíduos que são atingidos ou atingem o empreendimento com interesses comuns, devem ser monitoradas e participadas com troca de informações, através de consulta e diálogo entre os de interesse, transferência de valores e princípios para a cadeia de fornecedores, treinamento e capacitação da mão-de-obra para o aumento da transparência entre as pessoas e construção de ações conjuntas visando à sustentabilidade.

Para Romero (2006), é importante o mapeamento desses grupos de interesse antes da execução de um empreendimento.

Esse mapeamento procura abranger indivíduos e aspectos que vão além das questões legais, e devem ser obrigatoriamente atendidas, criando um compromisso que começa com a definição dos grupos diretamente relacionados e estratégicos a serem envolvidos nas discussões de cada aspecto.

### 2.13.8 Ações favoráveis a uma construção sustentável

A Universidade Politécnica de Hong Kong recomenda mudanças comportamentais referentes às novas construções, quanto aos desperdícios que iniciam antes da implantação do canteiro de obras (SANTOS, 2007).

A fase do projeto deve atentar ao aumento da vida útil do edifício, com materiais de menor desperdício de insumos, que por vezes ocorrem por projeto pouco sustentável. Aspectos como conforto térmico, iluminação natural, reuso de água, captação de água de chuva, aquecimento de água por energia solar, vaso sanitário otimizado para diversos volumes de água são algumas soluções que trazem retorno rápido em termos de custo benefício econômico e ambiental.

No Brasil, existem fabricantes produzindo bacias sanitárias com caixa acoplada com dois acionadores (botões de descarga), um para descarga para dejetos líquidos e outra para dejetos sólidos. Também está disponível uma válvula Hydra com dois acionadores, para a mesma finalidade. Pesquisas realizadas por Mathidios (2011) no Brasil, Inglaterra, França, Espanha, Itália, Portugal e EUA, o maior ponto de consumo de água em edifícios residenciais são os chuveiros, podendo chegar a, aproximadamente, metade do consumo de água.

Um projeto direcionado para reduzir energia e recursos hídricos sem prescindir do conforto poderá, por meio natural, aproximar-se da autossuficiência com economia e ainda aumentando a vida útil da edificação. Esses conhecimentos e tecnologias praticados tornam as pessoas menos dependentes de energia e fontes de água geradas por fatores que contribuem com a destruição dos recursos naturais.

Para Santos (2007), a necessidade de demolir edifícios pode ser evitada caso seja possível dar continuidade à ocupação da edificação. A manutenção periódica aumenta a vida útil do edifício e a conservação de sua aparência, mantendo a segurança das estruturas e da construção como um todo. A melhor forma de diminuir desperdícios com a demolição é reduzir o desgaste do edifício, fazendo periodicamente sua recuperação.

Em menor escala, uma residência popular, é o morador se responsabilizar e providenciar verificações preventivas. Essa ação preserva e valoriza a construção.

No Brasil, destaca-se a iniciativa do Ministério das Cidades, em assinar convênios em permitir a alienação de terrenos e imóveis vazios e subutilizados para ações do Programa de Reabilitação de Áreas Centrais. Imóveis para fins habitacionais previstos nos Planos Municipais de revitalização de centros urbanos beneficiam a reutilização dos imóveis desocupados, possibilita o aproveitamento dos recursos de infraestrutura da área central, em geral melhor estruturadas que as das áreas mais carentes. Outro ponto positivo é que as áreas mais centralizadas são pouco ocupadas em períodos noturnos, passam a ser habitadas, reduzindo a marginalidade e retomando processos de revitalização do ambiente construído (SANTOS, 2007).

A seguir são apresentadas algumas ações que, para Romero (2006), contribuem para uma construção sustentável.

Para uma construção de grande magnitude que irá acarretar alterações significativas no entorno da obra, respeitar a opinião dos grupos envolvidos na preservação dos aspectos culturais, o bem-estar e o relacionamento com os moradores.

Duas premissas básicas da sustentabilidade, como a justiça social e a aceitação cultural serão, dessa forma, valorizadas. O regime de chuvas da região falta de água ou enchentes; problemas de erosão decorrentes das chuvas; carência

de saneamento ou abastecimento na região são aspectos primários a serem verificados antes da elaboração do projeto.

Esses dados ajudarão a alinhar as estratégias de projeto – para implantação e operação – e definir a agenda do empreendimento, resultando na seleção de estratégias a serem utilizadas, contribuindo com sua sustentabilidade, alinhada à redução de custos em toda a vida útil do empreendimento.

Segundo Santos (2007), construir edifícios que ofereçam conforto aos ocupantes, com consumo de energia diminuído, está vinculado a variáveis climáticas, humanas e arquitetônicas, de forma que as propostas de engenharia usufruam e incluam da melhor forma o comportamento do clima do local, atendendo às necessidades de conforto, diminuindo o uso de equipamentos que consomem alta quantidade de energia para obter conforto. Projetos com eficiência energética alta apoiam as estratégias e a competitividade das empresas em apresentarem ao mercado produtos diferenciadas com menores custos operacionais e com maior valor agregado. Dentro da visão de um empreendimento sustentável, materiais e resíduos devem ser tratados de forma integrada, pois a seleção e utilização de materiais adequados diminuem a emissão de resíduos e impactos ambientais por ela gerados.

Segundo Santos (2009), as principais consequências energéticas resultantes do aproveitamento da luz natural, para iluminação dos espaços interiores, são:

- A diminuição dos consumos energéticos ao substituir a iluminação artificial;
- Os potenciais ganhos e perdas térmicas através de vãos envidraçados;
- Ganhos térmicos devidos aos sistemas de iluminação elétrica;
- A diminuição do recurso a sistemas de aquecimento e arrefecimento artificiais.

O cliente deve ater-se aos sistemas construtivos do empreendimento, sob importantes aspectos como os apresentados por Romero (2006) no quadro 08.

Quadro 08 - Aspectos relevantes de um empreendimento.

<b>Custos</b>	Os custos devem ser considerados não apenas durante a construção, mas também na fase de uso e operação do empreendimento.
<b>Durabilidade</b>	O empreendimento deve ser concebido para uma vida útil de no mínimo meio século, atendendo às normas técnicas, com flexibilidade para atender a diferentes necessidades de futuros usuários e facilitar sua revitalização.
<b>Qualidade e proximidade dos fornecedores</b>	A busca de fornecedores confiáveis (homologados), que atendam as legislações vigentes (ex: ambientais, trabalhistas), e com produtos de qualidade, estimulando a economia e com emissões dos veículos transportadores minimizadas.
<b>Quantidade e periculosidade dos resíduos gerados</b>	A análise, a quantificação e o tipo dos resíduos gerados, bem como os custos com transporte e disposição em aterro especial, implica em redução de custos e baixo impacto ambiental.
<b>Qualidade do ambiente interno</b>	O responsável pelo empreendimento deve estabelecer como objetivo, maior conforto térmico e visual para os ocupantes pós entrega, com baixo consumo de energia não natural possível.

Fonte: adaptado de Romero (2006).

## 2.14 Certificação e avaliação ambiental

Ferramentas de avaliação de sustentabilidade se tornaram comuns desde a virada do século 21, principalmente no mundo desenvolvido, para medir seu sucesso frente aos objetivos de desenvolvimento sustentável. Segundo Sharifi e Yama (2013), em especial na Austrália, Europa, Japão e Estados Unidos, essas ferramentas são utilizadas para fornecer propostas sobre ações a serem tomadas na mitigação dos pontos fracos e aprendizado com os pontos de sucessos, bem como fazer recomendações para melhorias futuras.

Dentro do histórico mundial de certificações de edificações, os modelos presentes no Brasil são baseados em técnicas de desempenho (gestão dos processos), ou seja, o *Haute Qualité Environnementale* (HQE, 2011) também conhecido como Alta Qualidade Ambiental (AQUA, 2011) que data de 2002 (França) e o modelo *Leadership in Energy Environmental Design* - Liderança em Energia e Design Ambiental (LEED, 2011) que data de 1991 (EUA).

Para Valente (2009), esses dois modelos relevantes são os que se destacam no Brasil, como um sistema de classificação e parâmetros distintos, porém, levando em consideração a certificação baseada na fonte de energia renováveis reciclagem e consumo racional da água, que minimizam o impacto ao meio ambiente e o uso de materiais recicláveis. A importância da certificação além de promover uma grande conscientização, está no estabelecimento de processos de gerenciamento dos

impactos da edificação sobre o meio ambiente, consolidando a responsabilidade dos envolvidos, usuários e empreendedores, junto aos órgãos de controle ambiental.

Outros benefícios que uma edificação certificada apresenta aos seus usuários são sentidos quando da percepção do menor consumo de água e energia, o valor do metro quadrado em alta após a habitação das unidades. Essas vantagens vão do âmbito empresarial, passando pelos usuários até o meio ambiente propriamente dito. O modelo LEED busca a conformidade que os empreendimentos foram concebidos desde o projeto e consequentemente construídos com técnicas e estratégias que melhorem o desempenho quanto à energia, água, redução de emissão de CO<sub>2</sub>, melhor qualidade no interior do edifício, administrando o uso dos recursos naturais com menor impacto ambiental possível.

Segundo Valente (2009), o critério de avaliação proposto pelo LEED está dividido em categorias de desempenho do desenvolvimento sustentável do local, da eficiência da água, da energia da atmosfera, dos materiais e recursos, da qualidade ambiental interna e da inovação de processos e de projeto.

O modelo HQE presente no Brasil desde 2007, apresentado como AQUA (2011), foi implantado pela Fundação Carlos Alberto Vanzolini. Esse modelo atesta que o empreendimento está conforme as exigências propostas, por ocasião de auditorias realizadas por equipes independentes. O tema meio ambiente está sendo a questão colocada em debate para todo o mundo, apresentando-se a necessidade de um modelo arquitetônico que atenda as exigências de sobrevivência dos homens no presente século e nos vindouros (VALENTE, 2009).

Alguns países criaram sistemáticas de validação sustentável das construções.

Segundo a Inovatec (2011), os métodos para avaliação ambiental de edifícios surgiram na Europa, EUA e Canadá com o objetivo de alavancar o mercado em obter níveis superiores de desempenho ambiental – isso ocorreu na década de 1990. Desde então, outros países passaram adaptar esses métodos as suas realidades, incluindo a definição dos requisitos de sustentabilidade.

Quase todos os países possuem ou adotam um sistema de avaliação de edifícios. No Brasil, os mais difundidos são a Certificação LEED do *US Green Building Council* (GBC, 2011) [Conselho Norte Americano de Prédios Verdes] e o

sistema de certificação para empreendimentos sustentáveis Alta Qualidade Ambiental (AQUA).

Conforme KAMAR *et al.* (2011), como nos países desenvolvidos, a indústria da construção civil da Malásia tem desempenhado um papel importante nesse país como geradora de riqueza, influenciado no desenvolvimento social e de infraestruturas econômicas e de edifícios, estando como os demais países sob uma pressão constante para resolver problemas de desempenho, falta de mão de obra especializada, meio ambiente e sustentabilidade construtiva, e habitação a preços acessíveis.

#### 2.14.1 Liderança em energia e *design* ambiental – LEED

Hoje, há um alto nível de demanda por construções sustentáveis. As decisões mais importantes sobre as características sustentáveis de construção são feitas durante as fases de concepção e pré-projeto. O LEED é o sistema de classificação de construção sustentável mais adotado nos Estados Unidos. Dentro desse modelo, cria-se uma oportunidade para realizar análises com precisão e eficiência em comparação com os métodos tradicionais (AZHAR *et al.*, 2011).

O mesmo autor considera que a demanda para a construção sustentável com o mínimo impacto ambiental está aumentando devido aos custos crescentes da energia e as crescentes preocupações ambientais. Um aumento nos custos iniciais de cerca de 2% para apoiar o projeto sustentável, em média, resulta em economia de, aproximadamente, 20% dos custos totais de construção do edifício popular, o que é mais do que 10 vezes o investimento inicial. Daí edifícios populares sustentáveis são economicamente viáveis também.

As pontuações do LEED são divididas em:

- *Sustainable Sites* – Sustentabilidade da localização;
- *Water Efficiency* – Eficiência no uso da água;
- *Energy & Atmosphere* – Eficiência energética e os cuidados com as emissões para a atmosfera;
- *Materials & Resources* – Otimização dos materiais e recursos naturais a serem utilizados na construção e operação da edificação;
- *Indoor Environmental Quality* – Qualidade dos ambientes internos da edificação;

- *Innovation & Design Process* – Inovações empregadas no projeto da edificação.

Uma certificação LEED depende do modelo de empreendimento. Uma relação segue:

- *New Construction* (Prédios novos) - certificação realizada considerando o terreno e a edificação como um todo. São prédios que utilizam uma única empresa ou entidade como corporações, universidades, escolas, hospitais, etc;
- *Existing Buildings* (Prédios existentes) – certificação realizada considerando a *performance* de operação e na sua melhoria em edificações existentes;
- *Commercial Interiors* (Interiores de edificações comerciais) - certificação realizada somente para os inquilinos de áreas de escritórios em melhorias de instalações existentes ou novas edificações;
- *Core and Shell* (Prédios de múltiplos usuários) – certificação realizada para o terreno e para as áreas comuns da edificação, onde o empreendedor não tem responsabilidade sobre o projeto das áreas internas de cada unidade. Geralmente, são prédios de uso coletivo para venda ou locação;
- Residências – Nessa categoria estão inclusos residências unifamiliares e prédios multifamiliares de até três pavimentos;
- *Neighborhood Development* (Desenvolvimento urbano) – certificação realizada para a parte urbanística de um condomínio, de um bairro ou de uma quadra residencial ou comercial.

Desses grupos de pontuação e tipos de empreendimentos, constata-se que o objetivo do sistema é reduzir o impacto ao meio ambiente (“pegada de carbono”) do mundo construído e como uso de um sistema competitivo da eficiência de edifícios, recompensando com “premiação” de prática de melhor *design*, construção e manutenção, gerando um mercado de produtos mais sustentáveis para o setor construtivo (INOVATEC, 2011).

Inicialmente, o empreendedor deve se definir por um projeto sustentável. Uma vez essa decisão tomada, todas as empresas e equipes envolvidas devem estar cientes e treinadas nas metodologias do LEED.

Um fato além da realidade brasileira é apresentado por Ruwanpura e Silva (2009), em que a expansão e avanço de construções no Canadá se deparam cada vez mais com exigências do uso eficiente da terra e recursos na construção civil. As empresas, organizações e indivíduos estão buscando construir edifícios ambientalmente mais responsáveis para ajudar a minimizar os efeitos negativos que

colocam estruturas sobre o ambiente natural, e sobre as pessoas que têm contato direto ou indireto com eles. O Canadá adota o *Leadership in Energy and Environmental Design* - LEED (liderança em energia e *design* ambiental), como forma de medir a sustentabilidade de seus edifícios. Na indústria da construção em Portugal é cada vez mais empregando o sistema LEED para validar sua realização no desenvolvimento sustentável.

Com a percepção de que o desenvolvimento econômico e meio ambiente estão ligados, engenheiros, arquitetos e gerentes de projetos se esforçam para evitar impactos negativos na sociedade e no meio ambiente, adoção de princípios desenvolvimento sustentáveis durante o projeto e implementação de projetos de desenvolvimento. No entanto, devido à falta de conscientização dos impactos ou a indisponibilidade de padrões, procedimentos e técnicas para apurar os impactos do projeto, profissionais, às vezes, não adotam no desenvolvimento e implementação do projeto de forma proativa, os princípios de desenvolvimento sustentável, possibilitando que todos, hoje e no futuro, alcancem um patamar satisfatório de aprimoramento social e econômico e de realização humana e cultural, porém, simultaneamente, fazendo o uso comedido dos recursos da terra e preservando as espécies e os habitats naturais (RUWANPURA e SILVA, 2009).

#### 2.14.2 Certificação AQUA (Alta Qualidade Ambiental)

Esse modelo de certificação adaptado às condições brasileiras teve início em 2008, tendo como base 14 critérios de sustentabilidade, divididos em quatro fases: eco construção; eco gestão; conforto; e saúde. Esses critérios abrangem fases de desenvolvimento como o programa, concepção, realização e operação, sejam para empreendimento residencial, comercial ou outros. O objetivo dessa análise é fazer com que o empreendimento cause baixo impacto ao meio ambiente, consuma menos recursos naturais e gere menos resíduos. Adequada à realidade brasileira, a certificação AQUA requer três auditorias presenciais em todas as fases desde o projeto (INOVATEC, 2011). Aspectos como a região onde o empreendimento será construído, as diferenças climáticas, a vegetação, a cultura da comunidade local, entre outros fatores, também são analisados.

Aponta ainda, para o processo AQUA com ações que minimizam os impactos como a localização das fachadas para uma melhor iluminação natural; forro distante

da laje para a melhora da temperatura local; e uso de vegetação nas fachadas para reduzir o calor no interior do imóvel. Essas ações têm efeito custo *versus* benefício se adotadas na fase do projeto, uma vez que a demanda por menor impacto ao meio ambiente está aumentado por parte dos compradores.

A metodologia desse sistema prevê a criação de uma estratégia ambiental global no empreendimento, dentre elas:

- a.** Proteção do ambiente: preservação dos recursos, redução da poluição e de resíduos;
- b.** Gestão dos recursos naturais durante a operação: água e energia;
- c.** Gestão patrimonial: durabilidade, adaptabilidade, conservação, manutenção, custos de uso e operação;
- d.** Conforto: dos usuários, da vizinhança, dos operários de obra;
- e.** Saúde: dos usuários, da vizinhança, do pessoal de obra.

Para que um empreendimento inicie o processo de certificação AQUA, seis pontos são necessários:

- Comprometido com a sustentabilidade;
- Projeto que tenha uma obra de baixo impacto ambiental;
- Projeto que leve em conta o uso da construção e a economia de recursos naturais;
- Projeto que leve em conta o conforto e saúde dos usuários;
- Execução de maneira consciente;
- Monitoramento do andamento, com correções necessárias.

A análise da qualidade ambiental do empreendimento é transparente, de tal forma que o empreendedor visualiza as quatro famílias com a distribuição de 14 categorias que são avaliadas segundo os níveis bom, superior e excelente, sendo a construção, a gestão, o conforto, e a saúde com relação do edifício com o seu entorno.

Não há sistema de certificação sustentável de edifícios que esteja baseado unicamente na análise do ciclo de vida, o que leva a resultados inconscientes e, em certa medida, arbitrários, posto que dependam da eficácia prática das medidas

estabelecidas pelos criadores das regras em aperfeiçoar o desempenho ambiental da obra específica (AGOPYAN, 2011).

## **2.15 Indicadores de sustentabilidade em empreendimentos habitacionais**

As questões ambientais concorrentes ao conceito de sustentabilidade levam a necessidade da criação e a aplicação de indicadores para balizar o comprometimento de empreendimentos com metas, que agregam valor nacional e internacional.

É importante investigar indicadores de sustentabilidade relacionados à obra civil, propriamente dita, para identificar o grau de eficácia desses indicadores que as empresas do setor de habitação vêm adotando. A utilização de conceitos de construção sustentável e conservação ambiental se estabelecem na fase de projeto do empreendimento de construção civil, seja habitacional ou não.

Dentre contextos para se justificar o porquê da necessidade de construção sustentável, há um que pode ser destacado. Segundo Ramos (2008), aproximadamente, a metade dos gases que provocam o efeito do aquecimento da atmosfera são produzidos e emitidos por atividades da indústria de construção, superando, por exemplo, a poluição que impacta a temperatura global causada por meios de transporte.

Segundo John (2010) - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, sistemas de certificação na área de construção sustentável (CBCS) existem em todo o mundo. São evidentes: BREEAM (Inglaterra), GREEN STAR (Austrália), LEED (Estados Unidos) e HQE (França).

Todos esses organismos apresentam os mesmos princípios junto a uma obra que se proponha a ser ambientalmente equilibrada. São eles:

1. Planejamento sustentável da obra;
2. Aproveitamento passivo dos recursos naturais;
3. Eficiência energética;
4. Gestão e economia da água;
5. Gestão dos resíduos na edificação;
6. Qualidade do ar e do ambiente interior;
7. Conforto termo acústico;
8. Uso racional de materiais;

## 9. Uso de produtos e tecnologias ambientalmente amigáveis.

As certificações de edifícios sustentáveis começam a ser aplicada no Brasil. A certificação norte-americana LEED, representada pela GBC Brasil (*Green Building Council* Brasil), a francesa *High Quality Environmental standard* (HQE) difundida pela Fundação Carlos Alberto Vanzolini - Alta Qualidade Ambiental (AQUA) e o método Instituto de Pesquisa e Tecnologia – Universidade de São Paulo (IPT), possuem metodologias próprias de certificação.

O sistema AQUA tem como princípio a construção sustentável sob critérios que reduzam os impactos ambientais e sociais de uma obra.

O método desenvolvido pelo IPT visa oferecer uma avaliação ambiental de edifícios adequada às condições brasileiras e, caso o resultado seja satisfatório, conceder uma referência ambiental-IPT, nos mesmos moldes da referência técnica-RT/IPT que vigora para produtos. Sua estrutura é semelhante à do LEED e BREEAM, com itens com caráter de atendimento obrigatório e outros classificatórios.

A sistemática do IPT enfatiza os aspectos ambientais tradicionais como características do terreno, de água, energia, materiais, resíduos e conforto ambiental.

Considera também aspectos mais abrangentes como de acessibilidade e relação do edifício com o meio urbano. Sua grande diferença está na importância dada a cada aspecto e na inserção de preocupações relativas à realidade brasileira.

Essas certificações são formas de identificação da existência de diferenciais entre edifícios, uma vez que eles são concebidos para atender a uma classe específica de empreendedores e usuários.

### 2.15.1 Indicadores de edifícios habitacionais

Não há na cultura brasileira, ainda, sensibilidade, relativas aos ganhos ambientais e de sustentabilidade.

Por isso considera-se ser necessário investir na análise e execução dos projetos com preceitos ambientais, adotando medidas de sustentabilidade, seja nos sistemas prediais, seja nos produtos ou materiais de construção, e no processo construtivo.

Segundo Mathidios (2011), alguns requisitos em prol da eficiência energética do empreendimento são necessários como a especificação de equipamentos, a iluminação de baixo consumo energético, o planejamento do consumo energético, o melhor aproveitamento possível da iluminação natural, a melhor condição de conforto térmico, a implementação e otimização de ventilação natural, a adoção preferencial de acabamentos claros, áreas verdes nas coberturas dos edifícios, o uso de soluções alternativas de produção de energia como a eólica, a captação, armazenamento e tratamento de águas pluviais, a utilização de bacias acopladas e válvulas especiais, o reaproveitamento das águas de lavagem, a utilização de torneiras com acionamento eletrônico, a maximização na especificação de materiais sustentáveis, o planejamento para maior durabilidade dos materiais, a utilização de materiais renováveis.

Os profissionais da construção civil (engenheiros, arquitetos, técnicos, operacionais, etc.) devem atuar na minimização máxima dos impactos causados ao meio ambiente. Para tanto, o uso de diversos instrumentos de viabilização de uma construção saudável, com baixo custo e com bom nível de sustentabilidade é factível.

Os indicadores para um edifício habitacional sustentável, segundo Scandar (2008), devem possuir relevância social, proximidade entre a medida e o conceito, especificidade, sensibilidade, confiabilidade, esforços necessários para produção, metodologia de construção, comunicabilidade, periodicidade na atualização, capacidade de comparação em longos períodos de tempo.

No entanto, com relação ao edifício e o seu entorno, o empreendedor deve atentar aos elementos de análise, apontando as interações de cada um com outras interferências, como:

- Contexto geográfico: elementos do clima; sol (orientação, trajetória solar, sombreamentos possíveis sofridos e provocados pelo empreendimento); vento (orientação de acordo com os ventos dominantes); precipitações (chuva); temperatura; umidade;
- Vistas: oportunidades e restrições do terreno; contexto;
- Águas pluviais: escoamento / tratamento; impermeabilização;
- Ecossistemas e biodiversidade: preservação do meio; desenvolvimento

da biodiversidade;

- Topografia do terreno: altitude e desníveis acentuados; consistência do solo e do subsolo (sondagem);
- Pontos positivos e negativos do terreno e do entorno: incômodos do entorno; olfativos; sonoros; visuais;
- Poluição existente: do ar; eletromagnéticas (linhas de alta tensão, transformadores, antenas de transmissão de TV);
- Riscos: naturais (sísmicos, meteorológicos,...); tecnológicos (existência de construção(ões) tombada(s)); plano de prevenção de riscos; contexto social;
- Vizinhança: impacto do empreendimento sobre a vizinhança;
- Disposições locais / municipais: recursos disponíveis (energia, água...); tipos de coleta de resíduos; regulamentação local aplicável (código de obras, lei de zoneamento...); todos outros elementos de análise do terreno e do entorno importantes que o empreendedor deseje levar em conta.

Para Scandar (2008), outro aspecto que o empreendedor deve considerar é um ambiente exterior agradável, considerando os seguintes elementos: áreas de lazer internas; equipamentos para crianças; áreas para descanso; local para agrupamento de resíduos; paisagismo.

Quanto ao ambiente externo ao empreendimento, o mesmo autor considera que o investidor deve atentar a fatores como: redução dos impactos relacionados ao transporte do entorno – vias públicas.

## 2.15.2 Indicadores de sustentabilidade em edificações

Na construção civil, as questões dos impactos ambientais oriundas das edificações, em especial nas fases de construção e uso, vêm se tornando uma preocupação. Formas de avaliação do desempenho ambiental de edifícios, por intermédio de processos de certificação se faz presente.

Uma construção habitacional de elevada consciência ambiental, pouco interfere no meio ambiente, além de proporcionar bom conforto para os usuários, considerando certos aspectos como consumo de água potável racionalizado; obra executada de modo a minorar a geração de resíduos; acesso pelos usuários ao empreendimento facilitado; durante a obra evitar que a vizinhança seja incomodada (LAURIA, 2007).

Para tanto, sistemas de avaliação ambiental de empreendimentos devem estar baseados em indicadores que atribuam um valor agregado, em função do grau de atendimento a requisitos construtivos previamente definidos, climáticos e ambientais, do interior do edifício, do seu entorno e o meio ambiente.

Téchne (2008) leva em consideração aspectos de melhoria da performance ambiental do empreendimento, a busca de:

- Impactos ao meio urbano, como incômodos gerados durante a execução, acessibilidade ao local, erosão do solo, emissão de poeira, entre outros;
- Gestão de resíduos durante a obra e o uso do edifício, utilização de madeira e agregados legalizados, geração e correta destinação de resíduos, uso de materiais de menor impacto ambiental, reutilização de materiais;
- Utilização da água de forma racional, aplicação de equipamentos hidráulicos eficientes, captação de água de chuva, tratamento de esgoto etc.;
- Uso racional de energia e de emissões atmosféricas, dos sistemas de ar-condicionado e iluminação, dentre outros e;
- Salubridade e conforto do ambiente interno ao empreendimento, quanto à qualidade do ar e o conforto ambiental.

Para uma rápida comparação das estruturas de avaliação citadas, é apresentado um resumo na tabela 01.

Tabela 01 – Comparativo das sistemáticas.

Aspectos	Escopo da avaliação	Método de aplicação	Categorias avaliadas	Resultados
<b>LEED</b>	Ambiental	Atendimento de itens obrigatórios e classificatórios. Classificação do edifício.	Energia e atmosfera, uso eficiente da água, materiais e recursos, qualidade do ambiente interno, inovação e processo de projeto.	Quatro níveis, pontuação total obtida.
<b>AQUA</b>	Ambiental	Atendimento de perfil ambiental. Certificação ou não do edifício.	Impactos do meio ambiente, gestão de recursos, conforto e saúde do usuário.	Não há classificação. A certificação é obtida a partir do atendimento ao perfil de desempenho ambiental escolhido.
<b>IPT</b>	Ambiental e desempenho técnico.	Atendimento de itens obrigatórios e classificatórios. Classificação do edifício.	Impactos no meio ambiente, materiais e resíduos, energia e atmosfera, uso racional de água, conforto e salubridade.	Cinco níveis de classificação, pontuação total obtida.

Fonte: Téchne (2008).

Quando se aplica um desses métodos, espera-se que seu desempenho seja superior aos dos edifícios tradicionais.

Algumas construtoras, segundo Téchne (2008), estão se limitando à incorporação de conceitos por meio de soluções de projeto, que possuem grande visibilidade, porém sem representar grandes melhorias ambientais, enquanto outras estão buscando certificação de acordo com critérios do exterior, que nem sempre são adequados às condições nacionais.

No entanto, os conceitos de desempenho ambiental de edifícios ainda estão longe de estarem disseminados por toda a sociedade brasileira, embora alguns setores específicos estejam mobilizados nesse sentido.

A procura por imóveis com certificação ambiental, relaciona-se a perfis específicos de consumidores, com destaque aos imóveis de alto padrão. Contudo, mesmo na habitação de interesse social, as preocupações ambientais começam a estar presentes. A própria Secretaria de Estado da Habitação/CDHU-SP já tem assinado protocolo com a Secretaria do Meio Ambiente para melhorar o desempenho ambiental de seus conjuntos habitacionais.

Os indicadores de sustentabilidade de uma obra podem ser divididos entre aqueles referentes ao projeto e a obra.

Os indicadores do canteiro de obra são os que medem a eficiência energética, a gestão e economia da água, o aproveitamento de água de chuva, a gestão dos resíduos na edificação e o uso racional de materiais como máquinas e equipamentos no canteiro. Outro indicador importante é o uso de materiais certificados e renováveis, entre as quais: maximização do uso de materiais sustentáveis certificados, de manejo e recicláveis; utilização de materiais cujos processos de extração de matérias primas, beneficiamento, produção, armazenamento e transporte causem menor índice de danos ao meio ambiente e não estejam baseados em condições de trabalho indignas para os operários; proteção do ambiente (preservar os recursos, reduzir a poluição, reduzir os resíduos) e proteção da saúde dos usuários, da vizinhança e o pessoal de obra (LAURIA, 2007).

Há necessidade de orientar os profissionais a tomarem passos importantes de orientação aos profissionais envolvidos com o novo conceito de produção construtiva, por meio de indicadores, sendo:

- Materiais de construção (escolha, disponibilidade, características, comportamento);
- Desenho arquitetônico (adaptação à topografia, incidência de fatores bioclimáticos);
- Soluções construtivas (escolha da tecnologia, mão de obra);
- Desenho estrutural (estabilidade geotécnica, fator de confiabilidade do cálculo);
- Interligação entre os integrantes do projeto (projetistas versus clientes, clientes versus construtor);
- Fatores ecológicos (utilização de recursos locais e renováveis, reciclagem, processos construtivos não contaminantes);
- Fatores sócio culturais (aceitação social do projeto, fortalecimento das tradições históricas e culturais do local);
- Fatores econômicos (estudar a viabilidade do projeto, custo do terreno, custo final para o consumidor de modo viável).

## 2.16 Materiais e equipamentos

A crise energética fez com que a obra civil poupe energia dentro do canteiro, e após o edifício pronto.

Para isso, o ponto crucial está no momento do projeto, que deve considerar a não existência de perdas térmicas (LUCAS, 2008).

Seleção de materiais é uma atividade em que os projetistas podem contribuir com impacto sobre o desempenho sustentável de um edifício.

Fatores objetivos, tais como restrições de custo e requisitos ambientais podem desempenhar um papel fundamental na seleção dos materiais.

No entanto, é possível que fatores subjetivos também afetem a seleção e o cumprimento das metas de sustentabilidade.

A seleção dos materiais tem um papel importante na construção, uma vez que afeta o desempenho de um edifício e influencia o alcance das metas de sustentabilidade desejadas.

Uma seleção adequada de materiais pode ajudar o edifício a ser ambientalmente amigável quanto à redução de energia incorporada; impactos ambientais ao longo do ciclo de vida; desconforto da qualidade do ar, entre outros. Ao selecionar materiais, projetistas têm que considerar vários fatores como custo, propriedades mecânicas, ambientais, físicas e segurança. Entretanto, características visuais de produtos para influenciar a demanda do mercado podem afetar a tomada de decisão na seleção de materiais (CASTRO-LACOUTURE, 2012).

Segundo Inovatec (2011), materiais que vêm sendo utilizados na construção sustentável, têm atendido critérios de desempenho e conforto aos usuários, com baixo impacto ambiental.

A importância dos materiais de construção sustentável corresponde aos impactos ambientais provocados na extração das matérias primas necessárias à sua produção, assim como a energia incorporada neles. A energia incorporada nos materiais de construção abrange a energia consumida durante a sua vida útil (HAMMOND, 2008).

Uma escolha adequada dos materiais de construção pode significar uma redução de aproximadamente 17% na energia gasta na construção do edifício (TORGAL, 2010).

Dentro de uma gama de materiais sustentáveis, destacam-se os que consomem menos energia, como água, matéria prima de baixa quantidade de resíduos gerados na fabricação, facilidade de manutenção, durabilidade, conforto dos usuários e a possibilidade de reuso e/ou reciclagem do produto. Exemplos desses materiais são apresentados a seguir com base nos levantamentos de Inovatec (2011):

- Aquecimento solar: redução de até 70% no consumo de energia elétrica.
- Bloco de concreto: mantém estável a temperatura interna dos ambientes.
- Cisterna: armazena e reaproveita a água da chuva captada pela calha.
- Esquadria de alumínio reciclado: produzida com alumínio reciclado.
- Lâmpada fluorescente: economiza até 80% de energia em comparação com a incandescente.
- Painel de eucalipto: produzido com madeira de reflorestamento e com selo FSC - *Forest Stewardship*.
- Porta de pinus: produzida com madeira de reflorestamento.
- Telha de fibra de celulose: produzida com fibras vegetais e betume.
- Tinta acrílica à base d'água: solúvel com água, sem cheiro, em até 3 horas após a aplicação.
- Vaso sanitário com caixa acoplada duplo fluxo: possibilidade de dois tipos de descargas: 3 ou 6 litros.

John (2010) entende não ser possível uma divisão entre material sustentável e não sustentável, com exceção de certos materiais que apresentam riscos à saúde dos usuários. Material sustentável é aquele que o seu processo de produção ou obtenção depende de insumos eficientes, quanto à energia e o tipo de combustíveis utilizados. Além dessas características, a responsabilidade social da empresa que produz e utiliza a matéria prima, ou ainda, que utilize mão de obra informal em desrespeito à legislação, devem ser considerados.

Segundo Lauria (2007), as empresas têm implantado várias estratégias a fim de tornar as construções com maior poder de vantagens comerciais e eficientes em aspectos como localização geográfica, reuso de recursos naturais como a água e a utilização de materiais inovados.

É importante salientar a mudança de atitude nos hábitos dos projetistas e compradores das construtoras. Os ganhos se verificam pelo uso de energias renováveis, utilização de redutores de fluxo de água, reutilização das águas dos lavabos, uso das descargas acopladas de dois estágios, além do uso das águas de chuva, utilização de matérias renováveis da região, acesso a técnicas produtivas de menor dispêndio, uso de materiais de baixa toxicidade, dentre outros.

O quadro 09, a seguir, apresenta uma correlação entre os recursos e/ou fases da construção civil que se destacam para uma habitação sustentável.

Quadro 09 - Correlação entre os recursos e/ou fases da construção civil que se destacam para uma habitação sustentável.

<b>ÁGUA</b>	<b>Redução do consumo de água potável</b>	Limitação das vazões nos pontos de utilização; Limitação do consumo de água nos pontos de utilização; Limitação do consumo de água para irrigação paisagística; Utilização de fontes alternativas de água.
	<b>Gestão da Água Potável</b>	Setorização da medição do consumo.
	<b>Gestão da Água Pluvial</b>	Limitação do volume de água pluvial encaminhado para a rede pública de drenagem.
<b>ENERGIA</b>	<b>Desempenho térmico e diretrizes bioclimáticas</b>	Aberturas adequadas para ventilação; Sombreamento das aberturas; Desempenho térmico das paredes; Desempenho térmico da cobertura.
	<b>Otimização da iluminação</b>	Iluminação natural; Iluminação artificial energeticamente eficiente; Eficiência na iluminação das áreas externas.
	<b>Uso de energias renováveis</b>	Aquecimento solar de água; Produção de energia elétrica no local por meio de fontes renováveis.
	<b>Selo de eficiência energética em eletrodomésticos e equipamentos</b>	Uso racional de eletrodomésticos e equipamentos; Eficiência no consumo de gás.
	<b>Desempenho de janelas</b>	Desempenho eficiente de janelas
	<b>Redução do efeito de ilha de calor através das cargas térmicas internas da edificação</b>	Redução do efeito de ilha de calor em coberturas.

Quadro 09 (continuação) - Correlação entre os recursos e/ou fases da construção civil que se destacam para uma habitação sustentável.

<b>SELEÇÃO DE MATERIAIS, COMPONENTES E SISTEMAS</b>	<b>Uso responsável da madeira</b>	Não utilização de madeira de origem ilegal (OBRIGATÓRIO); Não utilização de espécies nativas em risco; Uso de madeira certificada; Uso de madeira de reflorestamento de espécies de crescimento rápido; Não utilização de madeira com produtos químicos perigosos; Uso de espécies de madeira resistentes a intempéries, onde necessário; Proteção das peças de madeira contra umidade garantindo a durabilidade.
	<b>Uso sustentável de produtos florestais, incluso madeira</b>	Uso de energia de biomassa de origem manejada.
<b>SELEÇÃO DE MATERIAIS, COMPONENTES E SISTEMAS</b>	<b>Uso de materiais locais de fornecedores social e ambientalmente responsáveis</b>	Uso de produtos de fontes localizadas a até 800 km do local da obra.
	<b>Reuso e reciclagem de materiais</b>	Uso de materiais contendo resíduos reciclados Reuso de materiais; Uso de materiais com maior potencial de reuso e reciclagem pós-uso.
	<b>Redução da geração de resíduos</b>	Integração e modulação de projeto.
<b>SELEÇÃO DE MATERIAIS, COMPONENTES E SISTEMAS</b>	<b>Uso de materiais associados a baixas emissões</b>	Uso de isolantes térmicos e acústicos em cuja produção e aplicação as emissões danosas à camada de ozônio sejam minimizadas; Uso de gases refrigerantes com baixo teor de destruição da camada de ozônio e baixo potencial de contribuição para o efeito estufa; Não utilização de materiais que possam emitir compostos danosos.
	<b>Escolha de materiais com características passíveis de investigação de conformidade</b>	Avaliação inserção dos materiais, componentes e sistemas nos programas do PBQP-H e outros referenciais de desempenho.
<b>QUALIDADE DO AMBIENTE INTERNO E SAÚDE</b>	<b>Qualidade do ar interno</b>	Controle da emissão de poluentes; Reposição adequada de ar (HVAC e naturais); Redução da presença de material particulado em suspensão.
	<b>Qualidade sanitária da água</b>	Garantia de manutenção das características físico-químicas e bacteriológicas da água.
	<b>Conforto térmico</b>	Conforto térmico no verão e no inverno; Desempenho janelas.
<b>QUALIDADE DO AMBIENTE INTERNO E SAÚDE</b>	<b>Conforto visual</b>	Acesso a vistas externas; Espaço exterior privativo; Privacidade nos ambientes.
	<b>Conforto acústico</b>	Isolamento acústico.
	<b>Qualidade dos espaços internos</b>	Controle da exposição eletromagnética; Criação de condições de higiene.

Quadro 09 (continuação) - Correlação entre os recursos e/ou fases da construção civil que se destacam para uma habitação sustentável.

<b>CANTEIRO DE OBRAS</b>	<b>Consumo de recursos</b>	Envolvimento da produção; Redução das perdas de materiais; Implantação de ações potencialmente racionalizadoras; Redução de desperdício de mão de obra; Implantação de ações potencialmente racionalizadoras; Gestão do consumo de água, energia elétrica e gás.
	<b>Gestão de resíduos de construção e demolição</b>	Gerenciamento de resíduos; Manejo dos resíduos no canteiro de obras; Transporte e destinação dos resíduos.
	<b>Gestão da poluição e dos incômodos</b>	Redução da poluição e dos incômodos.
	<b>Implantação e operação da infraestrutura do canteiro de obras</b>	Redução de impactos na etapa de serviços preliminares; Redução de impactos na implantação da infraestrutura de produção e apoio; Redução de impactos no armazenamento e movimentação de produtos; Redução de impactos na utilização de vias e espaços públicos; Redução das interferências na vizinhança.
	<b>Impactos sociais e econômicos dos canteiros de obras</b>	Apoio ao desenvolvimento dos funcionários próprios e subcontratados; Apoio ao desenvolvimento de fornecedores; Cuidados com a saúde e segurança dos funcionários; Apoio ao desenvolvimento local.
<b>OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO</b>	<b>Durabilidade</b>	Escolhas construtivas adequadas à vida útil pretendida para o empreendimento; Maximização da vida útil do empreendimento.
	<b>Flexibilidade e adaptabilidade</b>	Flexibilidade dos espaços; Flexibilidade dos sistemas prediais.
	<b>Acessibilidade às instalações, equipamentos e elementos construtivos</b>	Acessibilidade para a operação e manutenção dos sistemas prediais e equipamentos; Acessibilidade e facilidade de manutenção e limpeza dos elementos construtivos.
	<b>Concepção dos espaços</b>	Definição de premissas de projeto para eficiência energética no uso do empreendimento; Definição de premissas de projeto para a gestão de resíduos do uso do empreendimento.
	<b>Gestão do desempenho em uso</b>	Gestão das atividades de manutenção; Garantia de manutenção da potabilidade de água; Viabilidade para o monitoramento do consumo de energia, água e gás, semanal / on line; Viabilidade para a gestão de resíduos sólidos; Prevenção quanto aos incômodos causados aos ocupantes durante as atividades de manutenção e limpeza; Gestão dos serviços comuns.

Fonte: PCC-2540 (2007).

A rápida urbanização mundial tem gerado um déficit de materiais de construção convencional, devido à limitada disponibilidade de recursos naturais. A fim de satisfazer a crescente demanda por energia de materiais de construção, há uma necessidade de se adotar tecnologias adequadas e atualizar técnicas tradicionais com materiais locais disponíveis.

Segundo Madurwar *et al.* (2013), graças ao aumento da população que provoca uma escassez crônica de materiais de construção, essa grande demanda e esse déficit têm sido colocados para a indústria de material de construção, especialmente na última década. Para atender a crescente demanda habitacional, há uma necessidade de produção de materiais de construção como tijolos, cimento, agregados, aço, alumínio, madeira e revestimentos.

## **2.17 Sustentabilidade do setor imobiliário urbano e a infraestrutura local**

Os consumidores de todas as classes sociais vêm exigindo dos setores da construção civil novidades sustentáveis. Um exemplo é o uso do *steel frame* apresentado na figura 03, que, conforme Rocha (2011) é um material sustentável de construção de residências populares, em uso pela CDHU – Companhia de Desenvolvimento Habitacional Urbano do Estado de São Paulo.

Figura 03 - *Steel Frame* em construção de residências populares – CDHU (Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano) em Avaré-SP.



Fonte: Rocha (2011).

Para Crestana (2012), há algum tempo, o setor imobiliário possui empreendedores e profissionais dedicando-se à identificação e ao uso de soluções, inclusive associados a projetos acadêmicos, em busca da construção sustentável.

O mesmo autor afirma que em praticamente todas as atividades da cadeia produtiva da construção civil, há ações concretas, do projeto à administração do condomínio, que é a ponta final do processo, ou seja, a demolição sustentável. O papel do setor da construção na sustentabilidade das cidades é um agente fundamental para a promoção da sustentabilidade nas cidades, por seu papel como planejador, construtor e, por vezes, gestor de espaços públicos urbanos. O setor de desenvolvimento imobiliário urbano pode contribuir para a construção da cidade mais sustentável ao adotar de modo gradual, parâmetros de sustentabilidade nacional e internacionalmente consagrados.

Os quadros 10 (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g), (h), (i), adaptados de SECOVI-SP & FDC (2012), foram inseridos a seguir, devido à contribuição que deram na elaboração dos questionários apresentados aos especialistas.

Quadro 10 (a) – Indicadores de construções e infraestruturas sustentáveis.

INDICADORES		
CONSTRUÇÃO E INFRAESTRUTURAS SUSTENTÁVEIS		
SUBTEMA	GRUPO	INDICADOR
Capacitação ambiental da cadeia	Capacitação ambiental da cadeia	Percentual de empresas certificadas (RSE/SGA): nº. de empresas certificadas/total de empresas; Percentual de edificações aferidas com sistema de capacitação ambiental: nº. de edificações aferidas/total de edificações.
Eficiência do ambiente interno	Acessibilidade universal	Percentual de edificações com adoção dos padrões e elementos de conforto luminotécnico sustentável (ABNT NBR 5413 e ABNT NBR 9050) em relação ao total.
	Conforto térmico	Percentual de edificações com adoção dos padrões e elementos de conforto térmico sustentável (ABNT NBR ISO7730, ABNT NBR 15220) em relação ao total.
	Conforto acústico	Percentual de edificações com adoção dos padrões e elementos de conforto acústico sustentável (ABNT NBR 10152) em relação ao total.
Eficiência energética	Eficiência energética	Consumo energético da edificação: KWh/m <sup>2</sup> área útil/ano Percentual de edificações utilizando-se de energia renovável em relação ao total.
Eficiência na gestão de materiais resíduos	Destinação para reciclagem	Volume de resíduos de construção e demolição encaminhados para reciclagem (cf. Resolução CONAMA 307 ou correspondente): m <sup>3</sup> resíduo descartado em usinas de RCD.
	Reuso de materiais na construção	Percentual de obras com reuso de materiais (reutilizáveis, reciclados, renováveis) em relação ao total.
	Uso de materiais socioambientalmente corretos/certificados	Percentual de obras com utilização de materiais certificados socioambientalmente em relação ao total.
Eficiência na gestão e manutenção	Eficiência na gestão e manutenção	Percentual de edificações com sistemas de padrões de eficiência na gestão e manutenção em relação ao total.
	Eficiência no uso da água	Consumo de água potável da edificação: m <sup>3</sup> água consumida/m <sup>2</sup> área construída. Percentual de edificações com presença de dispositivos de reaproveitamento de águas pluviais em relação ao total de edificações no território.
Eficiência na drenagem das edificações e infraestruturas	Eficiência na drenagem das edificações e infraestruturas	Percentual de edificações com presença de dispositivos de retenção de água adequado ao solo e volume de precipitações em relação ao total.

Fonte: Adaptado de SECOVI-SP & FDC (2012).

Quadro 10 (b) – Indicadores de governança.

INDICADORES G O V E R N A N Ç A		
SUBTEMA	GRUPO	INDICADOR
Instâncias formais de governança	Gestão integrada do território (intermunicipal/ metropolitano/ macrorregional)	Existência (sim/não); Grau de eficiência (pesquisa c/ população).
	Descentralização da gestão territorial	Existência de administração regionalizada no território (sim/não).
	Inteligência na gestão ("smart cities")	Existência (sim/não); Grau de eficiência (pesquisa c/ população).
	Legislação, normas e incentivos para sustentabilidade	Existência de indicadores de sustentabilidade no sistema de gestão territorial (sim/não).
	Manutenção do território	Existência (sim/não); Grau de eficiência (pesquisa c/ população).
	Transparência	Adoção de sistemas de informação da gestão territorial transparentes, confiáveis e atualizadas (sim/não); Grau de eficiência (pesquisa c/ população).
Novas instâncias de governança	Fóruns da sociedade civil e redes participativas	Existência (sim/não); Grau de eficiência (pesquisa c/ população).
	Incentivos voluntários para sustentabilidade	Existência (sim/não).
	Planejamento urbano participativo	Existência (sim/não); Grau de eficiência (pesquisa c/ população).

Fonte: Adaptado de SECOVI-SP & FDC (2012).

Quadro 10 (c) – Indicadores de mobilidade.

INDICADORES M O B I L I D A D E		
SUBTEMA	GRUPO	INDICADOR
Externalidades	Fluidez no trânsito	Velocidade Média no Trânsito (km/h).
	Segurança no trânsito	Quantidade de acidentes no trânsito/população.
Transporte coletivo	Trânsito Rápido de Ônibus (BRT)	Total de passageiros transportados/dia.
	Geral	Divisão modal: distribuição percentual da média diária dos deslocamentos: a pé, por transporte coletivo e individual, motorizado e não motorizado; Extensão da rede de transporte público superior (VLT/P, BRT, Metrô) /rede de transporte total (km/km <sup>2</sup> ); Percentual da população que utiliza transporte coletivo/população total; Percentual de empreendimentos dotados de sistemas de transporte coletivo em relação ao total; Percentual de edifícios com infraestrutura para ciclistas em relação ao total.
	Metrô	Total de passageiros transportados/dia.
	Ônibus	
Transporte individual	Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) / Veículos Leve sobre Pneus (VLP)	
	Motorizado	Existência de sistemas de uso alternativo do carro (compartilhamento/sob demanda) (sim/não); Frota de carros em relação à população: veículos/100 mil habitantes.
	Não motorizado (caminhabilidade e ciclistas)	Densidade de espaços para caminhada (calçadas e áreas pedestrianizadas) em relação ao território: km <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> ; Percentual da população que não utiliza veículos motorizados particulares em dias úteis; Quantidade de ciclovias em relação à área total: km/km <sup>2</sup> .

Fonte: Adaptado de SECOVI-SP &amp; FDC (2012).

Quadro 10 (d) – Indicadores de moradia.

INDICADORES MORADIA		
SUBTEMA	GRUPO	INDICADOR
Condições de habitação	Grau de diversidade tipológica	Percentual de plantas de unidades habitacionais diversificadas em relação ao total de unidades habitacionais.
	Grau de inserção com o contexto urbano	Grau de proximidade ao contexto urbano pré-existente (novos empreendimentos); Grau de proximidade ao comércio local (novos empreendimentos); Grau de conectividade ao contexto urbano pré-existente (novos empreendimentos): conectividade viária para carros e pedestres; Percentual de unidades residenciais a menos de 500m de distância de acesso ao transporte público em relação ao total de unidades habitacionais
	Interação comunitária (vizinhança)	Adoção de padrões de desenho urbano adequado ao não isolacionismo de unidades habitacionais (sim/não).
Planejamento habitacional	Acessibilidade social	Percentual de habitação de interesse social e do mercado popular em relação ao total.
	Financiamento	Existência de programas de moradias acessíveis (sim/não).
	Habitação informal reurbanizada	Percentual de favelas e ocupações habitacionais informais reurbanizadas e regularizadas em relação ao total.

Fonte: Adaptado de SECOVI-SP &amp; FDC (2012).

Quadro 10 (e) – Indicadores de oportunidades.

INDICADORES OPORTUNIDADES		
SUBTEMA	GRUPO	INDICADOR
Economia do Conhecimento (nova economia)	Capital humano	Percentual da população economicamente ativa com 12 anos ou mais.
	Economia criativa	Indicadores de atividades da economia criativa no território.
	Negócios sustentáveis	Empregos verdes (segundo Classificação Nacional de Atividades Econômicas - CNAE); Existência de incentivos fiscais visando atrair empresas verdes (segundo atividades CNAE); PIB da indústria limpa (por segundo atividades CNAE); Produção local de alimentos na cidade.
	Consumo da renda	Razão entre endividamento pessoal/PIB; Razão entre crédito/PIB; Taxa de inadimplência.
	Distribuição da renda	Percentual da população abaixo da linha de pobreza.
	Geração de renda	Renda per capita; Taxa de ocupação (percentual em relação à população economicamente ativa); Quantidade de empresas ativas instaladas no território.

Fonte: Adaptado de SECOVI-SP &amp; FDC (2012).

Quadro 10 (f) – Indicadores de planejamento e ordenamento territorial.

INDICADORES		
PLANEJAMENTO E ORDENAMENTO TERRITORIAL		
SUBTEMA	GRUPO	INDICADOR
Crescimento ordenado do território	Adequação urbanística/ desenho urbano	Adoção de padrões urbanos de desenho universal (sim/não); Adoção de referencial de desenho urbano: paisagismo (sim/não); Adoção de referencial de desenho urbano: iluminação e direito ao sol (sim/não); Adoção de referencial de desenho urbano: pré-existências edificadas (sim/não); Adoção de referencial de desenho urbano: mobiliário urbano (sim/não); Adoção de referencial de desenho urbano: adequação de implantação (sim/não).
	Compacidade	Percentual de unidades residenciais a menos de 1.000m de distância das necessidades urbanas básicas em relação ao total de unidades habitacionais (%).
	Densidade qualificada	Adoção de referenciais de desenho urbano: densidades qualificadas (sim/não).
	Eixos de desenvolvimento regional e macrometropolitano	Existência de parâmetros de promoção de eixos de desenvolvimento regional e macrometropolitano (sim/não).
	Renovação e preservação urbanas	Preservação do patrimônio histórico (sim/não); Percentual de território em processo de reurbanização ou reurbanizado em relação ao total; Percentual de reuso das edificações (“retrofit”) em relação.
	Integração à mobilidade	Adequação dos empreendimentos ao sistema de mobilidade urbana existente e/ou planejado (sim/não); Existência de parâmetros de incentivo de crescimento integrado à mobilidade (sim/não).
Crescimento ordenado do território:	Marcos institucionais	Existência de marcos institucionais (agências de desenvolvimento tipo PPP - Parceria Público Privado) (sim/não).
	Promoção de uso coletivo	Adequada distribuição dos espaços de uso coletivo pelo território de acordo com projeto de desenho urbano (sim/não); Densidade de espaços de uso coletivo em relação ao território total: $\text{km}^2/\text{km}^2$ .
Uso do solo	Controle e fiscalização	Existência de fiscalização da adequação às normas de uso do solo (sim/não).
	Planejamento	Existência de normas de uso do solo (sim/não).
	Readequação do uso do solo	Existência de parâmetros de flexibilização do uso do solo (sim/não).

Fonte: Adaptado de SECOVI-SP & FDC (2012).

Quadro 10 (g) – Indicadores de questões ambientais.

INDICADORES QUESTÕES AMBIENTAIS		
SUBTEMA	GRUPO	INDICADOR
Água efluentes líquidos	Oferta e consumo de água	Consumo médio diário de água em $m^3$ /habitante por tipo de uso (residencial, comercial, industrial); Indicador de reaproveitamento de águas pluviais ( $m^3$ /ano/habitante); Percentual da população com água encanada; Percentual de água perdida no sistema de abastecimento.
	Esgoto e saneamento	Percentual da população com acesso ao sistema de esgoto; Percentual do esgoto tratado.
Biodiversidade	Gradiente verde	IAV (índice de área verde: $m^2$ de área verde/ habitante); Índice de arborização (número de árvores plantadas/ano/1.000 habitantes).
	Parques	Acesso da população aos espaços verdes (raios de incidência); Taxa de parques e praças: $m^2$ /área total do território.
	Reservas naturais	Índice de degradação de áreas de interesse ambiental (área de interesse ambiental ocupada irregularmente/área de preservação na cidade); Inventário da diversidade de fauna e flora presentes (sim/não); Total das áreas de preservação ( $m^2$ ).
Clima	Ilhas de calor urbanas	Ilha de calor urbana (ICU) no território.
	Chuvas	Incidência média (mm/mês).
Drenagem urbana	Escoamento d'água e controle de enchentes	Coeficiente de permeabilidade do território (área permeável/área construída); Existência de parâmetros de escoamento d'água e controle de enchentes (sim/não); Índice de pontos de alagamento (número de pontos de alagamento/região/ano); Sistemas de drenagem presentes por retenção e infiltração (capacidade em $m^3$ ).
Emissões	Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE)	Existência de inventário de emissões (sim/não); Existência de metas de redução de GEE e incentivos para uso de energias renováveis (sim/não); Emissões de GEE <i>per capita</i> (toneladas de CO <sub>2</sub> equivalente).
Energia	Oferta e consumo de energia	Energia de fontes renováveis/total de energia utilizada Existência de incentivos para promoção de eficiência energética e uso de fontes renováveis de energia (sim/não); Indicador de eficiência energética (Variação do consumo/variação do PIB); Consumo de energia em Kwh/habitante/ano.
Materiais	Poluição sonora	Nível de ruído urbano médio nos logradouros no território dB(A); Existência de políticas de controle de som ambiente (sim/não); Existência de mapa acústico municipal (sim/não).
	Poluição visual	Existência de parâmetros de controle e normatização da comunicação visual urbana (sim/não).
	Qualidade do ar	Índice de Poluição Atmosférico (API).

Quadro 10 (g) (continuação) – Indicadores de questões ambientais.

INDICADORES QUESTÕES AMBIENTAIS		
SUBTEMA	GRUPO	INDICADOR
Prevenção de riscos ambientais	Prevenção de riscos ambientais	Existência de plano para retirada de pessoas de áreas de risco (sim/não); Existência de programa para redução de riscos ambientais (sim/não); Existência de parâmetros de proteção de encostas e vertentes (sim/não).
Resíduos sólidos	Sistema de coleta e seleção	Área do território coberta com coleta seletiva de lixo/área total do território; Disponibilidade de sistemas de coleta (domiciliar, reciclável, RCD, perigosos, industriais) (sim/não); Quantidade de lixo produzida no território (kg/habitante/ano).
	Reutilização, reciclagem e compostagem	Existência de metas de reutilização/reciclagem de resíduos (sim/não); Número de pontos limpos para coleta de material reutilizável, reciclável ou perigoso, não coletadas juntamente com o resto do sistema de coleta normal/km <sup>2</sup> ; Quantidade de resíduo orgânico utilizado para compostagem (m <sup>3</sup> ).

Fonte: Adaptado de SECOVI-SP & FDC (2012).

Quadro 10 (h) – Indicadores de segurança.

INDICADORES SEGURANÇA		
SUBTEMA	GRUPO	INDICADOR
Inclusão social	Diversidade socioterritorial	Grau de diversidade de renda familiar no território; Grau de diversidade de atividade no território.
	Redução da pobreza e inclusão social	Existência de programas públicos e/ou privados e inclusão social (sim/não); Índice de Desenvolvimento Humano (IDH); Transferência de renda – abrangência (Porcentagem de famílias que recebem recursos dos programas de transferência de renda existentes na cidade); Transferência de renda - dependência (população com mais de metade de sua renda total, de rendimentos de aposentado).
Violência urbana	Indicadores de criminalidade	Taxa de crimes violentos fatais (Crimes violentos fatais/100.000 habitantes); Taxa de crimes violentos não fatais (Crimes violentos não fatais/100.000 habitantes); Taxa de crimes contra patrimônio (Crimes contra patrimônio/100.000 habitantes); Taxa de homicídios (Homicídio/100.000 habitantes).
	Segurança urbana	Taxa de policiamento (Efetivo policial no município/100.000 habitantes); Taxa de segurança privada (Profissionais de segurança privada/100.000 habitantes); Percentual de implantação de rede de vigilância remota em relação ao total de logradouros; Indicador de efetividade da justiça.

Fonte: Adaptado de SECOVI-SP & FDC (2012).

Quadro 10 (i) – Indicadores de serviços e equipamentos.

INDICADORES SERVIÇOS E EQUIPAMENTOS		
SUBTEMA	GRUPO	INDICADOR
Cultura	Bibliotecas	Quantidade de bibliotecas existentes em relação ao território (unidades/km <sup>2</sup> ); Distribuição de bibliotecas no território de acordo com plano urbanístico (sim/não); Número de frequentadores de bibliotecas/ano.
	Centros culturais e afins	Quantidade de centros culturais existentes em relação ao território (unidades/km <sup>2</sup> ); Distribuição de centros culturais no território de acordo com plano urbanístico (sim/não); Número de frequentadores de centros culturais/ano.
	Cinemas	Quantidade de cinemas existentes em relação ao território (unidades/km <sup>2</sup> ); Distribuição de cinemas no território de acordo com plano urbanístico (sim/não); Número de frequentadores de cinema/ano.
	Museus	Quantidade de museus existentes em relação ao território (unidades/km <sup>2</sup> ); Distribuição de museus no território de acordo com plano urbanístico (sim/não); Número de frequentadores de museus/ano.
	Salas de show e concertos	Quantidade de salas de show e concertos existentes em relação ao território (unidades/km <sup>2</sup> ); Distribuição de salas de show e concertos no território de acordo com plano urbanístico (sim/não); Número de frequentadores de salas de show e concertos/ ano.
	Teatros	Quantidade de teatros existentes em relação ao território (unidades/km <sup>2</sup> ); Distribuição de teatros no território de acordo com plano urbanístico (sim/não); Número de frequentadores de teatros/ano.
Educação	Escolas e demais instituições de ensino	Quantidade de equipamentos urbanos de educação existentes em relação ao território (vagas/habitante); Adequada distribuição no território de acordo com plano urbanístico (sim/não); Número de frequentadores de equipamentos urbanos de educação/ano.
Lazer e esportes	Área de recreação	Quantidade de áreas de recreação e lazer existentes em relação ao território (unidades/km <sup>2</sup> ); Distribuição de áreas de recreação e lazer no território de acordo com plano urbanístico (sim/não); Número de frequentadores de áreas de recreação e lazer/ano.
	Instalações esportivas	Quantidade de equipamentos esportivos existentes em relação ao território (unidades/km <sup>2</sup> ); Distribuição de equipamentos esportivos no território de acordo com plano urbanístico (sim/não); Número de frequentadores de equipamentos esportivos/ano.
Saúde	Equipamentos de saúde	Quantidade de equipamentos urbanos de saúde existentes em relação ao território (leitos/habitante); Distribuição de equipamentos urbanos de saúde no território de acordo com plano urbanístico (sim/não).
Geral	Serviços de uso coletivo	Grau de satisfação da população com o serviço (pesquisa com população).

Fonte: Adaptado de SECOVI-SP & FDC (2012).

Dos indicadores dos quadros 10 (a, b, c, d, e, f, g, h, i) foram considerados para esta tese os elementos apresentados no Quadro 11 a seguir:

Quadro 11 – Elementos definidos para análise da tese.

<b>ÁGUA</b>	
1) Redução do consumo de água potável com:	Limitação das vazões nos pontos de utilização.
	Limitação do consumo de água para irrigação paisagística.
	Utilização de fontes alternativas de água.
	Medição do consumo com uso de medidores individuais.
	Utilização de parte da água pluvial.
<b>ENERGIA</b>	
2) Desempenho térmico com:	Aberturas arquitetônicas para ventilação e sombreamento.
	Desempenho térmico das paredes e coberturas.
3) Otimização da iluminação com:	Iluminação natural; artificial energeticamente eficiente.
	Eficiência na iluminação das áreas externas.
4) Uso de energias renováveis com:	Aquecimento solar de água.
	Geração de energia elétrica no local por meio de fontes renováveis.
5) Uso de equipamentos com selo de eficiência energética PROCEL e outros dispositivos como:	Eletrodomésticos com selo PROCEL.
	Dispositivos economizadores.
	Equipamentos a gás.
<b>MATERIAIS</b>	
6) Uso responsável da madeira - fornecedores social e ambientalmente responsáveis, com:	Utilização de madeira de origem legal (certificada) - fornecedor local.
	Não utilização de madeira tratadas com produtos químicos perigosos.
	Uso de madeira de reflorestamento.
	Uso de espécies de madeira resistentes a intempéries e insetos.
	Proteção das peças de madeira contra umidade garantindo a durabilidade.
7) Reuso e reciclagem de materiais com redução da geração de resíduos com:	Reuso de materiais
	Uso de materiais em cujo ciclo de vida as emissões não sejam danosas.
	Uso de materiais com maior potencial de reuso e reciclagem pós-uso.
	Uso de materiais associados a baixas emissões.
	Reuso de formas e escorras.
	Uso de materiais pré-fabricados.
	Uso de materiais de qualidade.

Quadro 11 (continuação) – Elementos definidos para análise da tese.

<b>AMBIENTE INTERNO</b>	
8) Qualidade do ar interno; da água; dos espaços internos. Conforto térmico; visual; acústico. Com:	Manutenção das características físico-químicas e bacteriológicas da água. Conforto térmico no verão e no inverno. Desempenho janelas. Acesso a vistas externas. Espaço exterior privativo. Privacidade nos ambientes. Isolamento acústico. Controle da exposição eletromagnética. Criação de condições de higiene. Acessibilidade. Lazer e esporte. Paisagismo.
<b>CANTEIRO DE OBRAS</b>	
9) Consumo de recursos diminuído com:	Redução das perdas de materiais. Implantação de ações potencialmente racionalizadoras. Redução de desperdício de mão de obra. Gestão do consumo de água, energia elétrica e gás.
10) Gestão de resíduos de construção e demolição com:	Manejo dos resíduos no canteiro de obras. Transporte e destinação adequada dos resíduos. Educação ambiental dos operários.
11) Gestão da poluição e dos incômodos com:	Redução da poluição e dos incômodos do entorno.
12) Operacionalização da infraestrutura do canteiro de obras com:	Redução de impactos na etapa de serviços preliminares. Redução de impactos no armazenamento e movimentação de produtos. Redução de impactos na utilização de vias e espaços públicos. Redução das interferências na vizinhança.
13) Gestão dos impactos sociais e econômicos dos canteiros de obras com:	Desenvolvimento dos funcionários próprios, subcontratados e fornecedores. Apoio ao desenvolvimento local. Cuidados com a saúde e segurança dos funcionários.
<b>OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO</b>	
14) Durabilidade do empreendimento com:	Escolhas construtivas adequadas à vida útil pretendida. Maximização da vida útil do empreendimento.
15) Acessibilidade às instalações, equipamentos e elementos construtivos com:	A operação e manutenção dos equipamentos e facilidade de manutenção e limpeza dos elementos construtivos.
16) Concepção dos espaços com:	Definição de premissas de projeto para eficiência energética no uso do empreendimento.
17) Gestão do desempenho durante o uso da edificação com:	A atividades de manutenção. Garantia de manutenção da potabilidade de água. Viabilidade para o monitoramento do consumo de energia, água e gás. Viabilidade para a gestão de resíduos sólidos. Prevenção quanto aos incômodos causados aos ocupantes durante as atividades de manutenção e limpeza. Cultura de coleta seletiva.

	Áreas permeáveis.
--	-------------------

Quadro 11 (continuação) – Elementos definidos para análise da tese.

<b>SERVIÇOS PÚBLICOS LOCAIS</b>	
	Água encanada potável.
	Gás encanado.
	Luz.
	Telefonia fixa.
	Acesso a rede mundial – <i>internet</i> .
	Sinal de TV.
	Transporte público.
	Correios.
	Coleta de lixo comum.
	Coleta seletiva de lixo.
	Coleta de esgoto.
	Segurança pública.
	Praças e parques no entorno.
	Saúde pública.
	Escola pública.
<b>MAO DE OBRA</b>	
	Construção.
	Automação.
	Manutenção.
	Demolição.
<b>GOVERNAÇA COMUNITÁRIA</b>	
	Planejamento para a mitigação dos impactos ambientais e sociais do local.

Fonte: Adaptado de SECOVI-SP & FDC (2012).

Há de se considerar que os projetos de infraestrutura local também afetam a sustentabilidade do empreendimento, quando se apresentam as três dimensões básicas do desenvolvimento sustentável (ou seja, econômico, ambiental e social).

Segundo Shen *et al.* (2011), além das dimensões básicas do desenvolvimento sustentável, os indicadores podem orientar a avaliação do desempenho de sustentabilidade de projetos da infraestrutura local, antes mesmo do projeto do empreendimento habitacional. São eles: segurança, efeitos sobre o desenvolvimento local, efeitos sobre a qualidade da água e efeito sobre a poluição da terra. O quadro 12 apresenta o desdobramento das dimensões básicas do desenvolvimento sustentável.

Quadro 12 - Indicadores de sustentabilidade de projeto de infraestrutura.

<b>Principais indicadores de avaliação da sustentabilidade do projeto para a infraestrutura local</b>	<b>Fator econômico</b>	Análise sobre a oferta e demanda.
		Risco financeiro.
		Ciclo de vida de benefício / lucro.
		Projeto de orçamento.
		Taxa de retorno interna (IRR).
		Ciclo de vida de custo.
		Vantagem técnica.
		Payback período.
<b>Fator social</b>	<b>Fator social</b>	Segurança pública.
		Efeitos sobre o desenvolvimento local.
		Escala de manutenção.
		A provisão de amenidades auxiliares de atividades econômicas locais.
		Saneamento público.
<b>Fator ambiental</b>	<b>Fator ambiental</b>	Efeito sobre a qualidade da água.
		Efeito sobre a poluição da terra.
		Efeitos ecológicos.
		Efeitos sobre a qualidade do ar.
		Medidas de protecção na concepção do projecto.
		Influenciar na saúde pública.
		Economia de energia.

Fonte: Adaptado pelo autor de Shen *et al.* (2011).

## CAPITULO III

### 3 MATERIAIS, METODOLOGIA, MÉTODO E DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo apresentam-se os materiais empregados, a metodologia e método que foram utilizados nesta tese, além dos procedimentos e o desenvolvimento da pesquisa, dando subsídios para a análise dos dados e dos resultados conclusivos.

#### 3.1 Materiais

Devido ao tamanho da rede, das subredes e da quantidade dos atores envolvidos, esta pesquisa acumulou um volume grande de dados e informações de difícil operacionalização. Por isso, o processamento através da construção de um algoritmo *Fuzzy* surgiu como candidato natural para a verificação da consistência das informações e o tratamento dos dados. O software *MatLab®* com sua ferramenta auxiliar *Fuzzy Logic Toolbox – MatLab® 6.1* foi o sistema especialista utilizado.

Segundo *Farrer* (1989), um algoritmo *Fuzzy* é basicamente, uma sequência de instruções para resolver um problema. As regras *Fuzzy* descrevem situações específicas que podem ser submetidas à análise de um painel de especialistas, e cuja inferência conduz a algum resultado desejado.

O software *MatLab®* é um ambiente de computação científica, que permite a interação com o usuário através de uma janela de comando. Os comandos devem ser fornecidos pelos usuários para que os cálculos e resultados realizados sejam exibidos.

Outro software foi empregado como *interface* de geração de gráficos de tendência, geração de funções polinomiais que, matematicamente, definem o comportamento dos indicadores criados para o comparativo quanto à sustentabilidade, entre diversos empreendimentos habitacionais populares, para setores de projeto, da construção e da manutenção, da habitação e da demolição. Para a tabulação de dados diversos foi usado o software *Microsoft Excel®*.

#### 3.1.1 Teoria *Fuzzy*

O uso da Lógica *Fuzzy* vem se apresentando em diversas pesquisas científicas com grande aceitação na engenharia de produção e de outras áreas do conhecimento, uma vez que todos os sistemas reais contêm informações incompletas e imprecisas.

A teoria dos conjuntos *Fuzzy* foi estudada primeiramente por Lofti A. Zadeh, na Universidade de Califórnia, em 1965 (FERREIRA, 2009).

Essa teoria afirma que dado um determinado elemento que pertence a um domínio, é verificado o grau de pertinência do elemento em relação ao conjunto. O grau de pertinência é a referência para verificar o quanto “é possível” esse elemento poder pertencer ao conjunto. O grau é calculado através de uma determinada função que retorna, geralmente, um valor real que varia entre 0 e 1, sendo que 0 indica que não pertence ao conjunto, e 1 pertence (KOHAGURA, 2007).

*Fuzzy* tem significados como: vago, indistinto, *Fuzzy*, incerto e nebuloso (ALMEIDA, 2003). Neste trabalho será adotado o termo *Fuzzy*.

A Lógica *Fuzzy*, segundo Mollo (2012), é a lógica que valida os modos de raciocínio aproximados ao invés dos exatos. Os conceitos de Lógica *Fuzzy* traduzem, matematicamente, dados imprecisos contidos em frases expressas em linguagem coloquial. A Lógica *Fuzzy* é adequada para o controle/previsão de um processo ou sistema não linear, ou mal compreendido, indo além dos modelos de controle convencionais, permitindo aplicar de forma sistemática estratégias utilizadas por operadores humanos com base em experiência e conhecimento.

Nesta tese, a Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* teve seu uso como base lógica por ser uma ferramenta que, segundo Mello (2012), é apropriada para lidar com variáveis que contenham ambiguidades, informações incompletas, incertezas nas definições de seus valores e ainda permitir as representações de estratégias das partes. Contém o princípio da dualidade, ao estabelecer que dois eventos opostos possam coexistir em situações em que um elemento pertence num certo grau a um conjunto, e num outro grau a outro conjunto diferente.

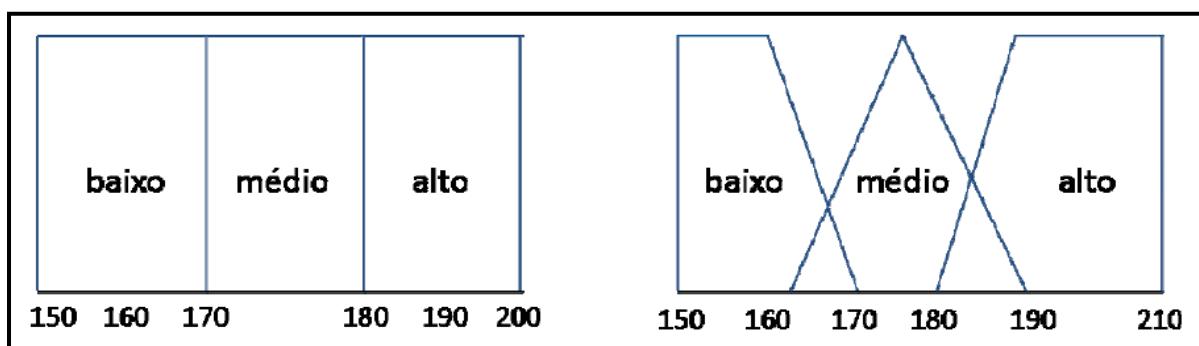
Segundo Shaw (2002), a Lógica *Fuzzy* trata de um raciocínio que busca classificar em números uma determinada realidade ou situação, trabalha com muitas variáveis incertas e vagas, a fim de facilitar o trabalho ou manipulação com computadores.

Comparada com a lógica clássica, a Lógica *Fuzzy* apesar de ser incerta, permite a descrição de um fato específico com mais detalhe, reduzindo assim a perda de dados (MALUTTA, 2004).

A estrutura da Lógica *Fuzzy* como uma área da matemática, fundamentada no raciocínio humano e na resolução de questões complexas, é capaz de associar os eventos naturais e a evolução da informática a produzir sistemas de resposta inteligentes, robustos e flexíveis, caracterizada pela imprecisão e ambiguidade que esta tese necessita para seu desenvolvimento.

A imagem apresentada no lado esquerdo da figura 04 representa um exemplo típico da teoria clássica que descreve a altura de uma pessoa através de três conjuntos: baixo, médio e alto. Nessa ilustração, dado um elemento  $x$  qualquer, o mesmo pertencerá a um dos conjuntos da imagem; por exemplo, se  $x = 165$ , então  $x$  para a imagem da esquerda (teoria clássica) pertence ao conjunto baixo. Para a imagem da direita (Lógica *Fuzzy*),  $x$  pertence ou não a um determinado conjunto, ou seja, tende ao conjunto médio.

Figura 04 - Representação na forma de conjuntos da altura de uma pessoa, sob o ponto de vista da Lógica convencional (à esquerda) e da Lógica *Fuzzy* (à direita)



Fonte: Adaptada de Marro *et al.* (2010)

Quanto ao raciocínio *Fuzzy*, é baseado em três etapas apresentadas por Kohagura (2007): Fuzzificação, Inferência e Defuzzificação.

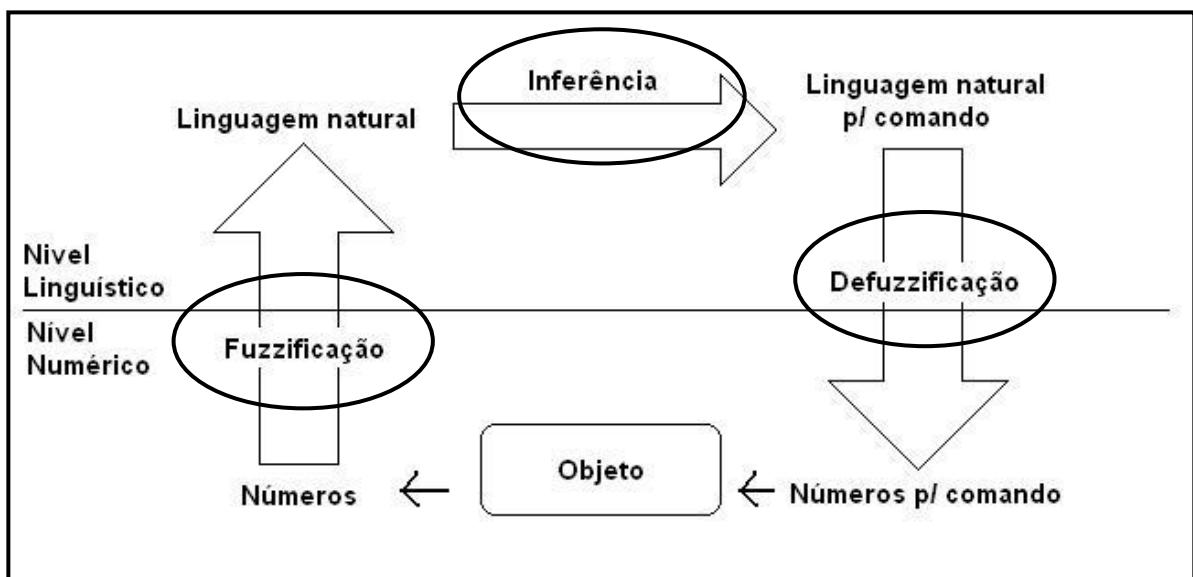
Conforme o mesmo autor, essas etapas permitem de forma conjunta, resolver situações problema.

- Fuzzificação: transforma um dado numérico em um termo em linguagem natural, transformando os dados de entrada iniciais em suas respectivas variáveis linguísticas relativas à imprecisão ou incerteza associada a essas variáveis.

- Inferência: através dela é feita a tomada de decisão, cuja finalidade é relacionar as possíveis variáveis entre si, através de regras pré-estabelecidas, cumprindo assim com os objetivos do algoritmo.
- Defuzzificação: é o contrário da fuzzificação, ao invés de transformar um dado quantitativo em um termo *Fuzzy*, transforma o dado *Fuzzy* em dado quantitativo, ou seja, é a tradução do resultado linguístico do processo de inferência *Fuzzy*, em um valor numérico.

A figura 05 apresenta uma sequência lógica do raciocínio *Fuzzy* que segue da fuzzificação para inferência até a defuzzificação, partindo de um nível numérico, passando por um nível linguístico que conclui por um dado quantitativo.

Figura 05 – Sequência lógica do raciocínio *Fuzzy*.



Fonte: Adaptado de Kohagura (2007).

Controlar processos com Lógica *Fuzzy* comparado com a lógica clássica, segundo Mollo (2007), oferece as seguintes vantagens:

- A Lógica *Fuzzy* pode ser utilizada em sistemas em que a modelagem matemática clássica não é suficiente. Em especial, em sistemas não lineares de difícil análise; sistemas *Fuzzy* são capazes de trabalhar com informações imprecisas e transformá-las em uma linguagem matemática de fácil implementação computacional (FERREIRA, 2009).
- A existência de um controlador *Fuzzy* que integra o conhecimento de especialistas na solução de problemas;
- O uso de montagens linguísticas de entendimento direto e de aplicação

objetiva pode representar variáveis contínuas, ou seja, trocar valores numéricos, como a grandeza velocidade, por parado, lento, rápido, muito rápido;

- Controladores *Fuzzy* recebem menos interferências do sistema, ou seja, são mais robustos;
- Questões complexas são controladas por regras simples, levando a uma fácil e rápida compreensão do projeto em questão.

Ortega (2001) define variável linguística como sendo uma variável, cujo valor é expresso qualitativamente por um termo linguístico (que fornece um conceito à variável) e quantitativamente por uma função de pertinência. Moré (2004) define como sendo variável cujo domínio, ou valores, são termos da linguagem referentes a certo contexto.

Uma variável linguística, diferentemente de uma variável numérica, admite apenas valores definidos na linguagem *Fuzzy* que se está utilizando. Por exemplo:

**João** é alto

A variável João está recebendo o atributo alto, que é um dos conjuntos *Fuzzy* definidos para essa variável.

A regra *Fuzzy* é uma técnica capaz de capturar algum conhecimento específico, e um conjunto de regras é capaz de descrever um sistema em suas várias possibilidades. Cada regra *Fuzzy*, da mesma forma que uma afirmação clássica, é composta por uma parte antecedente (a parte SE) e uma parte consequente (a parte ENTÃO), resultando em uma estrutura do tipo SE (antecedentes) e ENTÃO (consequentes). Os antecedentes descrevem uma condição (premissas), enquanto a parte consequente descreve uma conclusão ou uma ação que pode ser esboçada quando as premissas se verificam (ORTEGA, 2001).

Para isso, segundo Marro *et al.* (2010), esse raciocínio deve ser dividido em duas etapas: (1) avaliar o antecedente da regra e (2) aplicar o resultado no consequente. Por exemplo, considerando a sentença: se x é alto, então x é pesado.

A inferência baseada em regras *Fuzzy* pode também ser compreendida como um funcional que mapeia um conjunto de entradas do sistema para um conjunto de

saídas - como em um esquema de interpolação (JANÉ, 2004). Também pode ser considerada como um processo de avaliação de entradas com o objetivo de, através das regras previamente definidas e das entradas, obter conclusões utilizando-se a teoria de conjuntos *Fuzzy*, em que esse processo pode ser feito através de modelos de inferência, cuja escolha deve levar em consideração o tipo de problema a ser resolvido, obtendo-se assim um melhor processamento, por meio vários métodos de inferência como o Mamdani (MARRO *et al.*, 2010).

O Método de Mamdani na etapa de inferência, e o Método do Centro de Gravidade (Centroide), na etapa de defuzzificação utilizados nesta tese, apresentam-se como fatores determinantes do desenvolvimento desta pesquisa.

Os conjuntos *Fuzzy*, segundo Ortega (2001), são conjuntos que não possuem fronteiras bem definidas e foram introduzidos devido ao fato de os conjuntos clássicos apresentarem limitações para lidar com problemas em que as transições de uma classe para outra acontecem de forma suave. Sua definição, propriedades e operações são obtidas da generalização da teoria de conjuntos clássicos, recaindo em um caso particular da teoria de conjuntos *Fuzzy*.

Mollo (2007) ressalta que para eliminar essas limitações, existe uma graduação entre as duas extremidades - o conceito de vago, ou seja, quando um conjunto contém elementos parcialmente dentro e parcialmente fora do conjunto, modelos conhecidos como conjuntos *Fuzzy*, de onde surge à Lógica *Fuzzy* para a manipulação desses conjuntos difusos.

A Lógica *Fuzzy* baseada na teoria dos conjuntos *Fuzzy*, que é uma lógica representada por uma função em que  $A(x)$   $\mu$  representa o grau de pertinência com que o elemento  $x$  assume no conjunto  $A$ , conforme especificado na equação (1) (KLIR e YUAN, 1995).

Equação 01 - Pertinência de um elemento  $x$  de um conjunto  $A$  em um determinado universo  $U$

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x \in A \\ 0, & \text{se } x \notin A \end{cases} \quad (1)$$

De forma clássica, nos conjuntos, o elemento pode assumir somente dois valores de pertinência, em que o meio é excluído. Nos conjuntos *Fuzzy*, o intervalo de pertinência pode ser maleável, de modo que a transição entre pertinências é lenta em vez de rápida. A função característica dos conjuntos *Fuzzy* é dada pela equação (2) (TANAKA, 1997).

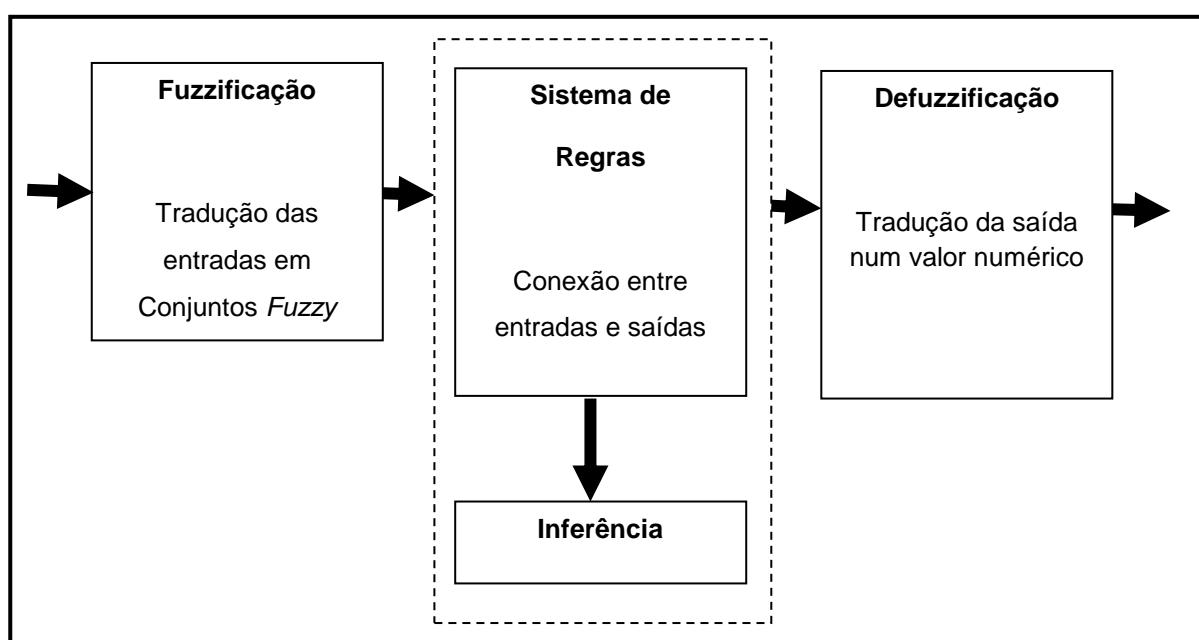
Equação 02 - A função característica dos conjuntos *Fuzzy*.

$$\mu_A(x) = [0, 1] \quad (2)$$

Dessa maneira, a Lógica *Fuzzy* modela as incertezas por meio do emprego de conjuntos *Fuzzy* e de um sistema de regras.

Um sistema *Fuzzy* como aquele constituído pela fuzzificação, que traduz as variáveis de entrada em conjuntos *Fuzzy*, pela inferência, que realiza o raciocínio *Fuzzy* com base num sistema de regras que relaciona as variáveis de entrada com as de saída, e pela defuzzificação, que é a tradução da saída num valor numérico – figura 06.

Figura 06 – Ilustração de um sistema *Fuzzy*.

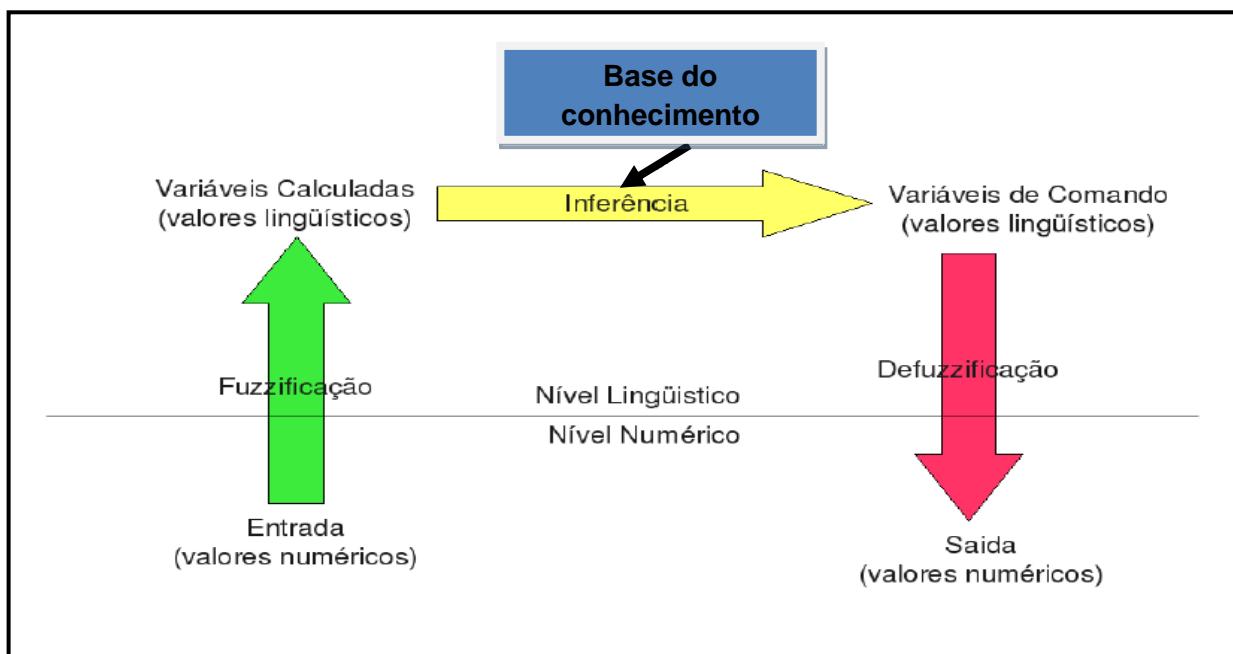


Fonte: Adaptado pelo autor de Ferreira (2009).

Segundo Tanaka (1997), um sistema de regras pode ser construído com base em banco de dados e opiniões de especialistas. Cada regra é composta por conectivos lógicos (SE, E, OU, ENTÃO) e pelas partes antecedente e consequente, por exemplo, SE  $x$  é A E  $y$  é B ENTÃO  $z$  é C, em que A, B e C são conjuntos *Fuzzy*,  $x$  e  $y$  são as variáveis de entrada,  $z$  é a variável de saída, SE  $x$  é A E  $y$  é B é a parte antecedente e, ENTÃO  $z$  é C, é a parte consequente.

O sistema *Fuzzy* também pode ser representado e fundamentado em regras, sequencialmente divididas em nível numérico e nível linguístico: entrada de valores numéricos; fuzzificação; variáveis calculadas (valores linguísticos); interferência alimentada pela base de conhecimento; variáveis de comando (valores linguísticos); defuzzificação; saída de valores numéricos, como na figura 07.

Figura 07 – Representação do sistema *Fuzzy* fundamentado por regras.



Fonte: Adaptado pelo autor de Hokama (2008).

O processo “fuzzificador” apresentado por Tanaka (1997) é baseado na conversão dos números reais em entradas de conjuntos *Fuzzy* e esse processo é chamado de “fuzzificação”. Sendo  $x$  o universo de discurso e  $x$  caracterizado pela função de pertinência  $\mu_A(x)$  que possui valores no intervalo  $iZ[0, 1]$ . Se existem conjuntos *Fuzzy* como  $A_1(x), A_2(x), \dots, A_m(x)$  com “m” funções de pertinência  $\mu_{A_i}(x)$ ,  $iZ 1, 2, \dots, m$ .

Para o mesmo autor, a base de conhecimento incorpora a base de dados e a base de regras. As funções de pertinência dos conjuntos *Fuzzy* estão contidas na base de dados. A base de regras é um conjunto de termos linguísticos no formato de regras SE-ENTÃO (IF\_THEN) com antecedentes e consequentes, respectivamente, conectados por operador lógico “E” (AND).

Em função do raciocínio *Fuzzy* e das regras SE-ENTÃO, a inferência aplicada nesta tese é um dos mais tradicionais sistemas de inferência *Fuzzy*: o método de Mamdani, que aborda em cada regra o operador lógico E (operador mínimo – intersecção) e agrupa as regras por meio do operador lógico OU (operador máximo – união).

Conforme Amendola (2005), em geral, um Sistema *Fuzzy* faz corresponder a cada entrada *Fuzzy* uma saída *Fuzzy*. No entanto, espera-se que a cada entrada *crisp* (um número real, ou par de números reais, ou n-números reais) faça corresponder uma saída *crisp*. Nesse caso, um sistema *Fuzzy* é uma função de  $R^n$  em  $R$ , construída de alguma maneira específica. Os módulos que seguem indicam a metodologia para a construção dessa função:

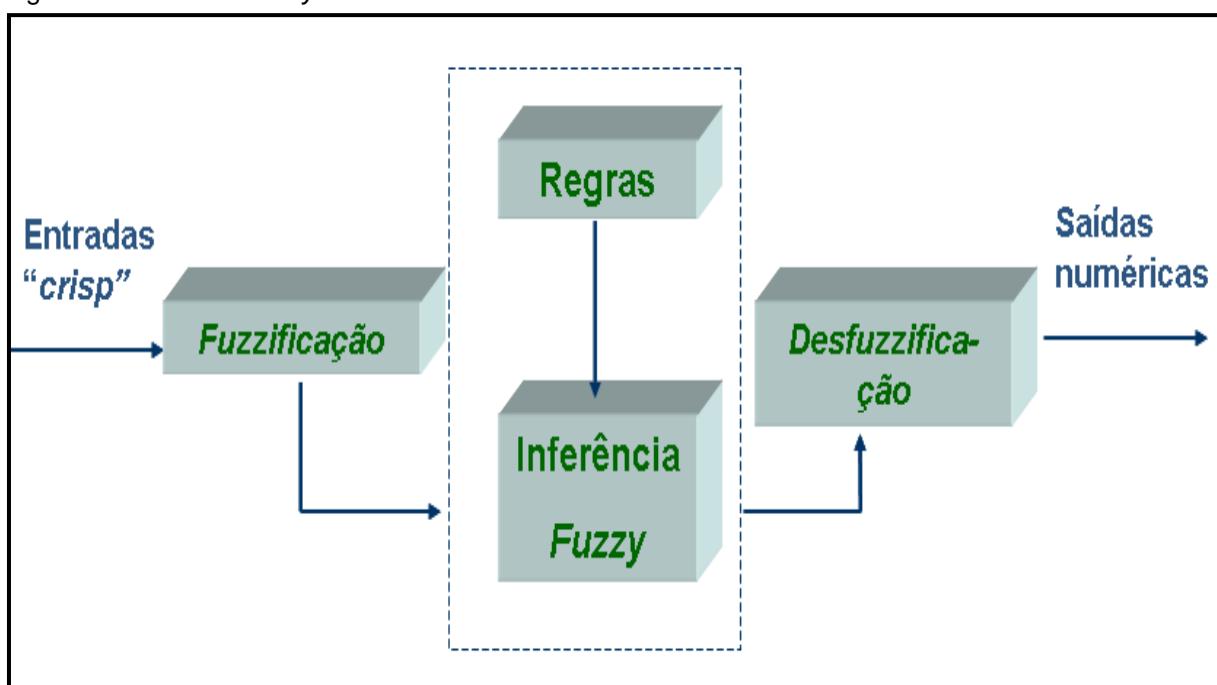
- Módulo de fuzzificação: é o que modela matematicamente a informação das variáveis de entrada por meio de conjuntos *Fuzzy*. É nesse módulo que se mostra a grande importância do especialista do processo a ser analisado, pois a cada variável de entrada devem ser atribuídos termos linguísticos que representam os estados dessa variável e, a cada termo linguístico deve ser associado um conjunto *Fuzzy* por uma função de pertinência;
- Módulo da base de regras: é o que constitui o núcleo do sistema. É nesse módulo onde “se guardam” as variáveis e suas classificações linguísticas;
- Módulo de inferência: é onde se definem quais são os conectivos lógicos usados para estabelecer a relação *Fuzzy* que modela a base de regras. É desse módulo que depende o sucesso do sistema *Fuzzy* já que fornecerá a saída (controle) *Fuzzy* a ser adotado pelo controlador a partir de cada entrada *Fuzzy*; e
- Módulo de defuzzificação: traduz o estado da variável de saída *Fuzzy* para um valor numérico. O processo defuzzificador transforma a saída

*Fuzzy* obtida com o uso do motor de inferência para um número real do domínio não-*Fuzzy* - esse processo é chamado de defuzzificação.

Segundo Nassar (2011), a defuzzificação é utilizada para fornecer um valor numérico de saída dos sistemas difusos, obtido a partir dos valores de pertinência ao conjunto *Fuzzy* de saída (figura 08).

O processo de defuzzificação é utilizado em sistemas *Fuzzy* de controle, em que são obtidos os valores de ajuste correspondentes às entradas do sistema.

Figura 08 - Sistema *Fuzzy*



Fonte: Nassar (2011)

Para aplicar um método de defuzzificação é necessário que a função de pertinência do conjunto de saída esteja matematicamente definida. O método utilizado na etapa de defuzzificação é o método do centro de gravidade (Centroide) compreendido como uma média ponderada, em que os pesos são representados por  $A(x_i)\mu$ , indicando o grau de pertinência do valor  $x_i$  com o conceito modelado pelo conjunto *Fuzzy* de saída  $A$ . O resultado da defuzzificação ( $Z_0$ ) pode ser encontrado de acordo com o tipo de conjunto *Fuzzy* de saída, podendo ser discreto ou contínuo, como é apresentado nas Equações 03 e 04 respectivamente (TANAKA, 1997).

Equações 03 e 04: Resultado da defuzzificação de acordo com o tipo de conjunto *Fuzzy* de saída.

$$Z_o = \frac{\sum_{i=0}^n \mu_A(x_i)x_i}{\sum_{i=0}^n \mu_A(x_i)} \quad (1)$$

$$Z_o = \frac{\int_R \mu_A(x)x dx}{\int_R \mu_A(x) dx} \quad (2)$$

Esse método de centro de área (COA-Cer) largamente utilizado, foi utilizado nesta pesquisa. exemplo (HEIN, 1998).

Area) por ser o mais guir é apresentado um

O exemplo da aplicação do método do centro de massa (Centroide) está na figura 09, onde o valor numérico obtido representa o centro de gravidade da distribuição de possibilidade de saída do sistema *Fuzzy*. Os passos básicos utilizados para a defuzzificação utilizando o método do centro de massa são:

- a.** Determinar a abscissa do ponto centroide para cada saída ativada na inferência;
- b.** Calcular a área entre o grau de pertinência e o eixo x para cada saída ativada;
- c.** Calcular a média ponderada dos pontos centroides pelas respectivas áreas.

O cálculo é descrito a seguir:

Adolescente:

- a.** No eixo x o centroide é: ponto A = 12.5
- b.** Para calcular a área do trapézio é necessário encontrar a base menor. Então para o grau de pertinência 0.6 encontram-se os pontos (8;0.6) e (17;0.6) nas respectivas funções de pertinência. Logo a base menor

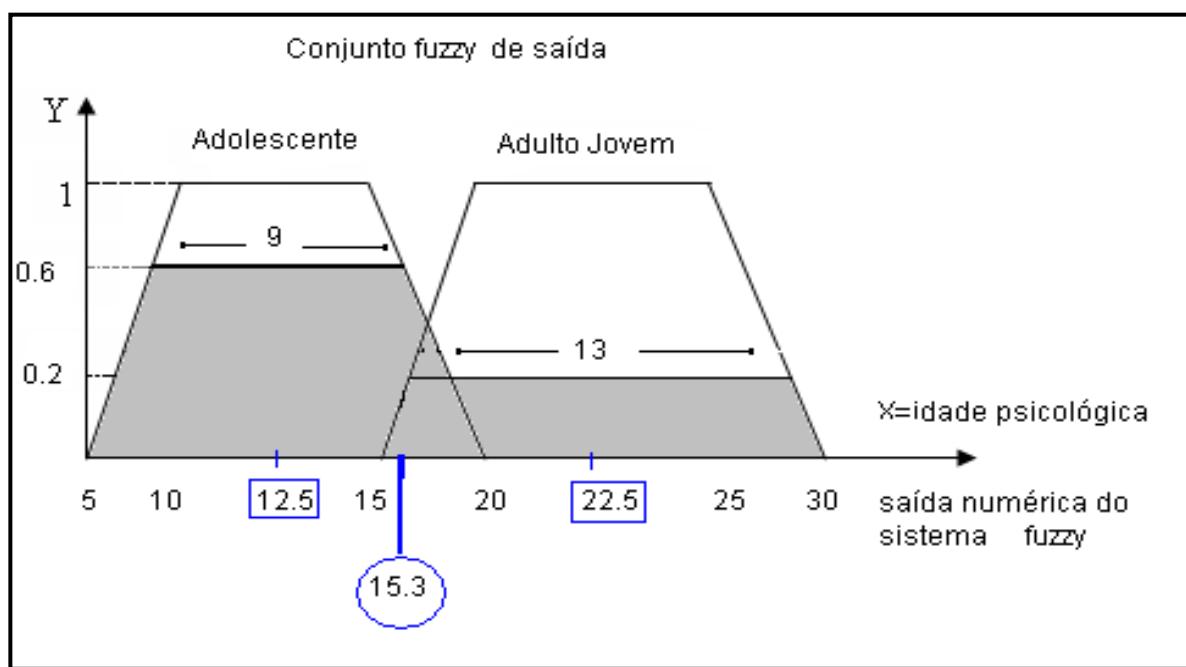
tem tamanho igual a 9 e a base maior é igual a 15. Dessa forma a área resulta em: área A =  $0.6 \cdot (9+15)/2 = 7.2$

Adulto Jovem:

- No eixo x o centroide é: ponto B = 22.5
- Para calcular a área do trapézio é necessário encontrar a base menor. Então para o grau de pertinência 0.2 encontram-se os pontos (16;0.2) e (29;0.2) nas respectivas funções de pertinência. Logo a base menor tem tamanho igual a 13 e a base maior é igual a 15. Dessa forma a área resulta em: área B =  $0.2 \cdot (13+15)/2 = 2.8$

$$\text{Média ponderada} = [12.5 \cdot (7.2) + 22.5 \cdot (2.8)] / (7.2 + 2.8) = 15.3$$

Figura 09 – Exemplo de defuzzificação utilizando o método do centro de massa.



Fonte: Hein (1998).

Após o exemplo de defuzzificação apresentado, cabe exibir o método de inferência Mamdani, que segundo Mollo (2007), tem seus controladores *Fuzzy* com objetivo em descrever o controle  $u$  para cada entrada  $x$  de acordo com a base de regras. O que se pretende é determinar uma relação matemática entre  $x \in X$  e um controle “razoável”  $u \in U$  para cada  $x$  a partir da base de regras. Para modelar matematicamente a base de regras, propõe-se uma relação *Fuzzy* binária  $M$  entre as entradas  $x$  e as saídas  $u$ , cuja função de pertinência está descrita como segue:

- Em cada uma das regras da base de regras *Fuzzy*, adota-se o operador matemático mínimo para o conectivo lógico “e”. Adota-se o máximo para o conectivo lógico “ou” para conectar as regras *Fuzzy* da base de regras.
- As sentenças “se ...então ...” são modeladas pela aplicação mínimo (não é uma implicação *Fuzzy*).

Formalmente, a relação *Fuzzy*  $M$  é o subconjunto *Fuzzy*  $x, u$  cuja função de pertinência é dada pela equação 05:

Equação 05 - Função de pertinência da relação *Fuzzy M*

$$\varphi_M(x, u) = \max_{1 \leq j \leq n} \{\min[\varphi_{A_j}(x), \varphi_{B_j}(u)]\} \quad (5)$$

Quando  $n$  é o numero de regras que compõem a base de regras, e  $\varphi_{A_j}(x)$  e  $\varphi_{B_j}(u)$  são os graus com que  $x$  e  $u$  pertencem aos conjuntos *Fuzzy*  $A_j$  e  $B_j$ , respectivamente, para detalhar a relação *Fuzzy M* de duas entradas e uma saída, a equação 06 é representada para cada terna  $(x_1, x_2, u)$ :

Equação 06 - Relação *Fuzzy M* de duas entradas e uma saída.

**R1 : Se  $x_1$  é  $A_1^1$  e  $x_2$  é  $A_2^1$  então  $u$  é  $B_1$**

**R2 : Se  $x_1$  é  $A_1^2$  e  $x_2$  é  $A_2^2$  então  $u$  é  $B_2$**

(6)

Para um par de entradas  $x_1 = \overline{x_1}$  e  $x_2 = \overline{x_2}$ , o conjunto *Fuzzy* de saída, representando o controle a ser adotado para esse par, é dado pela função de pertinência da equação 07a:

Equação 07 (a) - Conjunto *Fuzzy* de saída representando o controle a ser adotado para um par de entradas.

$$\varphi_B(u) = \max_{(x_1, x_2)} \{\min[\varphi_M(x_1, x_2, u), x_{\{\overline{x_1}\}}(x_1), x_{\{\overline{x_2}\}}(x_2)]\} \quad (7a)$$

O conjunto *Fuzzy* de saída representando o controle a ser adotado para um par de entradas é apresentado na equação 07 b:

Equação 07 (b) - Conjunto *Fuzzy* de saída representando o controle a ser adotado para um par de entradas.

(7b)

$$\begin{aligned}\varphi_B(u) &= \max_{(x_1, x_2)} \{ \min \{ \varphi_M(x_1, x_2, u), x_{\{\bar{x}_1\}}(x_1), x_{\{\bar{x}_2\}}(x_2) \} \} \\ &= \max \{ \min \{ \varphi_M(x_1, x_2, u), x_{\{\bar{x}_1\}}(x_1), x_{\{\bar{x}_2\}}(x_2) \} \} \\ &= \varphi_M(\bar{x}_1, \bar{x}_2, u)\end{aligned}$$

Em que,  $x_{\{\bar{x}_1\}}(x_1) = \begin{cases} 1 & \text{se } x_1 = \bar{x}_1 \\ 0 & \text{se } x_1 \neq \bar{x}_1 \end{cases}$  e  $x_{\{\bar{x}_2\}}(x_2) = \begin{cases} 1 & \text{se } x_2 = \bar{x}_2 \\ 0 & \text{se } x_2 \neq \bar{x}_2 \end{cases}$ , são as funções características de  $\{\bar{x}_1\}$  e  $\{\bar{x}_2\}$ , respectivamente.

Segundo Amendola (2005) um conjunto *Fuzzy* é caracterizado por uma função de pertinência que assume valores dentro do intervalo [0,1]. Enquanto na teoria de conjuntos clássica, a função de pertinência assume apenas os valores zero indicando que o elemento não pertence ao conjunto, ou um indicando que o elemento pertence ao conjunto, na teoria de conjuntos *Fuzzy*, os elementos podem estar associados a graus de pertinência entre zero e um indicando que os mesmos podem pertencer parcialmente a um conjunto.

A princípio, qualquer função que associe valores entre zero e um a elementos de um dado conjunto, pode ser tomada como função de pertinência. Entretanto, na escolha de tais funções, deve-se levar em conta o contexto em que serão utilizadas na representação das variáveis linguísticas. Tanto o número quanto o formato das funções de pertinência devem ser escolhidos de acordo com o conhecimento sobre o processo que se quer estudar.

Para a solução de problemas, segundo Mollo (2007), um algoritmo com uma sequência de instruções e as propriedades que seguem:

- Garantia de término: o problema possui condições definidas que, ao serem atendidas, a execução do algoritmo é encerrada e o problema resolvido;
- Exatidão: o escopo de cada instrução no algoritmo deve ser bem claro,

para que não haja dúvida na interpretação do escopo;

- Efetividade: cada instrução deve ser simples o suficiente para ser efetuada.

O algoritmo pode ser implementado por programas de computadores. Sua execução é denominada processamento de dados e consiste de três partes: uma entrada, um processo e uma saída.

A entrada é um conjunto de informações que é requisitada para que as instruções do algoritmo possam ser executadas. O processo é a sequência de instruções que compõe o algoritmo. A saída é o resultado obtido com a execução do processo para a entrada fornecida.

O algoritmo utilizado nesta tese, no sistema de inferência *Fuzzy*, foi o método de Mamdani, com base na construção matemática proposta por Ribacionka (1999), que propõe as seguintes regras:

- Definir as variáveis de entrada e as de saída que compõem o sistema;
- Identificar conjuntos *Fuzzy* (funções de pertinências) que retratam conceitos vagos ou imprecisos;
- Em função do conhecimento do especialista, definir correspondências de faixas de valores das variáveis associadas às classificações estabelecidas;
- Elaborar uma matriz com todas as combinações possíveis para as variáveis;
- Um conjunto *Fuzzy* de saída deve ser gerado, e todas as proposições consideradas verdadeiras, através do método de Mamdani, sobre o qual se pode aplicar um método de defuzzificação, para se obter um valor numérico que melhor a represente;
- Para cada uma das proposições acima apresentadas, deve-se obter a representação dos valores *Fuzzy*, e as respectivas saídas *Fuzzy* de cada uma delas – o *MatLab®* é o sistema especialista que gera esses valores;
- Definir os valores de pertinência para a função ou proposições;
- Fazer a defuzzificação das proposições e selecionar o método apropriado para defuzzificação (centroide, pelo método centro–da–área Co-A).

O desenvolvimento do algoritmo foi implementado com o uso do *software* matemático *MatLab®* 6.1, na função acessória *Fuzzy Logic Toolbox* que segundo Amendola (2005), é um *software* científico, apropriado para este trabalho científico.

Como exemplo, tem-se o algoritmo de Euclides, que calcula o máximo divisor comum (MDC) de dois números inteiros positivos como mostra a equação 08.

Equação 08 - Algoritmo de Euclides

$$\text{mdc}(x, y) = \text{mdc}(y, x \bmod y); \text{mdc}(x, 0) = x \quad (8)$$

Em que:

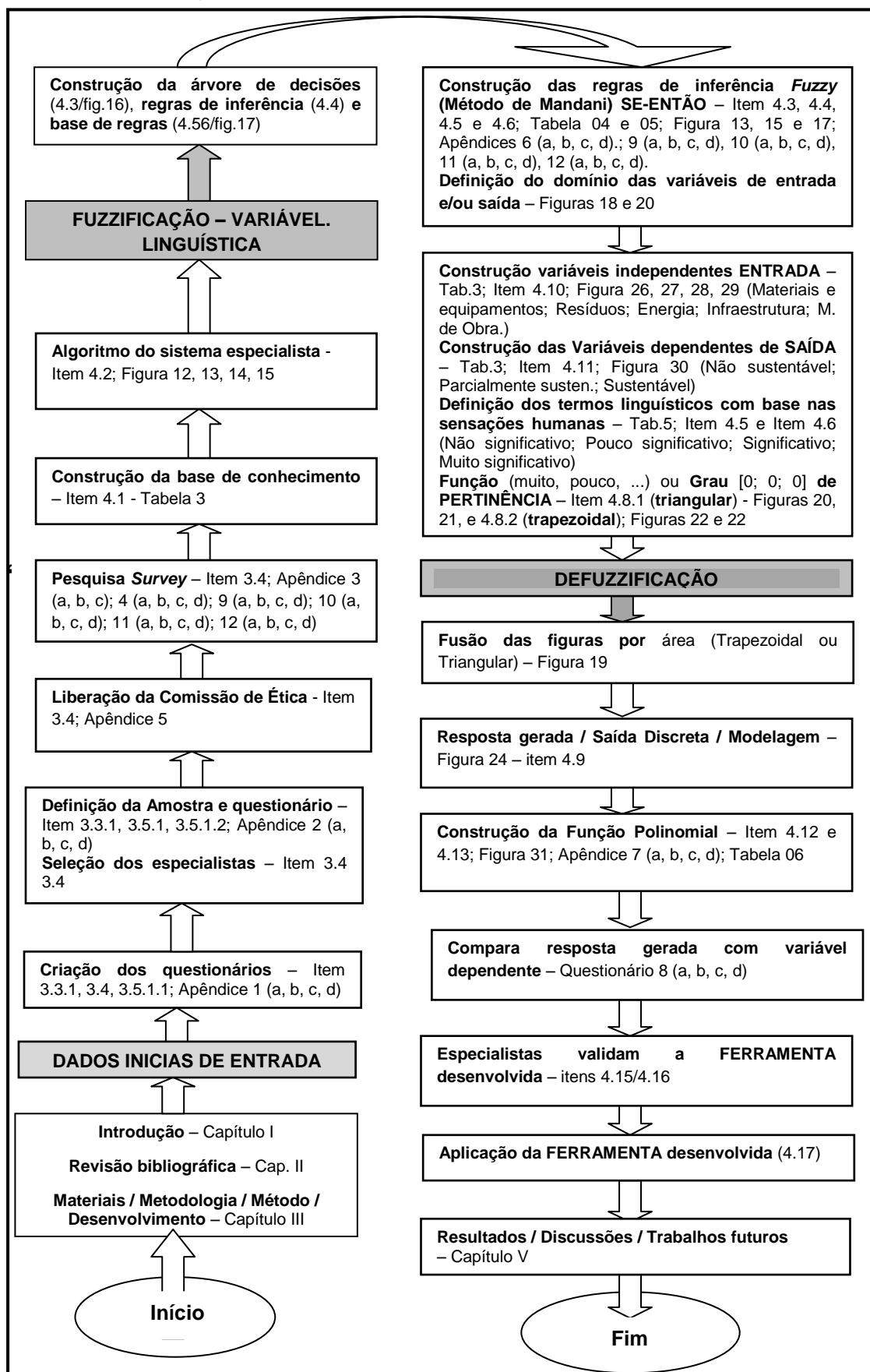
- Entrada: 2 valores inteiros positivos m e n ( $m > n$ )
- Saída: máximo divisor comum de m e n.

A implementação do algoritmo é apresentada abaixo:

Passo 1: Adote  $x = m$  e  $y = n$ ;  
 Passo 2: Adote  $r = (\text{resto de } x \text{ dividido por } y)$ ;  
 Passo 3: Adote novos valores  $x = y$  e  $y = r$ ;  
 Passo 4: Se  $r$  é diferente de 0, volte ao passo 2; senão pare com a resposta  $x$ .

A partir da teoria *Fuzzy* acima, o Fluxograma 01 representa a sequência básica do desenvolvimento desta tese, desde a introdução até a validação por especialistas, da base de dados desenvolvida.

Fluxograma 01 - Sequência básica do desenvolvimento desta tese.



Fonte: Autor desta tese.

### 3.2 Metodologia

Neste item apresenta-se o embasamento teórico da estruturação do método utilizado no desenvolvimento desta tese.

Bressan (2000) considera a análise qualitativa vista mais como um recurso pedagógico ou como uma maneira para se gerar insights exploratórios, do que um método de pesquisa propriamente dito, que segundo o mesmo autor, a pessoalidade inserida nesse tipo de análise, está em atender a investigação de temas que fazem parte da vida do pesquisador. Trabalho autônomo, por ter o esforço do próprio pesquisador. Ser criativo por não mais ser um aprendizado somente pessoal, e sim uma colaboração com o desenvolvimento da ciência. Rigoroso por exigir logicidade e competência do pesquisador.

Além dessas características qualitativas, segundo Volpato (2010), este trabalho de pesquisa científica apresenta-se sólido em sua busca literária, vistoso em sua apresentação e importante por solucionar questões relevantes.

O caráter qualitativo deste trabalho deve-se a esse tipo de abordagem ter ênfase na perspectiva do indivíduo pesquisado e foco nos processos em estudo.

Esta pesquisa, conforme Cauchick (2010) tem seu planejamento classificado como categoria observacional, sem a intervenção do pesquisador, na prospectiva da obtenção de dados futuros. É amostral, em seu tipo de levantamento em que os objetivos e a população amostrada são bem definidos. O plano amostral é do tipo não probabilístico e a inferência do pesquisador nos resultados obtidos é limitada.

Segundo o mesmo autor, há métodos de pesquisa como os apresentados a seguir, dos quais, esta tese utilizou o levantamento tipo *survey*, por ser o método de levantamento de dados mais apropriado às necessidades e objetivos propostos.

O levantamento tipo *survey* tem como característica o uso de instrumento de coleta de dados único (em geral um questionário), aplicado a amostras do grau de tamanho, com o uso de técnicas de amostragem e análise de inferência com ferramenta apropriada.

A simulação se vale de técnicas computacionais para simular o funcionamento de sistemas produtivos a partir de modelos matemáticos.

Estudo de campo é outro método de pesquisa sem estruturação formal metodológica.

O estudo da relação causal entre duas variáveis controladas é o método experimento. Finalmente, o método teórico / conceitual, que se atem a discussões conceituais a partir de uma literatura consagrada.

Para o levantamento do tipo *survey* foi necessário que as considerações finais dos fenômenos fossem bem descriptivas como em qualquer outra abordagem metodológica (CAUCHICK, 2010).

A atividade pesquisa junto aos atores envolvidos com o tema previu a aplicação de questionário estruturado a especialistas, via Internet com o uso do sistema *SurveyMonkey®* (2012.a).

Como o tema é bastante abrangente, tornou-se necessário seu esclarecimento e delimitação que, exigiu uma revisão da literatura, discussão com especialistas dentre outros procedimentos.

A figura 10 descreve em modo de fluxo a estruturação do método utilizado no desenvolvimento desta tese, em que os termos grafados em **azul** são os aplicados nesta pesquisa e os em preto, os não aplicáveis. Essa sequência está distribuída ao longo de todo este capítulo III e capítulo IV.

Figura 10 - Estruturação do método utilizado no desenvolvimento da tese.

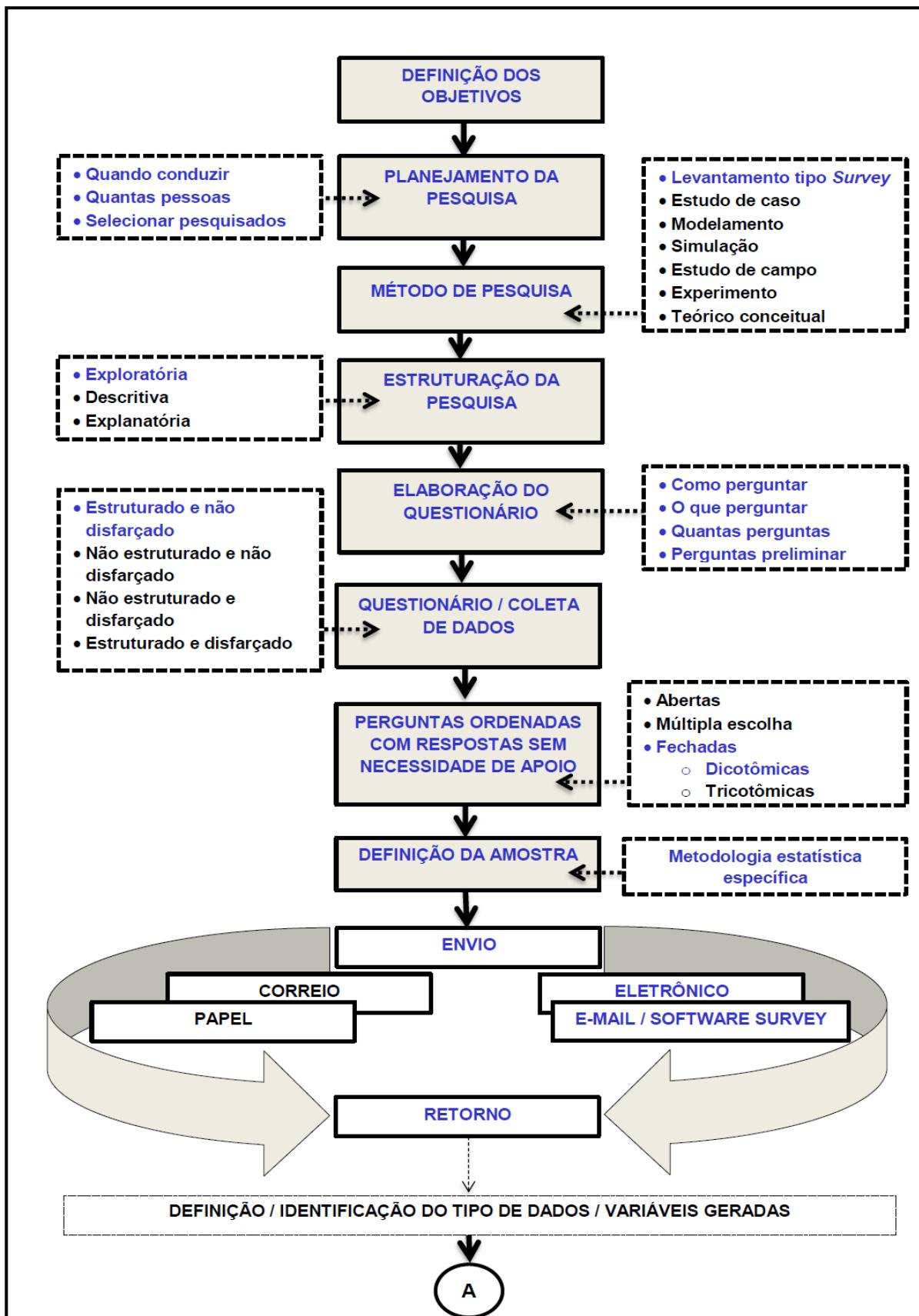
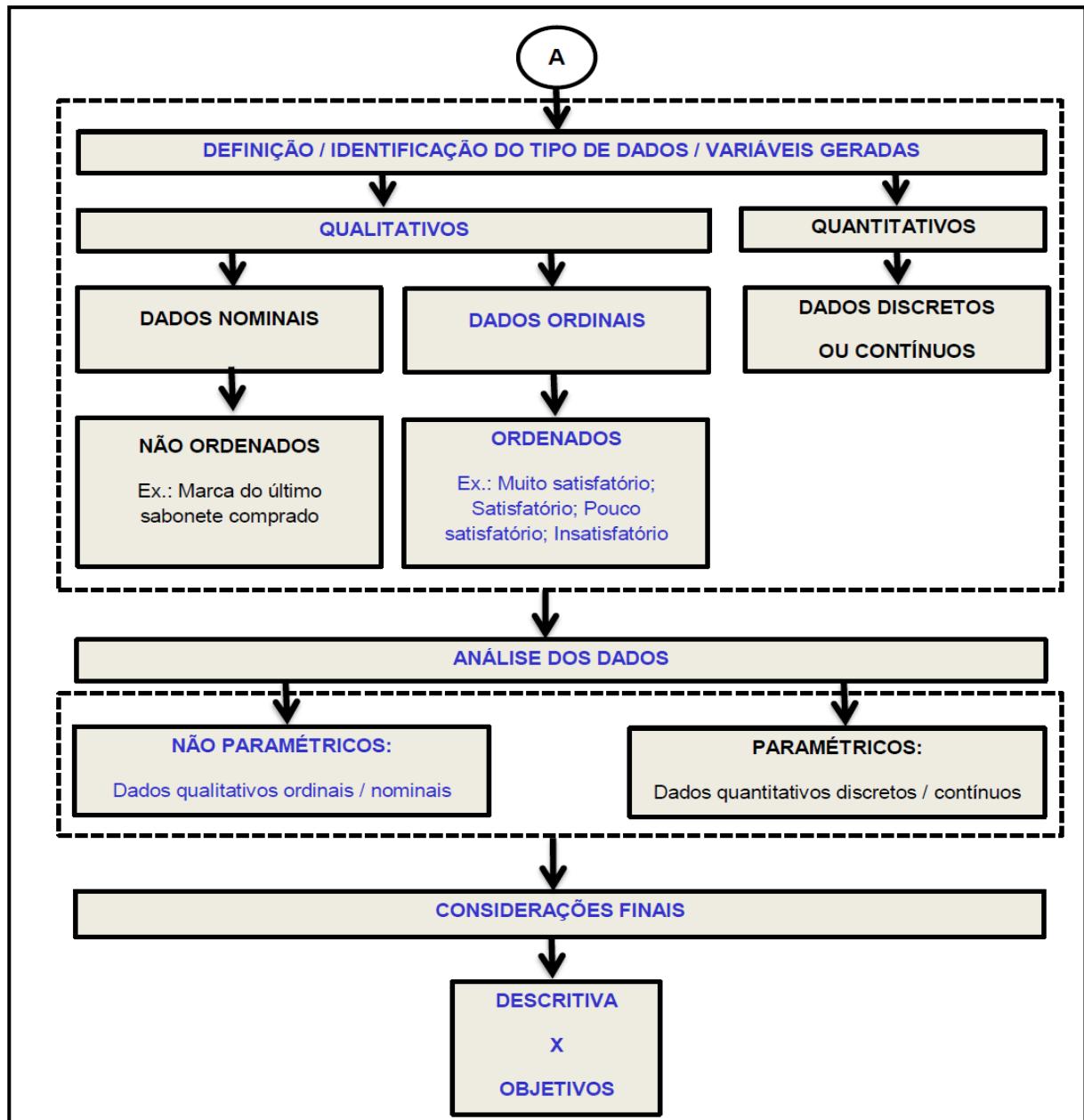


Figura 10 (continuação) - Estruturação do método utilizado no desenvolvimento da tese.



Fonte: Adaptado de Cauchick (2010).

### 3.3 Método

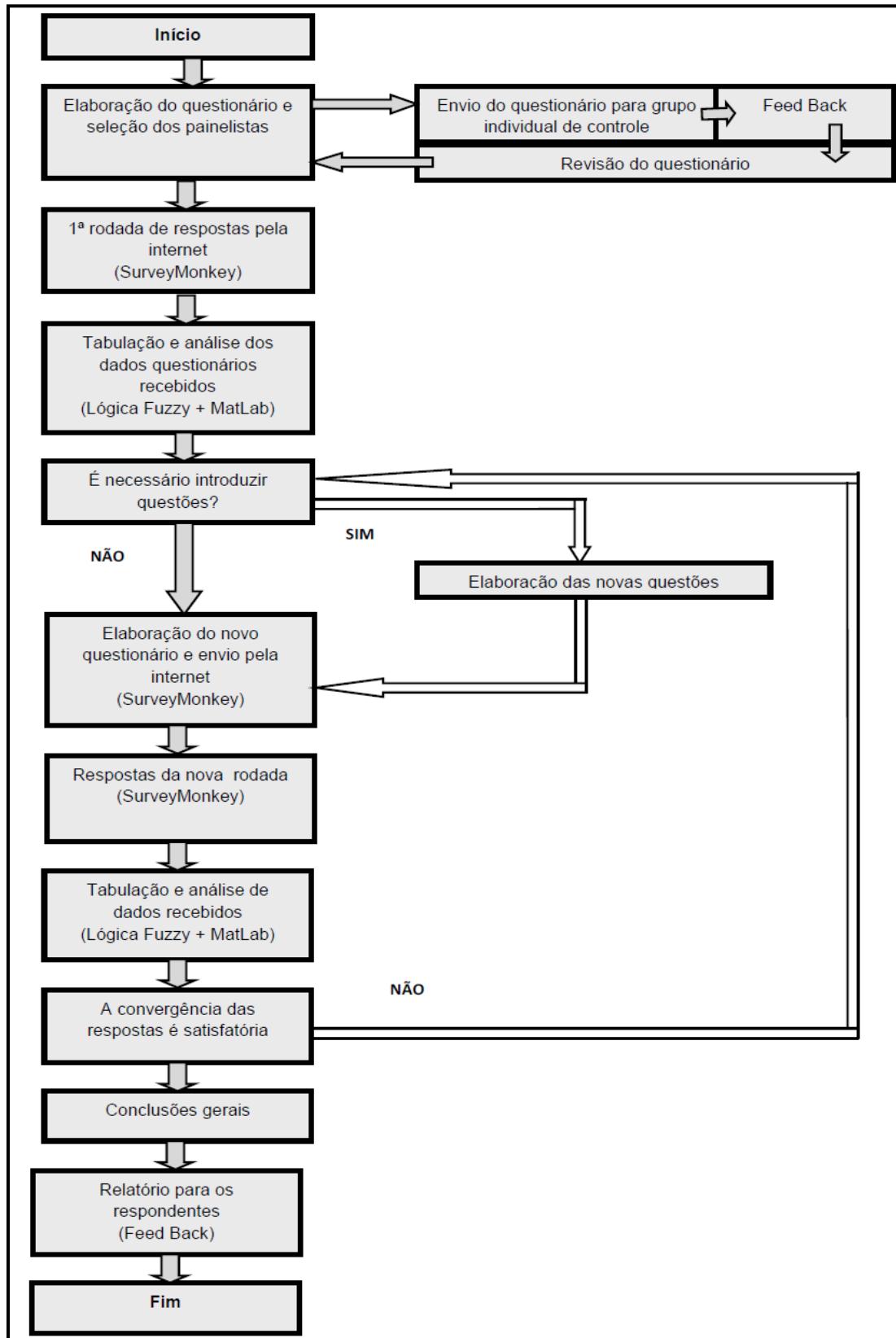
A escolha do método levantamento tipo *survey* para esta tese está na necessidade de um exame detalhado de um grande número de ocorrências concretas e específicas, selecionadas como representativas de um grupo relevante de ocorrências. O método utilizado permite uma verificação completa das variáveis escolhidas, não permitindo a generalização plena de seus resultados e conclusões para toda a Indústria da construção civil. Em função dos objetivos propostos, o método - levantamento tipo *survey* - é o adequado.

A presente tese valeu-se da ferramenta de questionários *SurveyMonkey®* (2012.a), que coleta entre os atores envolvidos com o tema, respostas objetivas a perguntas elaboradas conforme estudo bibliográfico previamente elaborado.

O método de comparação entre edificações habitacionais populares, para esta tese, prevê um universo que se inicia na concepção do projeto e termina na entrega da obra ao consumidor final. Inclui a fase de demolição, valendo-se de teoria denominada Lógica *Fuzzy* que, se utilizada em conjunto com o software *MatLab®* e, posteriormente, com o software *Microsoft Excel®*, indica resultados quantitativos, que validam a conclusão apresentada.

Em um primeiro momento, antes da decisão de se utilizar a Lógica *Fuzzy*, tentou-se utilizar o método *Delphi-Web* (figura 11), que segundo Giovinazzo (2006), tem por princípio a aplicação de diversas rodadas de questionários estruturados a especialistas, via Internet, entrevistas em campo por meio de questionário não estruturado, na tentativa de observar a existência de convergência das opiniões. Porém, em função da grande quantidade de variáveis de entrada e saída que foram surgindo ao longo da fase preliminar desta pesquisa, optou-se por uma ferramenta mais “robusta”. Entendeu-se que a Lógica *Fuzzy* seria a melhor aplicável no desenvolvimento desta tese.

Figura 11 - Sequência básica de atividades envolvidas na execução da técnica Delphi-Web



Fonte: Adaptado de Giovanizzo (2006).

A Lógica *Fuzzy* foi então aplicada nesta pesquisa por dar suporte à decisão como uma ferramenta fundamentada na dualidade, ao estabelecer dois eventos opostos coexistindo. Ou seja, um fato pode pertencer, em certo grau, a um conjunto e, em outro grau, a outro conjunto.

Foi usado o *MATLAB®*, no módulo *Fuzzy Logic Toolbox*, na tratativa das classes de problemas científicos existentes nesta pesquisa. No *Fuzzy Logic Toolbox* estão disponibilizados arquivos e funções destinados ao uso da teoria *Fuzzy*.

No desenvolvimento do sistema especialista, os passos que foram seguidos em sua criação, são descritos abaixo em ordem cronológica crescente:

### **1. Especificar o problema e definir as variáveis linguísticas**

O primeiro passo na construção do sistema especialista foi a especificação do problema, ou seja, definir as variáveis de entrada e de saída, assim como seus respectivos intervalos de valores.

### **2. Definir os conjuntos *Fuzzy***

O segundo passo foi definir os conceitos, materializando em conjuntos *Fuzzy*. Os conjuntos *Fuzzy* podem ter uma variedade de formas, entretanto, a forma triangular e trapezoidal foram as utilizadas nesta tese por simplificarem o processo computacional.

### **3. Construir as regras *Fuzzy***

Para construir as regras *Fuzzy* relacionadas ao problema, foi preciso adquirir o conhecimento de especialistas dos setores específicos através de questionários, no intuito de descrever como o problema pode ser resolvido.

### **4. Codificar os conjuntos e regras *Fuzzy* e os procedimentos para realizar a inferência no sistema**

Para codificar os conjuntos e as regras *Fuzzy* da base de conhecimento, foi implementado o sistema especialista em si com o uso da ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox* do software *MatLab®*.

### **5. Avaliar e melhorar o sistema**

Verificou-se se o sistema atende aos requisitos especificados inicialmente, avaliando a necessidade de possíveis melhorias, com uma aplicação do sistema finalizado, junto a um pequeno grupo de especialistas. Nessa fase, a opinião do especialista foi importante, pois puderam validar o sistema.

### 3.3.1 Definição da amostra e do questionário - pesquisa *survey*

A natureza desta pesquisa de avaliação é baseada em *survey*, que tem como objetivo a contribuição para o conhecimento da área de estudo, por meio da coleta de dados sobre os ambientes / processos em que os indivíduos pesquisados estão inseridos. Dados sobre o fenômeno investigado.

Segundo Forza (2002), uma *survey* varia em tipos exploratório e descritivo. Para esta tese, utilizou-se o tipo exploratório, que deve ser aplicado no início da pesquisa, com o objetivo de obter uma base de dados detalhada.

Eleitos os casos de estudo, ou seja, projeto, construção e manutenção, habitação e demolição, com base na teoria apresentada nos capítulos anteriores, quatro questionários distintos (apêndices 1a, 1b, 1c e 1d) foram elaborados.

A definição do número mínimo de respostas necessárias para cada questionário está apresentada na equação 09, embasada na teoria de Couto Júnior (2009) e demonstrada nos apêndices 2a, 2b, 2c e 2d.

Os questionários do apêndice 1 (a, b, c e d) foram enviados para um total de 1780 engenheiros (construção civil, sustentabilidade, qualidade, inovação tecnológica) e arquitetos (área de habitações) dos setores pesquisados, sendo o método de determinação do tamanho da amostra baseado em Couto Júnior (2009).

Após os cálculos, que serão apresentados abaixo e detalhados nos apêndices 2a, 2b, 2c e 2d, chegou-se a um mínimo necessário do espaço amostral de 152 respostas válidas para projeto, 128 respostas válidas para construção e manutenção, 88 respostas válidas para habitação e 88 respostas válidas para demolição.

O *software* de pesquisa utilizado possibilitou o acompanhamento em tempo real, ou seja, diariamente, a evolução do número de respostas mínimas necessárias. No 23º dia, ao atingir os números mínimos necessários, optou-se em finalizar a

pesquisa junto aos respondentes. No quadro 13, é apresentado um resumo quantitativo.

Quadro 13 – Resumo quantitativo dos questionários enviados e respondidos por setor pesquisado.

<b>Total de questionários enviados:</b>	<b>1780</b>	
<b>Total de questionários respondidos:</b>	<b>467</b>	
<b>Setores pesquisados</b>	Nº mínimo de respostas	Nº mínimo respondidos
<b>Projetos</b>	<b>152</b>	<b>155</b>
<b>Construção e manutenção</b>	<b>128</b>	<b>130</b>
<b>Habitação</b>	<b>88</b>	<b>93</b>
<b>Demolição</b>	<b>88</b>	<b>89</b>

No questionário aplicado para esta pesquisa optou-se por incluir uma questão aberta, permitindo resposta livre, e as demais perguntas fechadas, que limitaram a escolha dos respondentes às respostas objetivas, sendo 20 itens para projetos, 17 itens para construção e manutenção, 12 itens para habitação e 12 itens para demolição.

Como proposto por Wright (2003), um modelo de cada questionário preliminar, foi submetido a um grupo inicial de especialistas, denominada fase de controle. Após as considerações desses especialistas, os questionários foram finalizados (apêndices 1a, 1b, 1c e 1d).

Para facilitar o preenchimento do questionário por parte dos pesquisados, valeu-se da ferramenta de pesquisa *on-line* denominada *SurveyMonkey®* (2012.a), que permite ao respondente preenchê-lo a partir de qualquer computador com acesso à internet.

A seguir, apresenta-se como exemplo, a fórmula de cálculo do tamanho da amostra, conforme proposto por Couto Júnior (2009).

Equação 09 - Cálculo de tamanho da amostra

$$n = \frac{\left(\frac{C^E}{2}\right) - \sum_{i=1}^k \left(\frac{C_i^E}{2}\right)}{\sum_{i=1}^k C_i^O} \quad (9)$$

Onde:

$C^E$  – número de categorias efetivas do instrumento de coleta

$C_i^E$  – número de categorias efetivas do  $i$ -nésimo item

$k$  – número de itens do instrumento de coleta

$C_i^O$  – número de categorias originais do  $i$ -nésimo item

O detalhamento dos cálculos está descrito no item 3.5 (Desenvolvimento matemático da tese).

### 3.4 Instrumento de coleta de dados – questionário

Segundo Mattar (1996), os questionários podem ser estruturados e não disfarçados, não estruturados e não disfarçados, não estruturados e disfarçados, estruturados e disfarçados. Para esta tese, os questionários utilizados são estruturados e não disfarçados, caracterizados por um menor uso de questões abertas e de múltipla escolha, e os respondentes sabem os objetivos da pesquisa. Optou-se por perguntas fechadas e dicotômicas.

O envio e retorno da pesquisa podem ser pelos correios ou de forma eletrônica (*e-mail*) utilizando um software específico ou programa como o *Microsoft Word®/Excel®*. Esta tese utilizou a forma eletrônica com o uso do software especialista *SurveyMonkey®*.

Os questionários disponibilizados em um site de pesquisas – licenciado - *SurveyMonkey®* (2012.a), foram encaminhados para uma base de dados para a tabulação das informações em forma de tabelas e gráficos (apêndices 3a, 3b e 3c).

O questionário eletrônico no *SurveyMonkey®* (2012.a) facilita aos respondentes, declinar de responder, remetendo-o a uma pagina de agradecimentos (apêndices 3a, 3b e 3c).

O *SurveyMonkey®* (2012.b) garante o anonimato dos respondentes. Essa garantia consta da política de privacidade emitida quando da assinatura desse

produto. Outra garantia que esta ferramenta estabelece é a impossibilidade de um computador responder mais de uma vez o mesmo questionário.

A seleção dos respondentes especialistas das áreas de projetos, construção e manutenção, habitação e demolição, estão no uso da rede social denominada *linkedin* de que o autor desta tese é membro de grupos voltados para questões relacionadas à construção civil, sustentabilidade, qualidade, inovação tecnológica, dentre outros.

Todos os respondentes estão cadastrados de livre e espontânea vontade nesses grupos específicos, em que apresentam seus endereços eletrônicos para troca de informações e experiências entre especialistas.

Os grupos de especialistas que foram consultados pertencem a empresas/setores apresentados a seguir:

- Negócios de construção - Brazil;
- Arquitetura, Engenharia e Construção civil - Carreira e Oportunidades;
- Engenharia Brasil;
- Camargo Correa S/A – Empreendimentos Imobiliários;
- Construção Brasil;
- Construção civil - Reformas, Projetos e Manutenção Predial;
- Construção civil e Investimento Imobiliário;
- Construção civil e Sustentabilidade;
- Construção civil Pesada e Infraestrutura;
- Construção sustentável;
- Engenharia Brasil;
- Engenharia Brazil;
- Engenharia civil - Brasil;
- Engenharia civil - UFPR;
- Eng. Civis Subgrupo, Escola Politécnica - USP;
- Gestão da Construção de Empreendimentos ou Obras;
- Gestão da Qualidade - construção civil;
- Gestão de Projetos e Obras da construção civil;
- Gestão Inovadora na construção civil;
- Gestão pela Qualidade Total da construção civil;
- IST - Engenharia civil;
- Odebrecht Engenharia e construção;
- POLI USP - Engenharia civil;
- Profissionais da construção civil;
- Arquitetura, Construção civil & Urbanização;
- PUCC construção civil;
- Qualidade e Gestão da construção civil;
- Reciclagem de construção civil;
- RGR Assessoria em Compras para construção civil;
- Segurança do Trabalho da construção civil;
- Setor de Compras da construção civil;
- Sustentabilidade Brasil;
- Engenharia de Demolição.

**Nota:** De acordo com as Normas e Diretrizes Regulamentadoras da Pesquisa Envolvendo Seres Humanos CNS 196/96, II.4 – Ministério da Saúde, esta pesquisa foi submetida e aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) – UNIP sob CAAE (Certificado de Apresentação para Apreciação Ética) de número 03480612.6.0000.5512 em 24/07/2012. Após esta aprovação as etapas de envio dos questionários acima descritas foram efetivadas - apêndice 5.

### **3.5 Recursos matemático da tese**

3.5.1 Cálculo do número de respondentes por categorias (projeto, construção e manutenção, habitação e demolição)

#### **3.5.1.1 Definição das categorias**

Com base na pesquisa bibliográfica, considerou-se que os setores a serem estudados são os de PROJETO, CONSTRUÇÃO e MANUTENÇÃO, HABITAÇÃO e DEMOLIÇÃO dos empreendimentos habitacionais populares.

#### **3.5.1.2 Definição das amostras**

A escolha da característica da população pesquisada foi importante para a delimitação do foco da pesquisa, e da validação do estudo e de sua continuidade em trabalhos futuros. A definição do tamanho da amostra e a qualificação da população pesquisada permitiu caracterizar os dados pesquisados.

O método de cálculo das categorias originais do instrumento de coleta está apresentado a seguir, iniciando pela tabela 02, conforme Couto Júnior (2009).

Optou-se em demonstrar, a seguir, a definição da amostra para a área PROJETO, e as áreas CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO, HABITAÇÃO e DEMOLIÇÃO são demonstradas nos apêndices 1b, 1c e 1d.

O número de questões (item) do questionário – PROJETO – foi mapeado, apêndice 1(a), em função da categoria original (número de alternativas do questionário).

**“Item”** é igual ao número de questões que se deseja ter no questionário.

**“Categoria original”** é igual ao número de alternativas que se deseja ter por questão no questionário.

Tabela 02 – Definição das categorias

Item	CATEGORIA ORIGINAL				
	Item com 0 alternativas	Item com 2 alternativas	Item com 3 alternativas	Item com 4 alternativas	Item com 5 alternativas
1	0	0	0	1	0
2	0	0	0	1	0
3	0	0	0	1	0
4	0	0	0	1	0
5	0	0	0	1	0
6	0	0	0	1	0
7	0	0	0	1	0
8	0	0	0	1	0
9	0	0	0	1	0
10	0	0	0	1	0
11	0	0	0	1	0
12	0	0	0	1	0
13	0	0	0	1	0
14	0	0	0	1	0
15	0	0	0	1	0
16	0	0	0	1	0
17	0	0	0	1	0
18	0	0	0	1	0
19	0	0	0	1	0
20	0	0	0	1	0
	0	0	0	20	0

Fonte: elaborado pelo autor

Para esse caso, como o questionário – PROJETO - apêndice 1(a) apresenta apenas a categoria original 4, por possuir 20 questões de múltipla escolha compostas por 04 alternativas cada, pelo método de Couto Júnior (2009) deve ser considerada que a categoria efetiva (somatória das individualidades da categoria original) seja 20.

Então, resume-se:

- Categoria Original = **04**
- Categoria Efetiva = **20**

O cálculo do tamanho da amostra é apresentado a seguir:

$$n = \frac{\binom{C^e}{2} - \sum_{i=1}^k \binom{C_i^e}{2}}{\sum_{i=1}^k C_i^o}$$

**C<sup>E</sup>** – número de categorias efetivas do instrumento de coleta

$$20 \times 2^3 = 160$$

**C<sup>E</sup><sub>i</sub>** – número de categorias efetivas do i-nésimo item

$$2^3 = 8$$

**k** – número de itens do instrumento de coleta

(Questões com efetivas escolhas)

$$k = 20$$

**C<sup>O</sup><sub>i</sub>** – número de categorias originais do i-nésimo item

$$4$$

Substituindo-se os valores na fórmula, chegou-se a necessidade de no mínimo **152** respondentes, como segue:

$$n = \frac{\binom{C^e}{2} - \sum_{i=1}^k \binom{C_i^e}{2}}{\sum_{i=1}^k C_i^o} = \frac{\binom{160}{2} - 20 \cdot \binom{8}{2}}{20 \cdot 4} =$$

$$\frac{[160! / 2!(160-2)!] - 20 \cdot [8! / 2!(8-2)!]}{80}$$

$$= 152 \text{ Respondentes}$$

A aplicação do questionário - apêndice 1(a), em relação ao cálculo do número de amostras, para o caso de **PROJETO**, foi para no mínimo **152** respondentes.

De modo análogo, conforme os apêndices 1b (questionário) e 2b (cálculo da amostra), 1c (questionário) e 2c (cálculo da amostra), 1d (questionário) e 2d (cálculo

da amostra), tem-se respectivamente para os casos materiais e construções, habitação e demolição, os seguintes números mínimos de pesquisados (**n**):

**n** Mat e Constr = **128**

**n** Habitação = **88**

**n** Demolição = **88**

Os dados reais desse ponto em diante serão apresentados e baseados no setor PROJETO. Os demais setores CONSTRUÇÃO e MANUTENÇÃO, HABITAÇÃO e DEMOLIÇÃO, também pesquisados na íntegra, serão apresentados no capítulo IV - Resultados e discussões.

A escolha do setor PROJETO como base descritiva desta tese, deve-se ao fato desse setor ser o mais abrangente entre os estudados para uma construção habitacional popular.

## CAPITULO IV

### 4 ANÁLISE DE DADOS

Neste capítulo apresenta-se a análise dos dados e a construção da base de dados.

#### 4.1 Construção da base de conhecimento

Giarratano e Riley (1998) apud Mollo (2007) conceitua que a base de conhecimento é externa ao algoritmo do sistema, e devem ser substituídos por variáveis.

Para esta tese, os algoritmos e suas respectivas variáveis utilizadas são apresentados na tabela 03.

Tabela 03 - Algoritmos e variáveis de entrada, saída e processo.

Algoritmo	Variável Linguística Independente	Função de Pertinência Termos linguísticos	Variável Linguística Dependente
	(ENTRADA)	(PROCESSO)	(SAÍDA)
	I - Materiais e equipamentos; II - Resíduos; III - Energia; IV-Infraestrutura; V - Mão de obra.	Não significante; Pouco significante; Significante; Muito significante.	Não sustentável; Parcialmente sustentável; Sustentável.

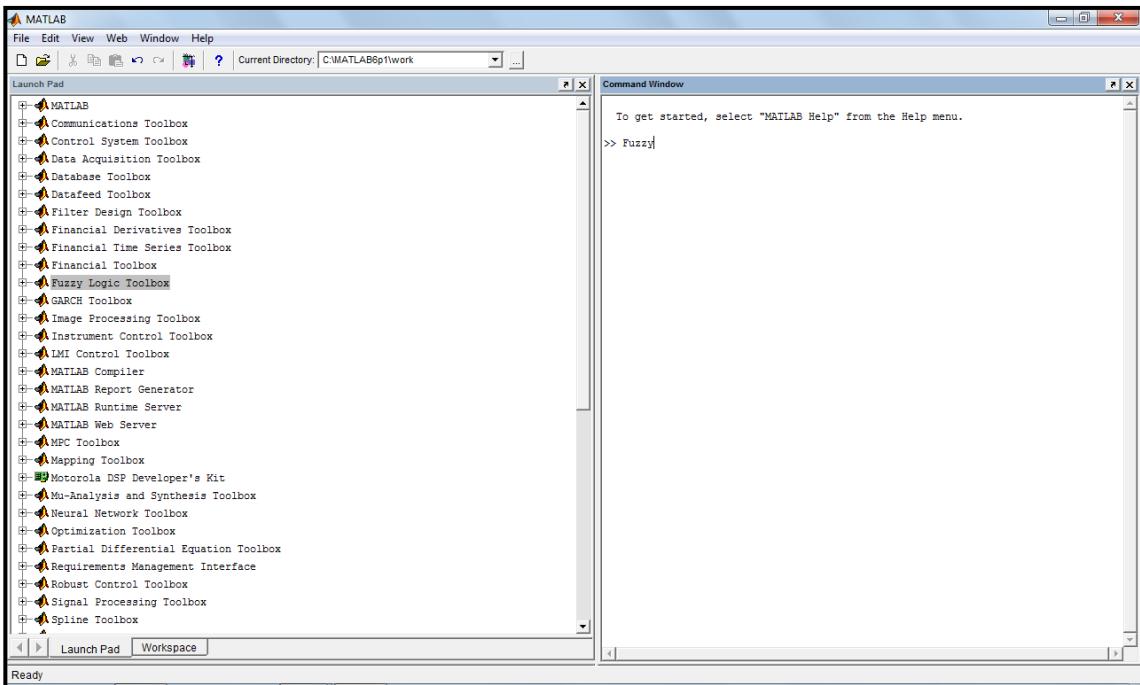
Fonte: autor desta tese

#### 4.2 Construção do algoritmo do sistema especialista

Para esta pesquisa, no caso do PROJETO, foram definidas 05 Variáveis independentes de entrada (I - Materiais e equipamentos; II - Resíduos; III - Energia; IV- Infraestrutura; V - Mão de obra) e 03 variáveis dependentes de saída (Não sustentável; Parcialmente sustentável; Sustentável), conforme o método de Mamdani, com inferência.

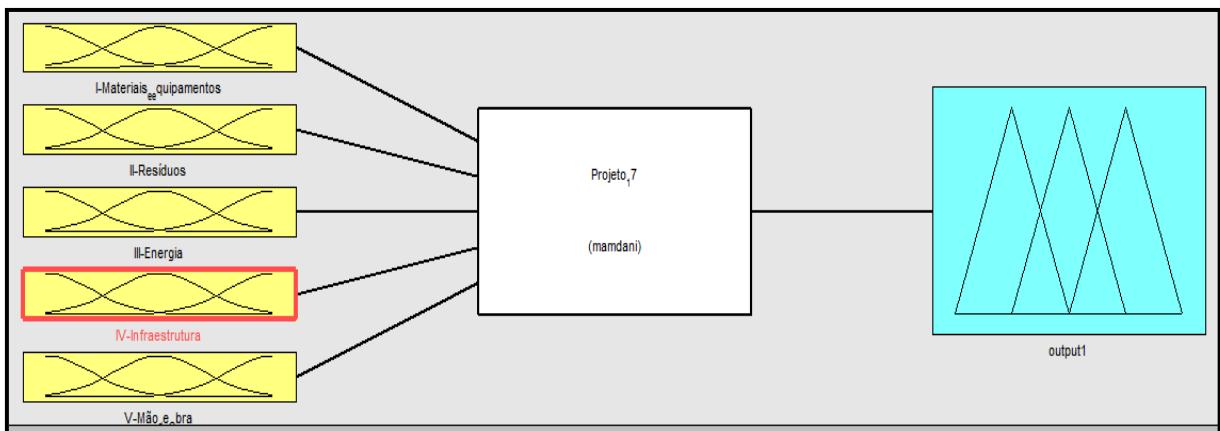
Para iniciar a construção do algoritmo, a inicialização do *MatLab®* ocorre na janela de comando da figura 12 após digitar a palavra *Fuzzy*. Aparece a tela inicial do *toolbox* como mostra a figura 13.

Figura 12 – Janela de abertura do *Fuzzy Logic Toolbox*.



Fonte: *Matlab* 6.1.

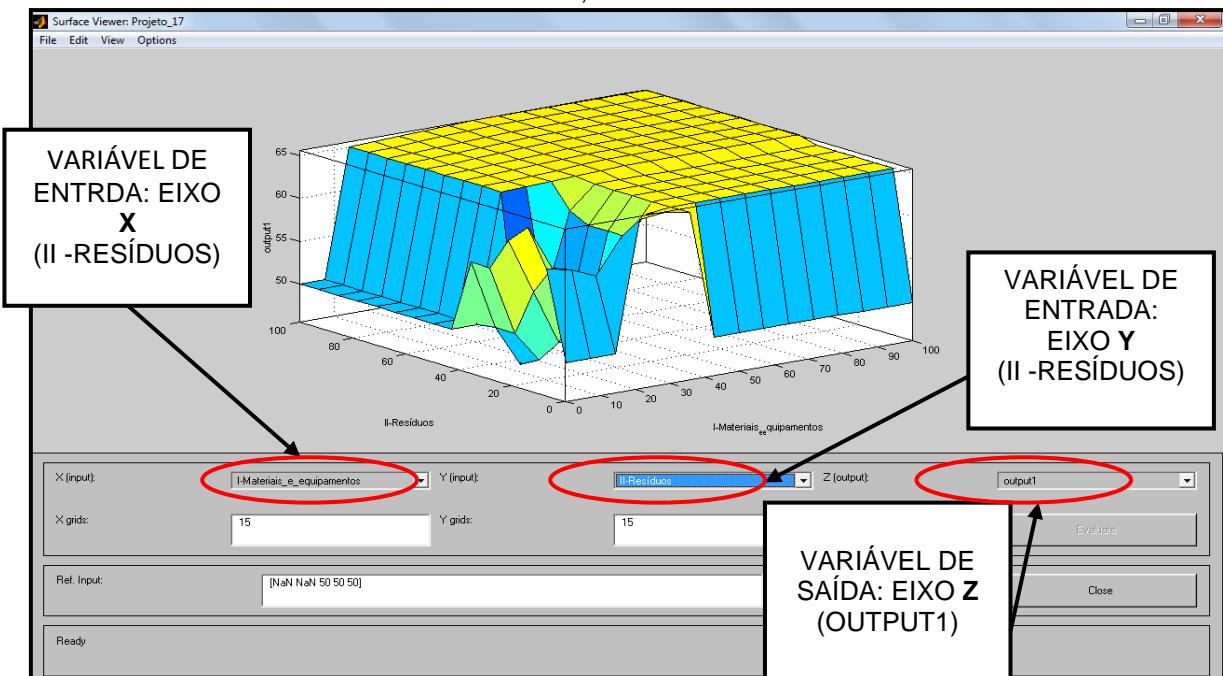
Figura 13 – Sistema de interferência montado na interface do *Matlab*®.



Fonte: *Matlab*® 6.1.

Embásado em 256 regras, o algoritmo possibilitou a construção da superfície tridimensional que apresenta os cenários para a variável dependente “OUTPUT1”, consequência da associação das regras para os valores das variáveis independentes construídas no sistema. A figura 14 traz um dos cenários e o gráfico com as indicações de valores de entrada das funções de pertinência das variáveis independentes e do valor resultado sobre as funções de pertinência da variável dependente.

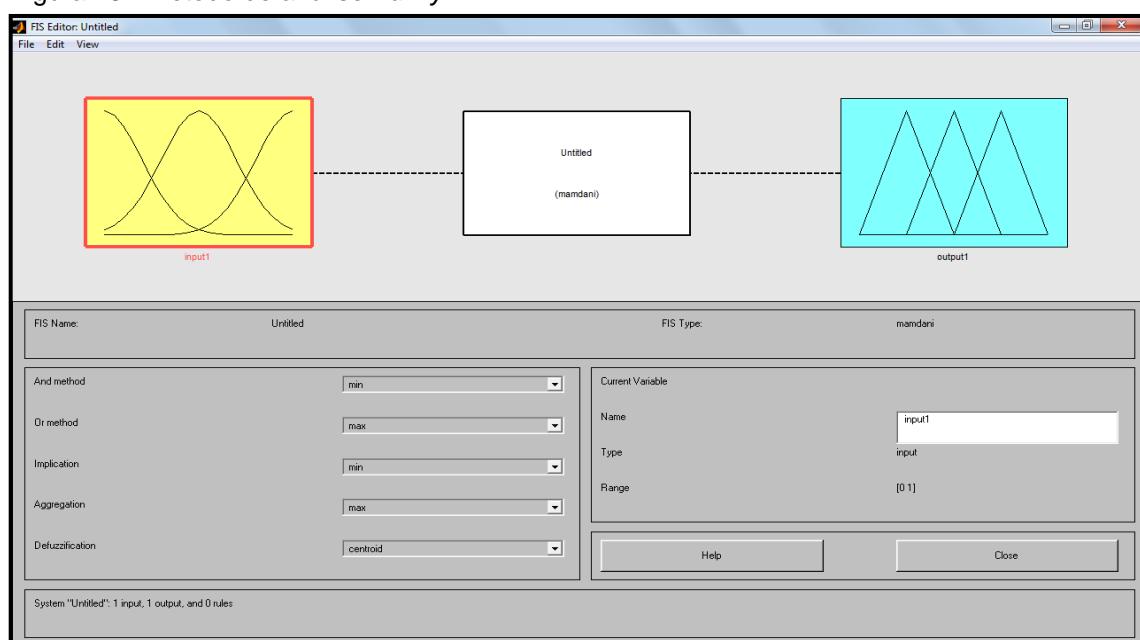
Figura 14 - Superfície 3D gerada na interface do *MatLab®* para a visualização dos cenários de valores das variáveis de entrada do eixo X e Y, versus as variáveis de saída do eixo Z.



Fonte: *Matlab®* 6.1.

Como pode ser visto na figura 15, a opção referente ao método de análise *Fuzzy* escolhido para esta pesquisa é o de MAMDANI, já abordado.

Figura 15 - Método de análise *Fuzzy* MAMDANI.



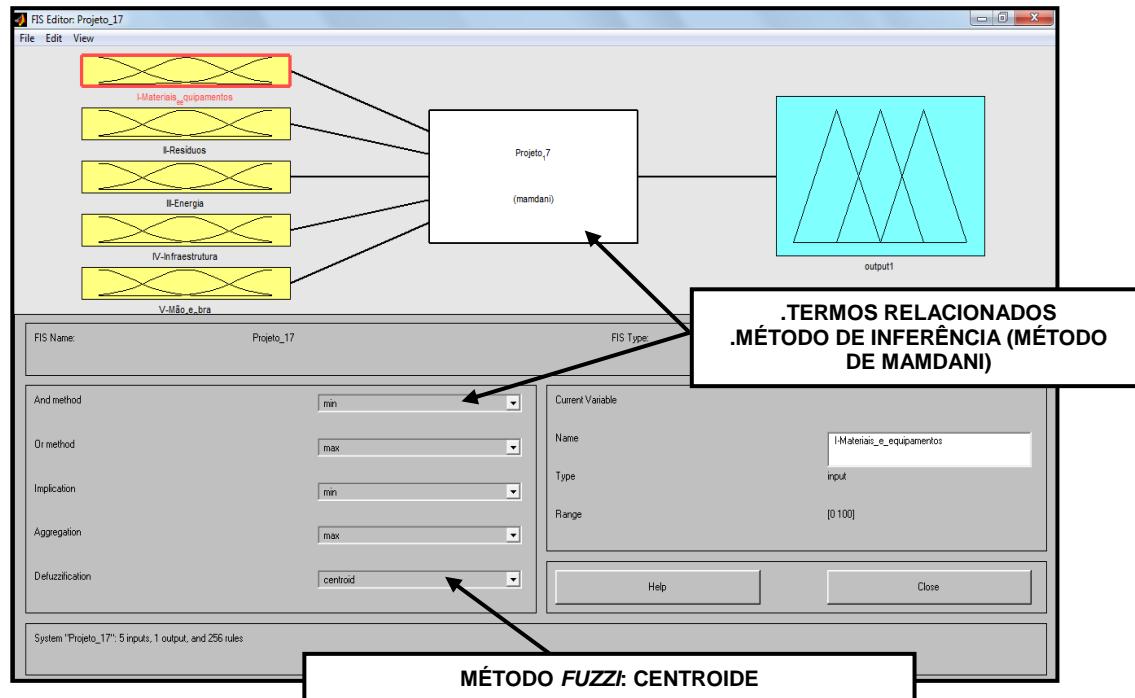
Fonte: *Matlab®* 6.1.

### 4.3 Construção da árvore de decisões

Conforme a figura 16, a árvore de decisões do caso PROJETO é composta por 05 Variáveis independentes de entrada (I - Materiais e equipamentos; II - Resíduos; III - Energia; IV - Infraestrutura; V - Mão de obra), uma base de regras e 03 variáveis dependentes de saída (não sustentável; parcialmente sustentável; sustentável). O primeiro passo do carregamento do sistema consiste em determinar a árvore de decisões que o sistema especialista utilizará, ou seja, as variáveis linguísticas de entrada, as variáveis de saída, a escala de valores atribuída a cada variável e as regras de inferência que serão utilizados.

A seguir, na figura 16, é apresentada a Árvore de decisões para o caso PROJETO.

Figura 16 - Configuração básica segundo especificações pré-estabelecidas para o uso do *Fuzzy Logical Toolbox*



Fonte: *Matlab® 6.1*.

#### 4.4 Construção das regras de inferência

Para se utilizar sistemas que envolvem os conjuntos *Fuzzy*, são necessárias regras (R) do tipo IF-THEN. Neste trabalho, foram implementadas todas as combinações possíveis de regras de inferência. Com base nas variáveis independentes de entrada e as funções de pertinência, implicou na combinação de 256 regras de inferência [45/4]. O conjunto completo de regras encontra-se nos apêndices 6 a, b, c, d. Na figura 17, faz-se uma amostra das possibilidades gerais das regras de inferência.

Para contextualizar o problema, foi realizada uma pesquisa bibliográfica em que foi possível obter subsídios para a ferramenta matemática lógica *Fuzzy*, em consonância aos objetivos desta tese.

A base de dados também foi alimentada com uma pesquisa estruturada junto a especialistas com envio de formulários via internet. Os dados detalhados da pesquisa com os especialistas estão apresentados nos apêndices 4a, 4b, 4c, 4d; 9a, 9b, 9c, 9d; 10a, 10b, 10c, 10d; 11a, 11b, 11c, 11d; 12a, 11b, 11c, 11d.

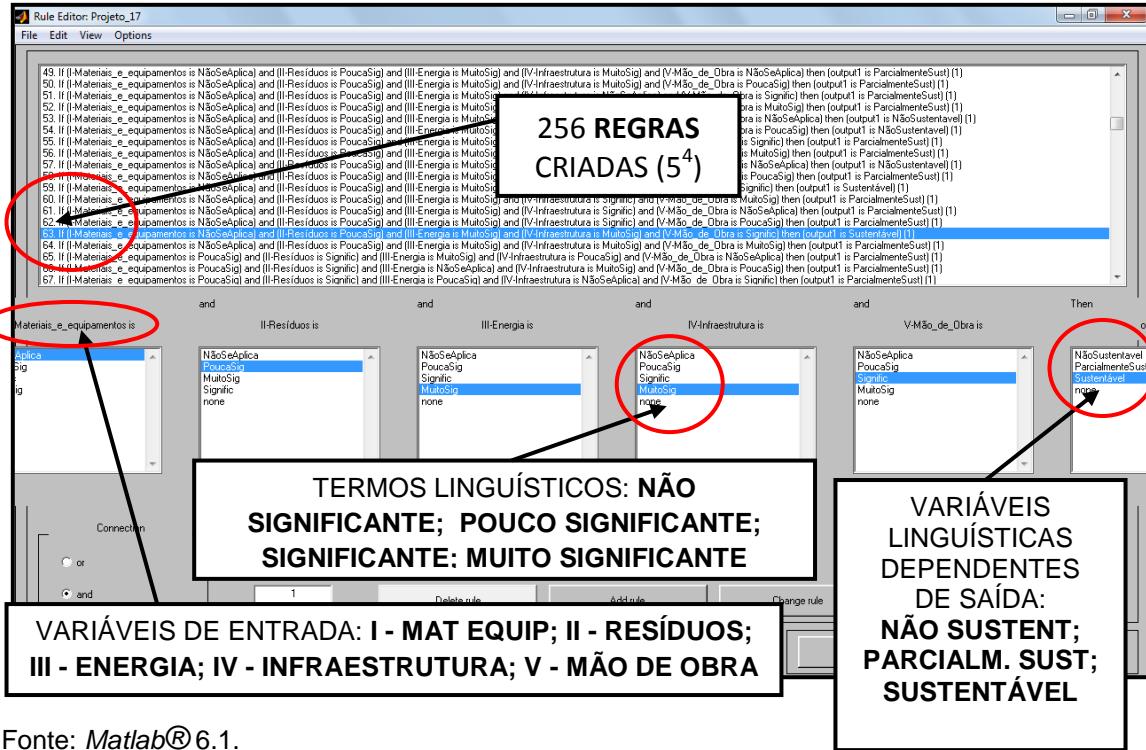
#### 4.5 Base de regras

Para construir a base de regras *Fuzzy* necessitou-se aplicar regras com “SE-ENTÃO” para inferir saída com o uso de um método de raciocínio *Fuzzy*. Segundo Mollo (2007), é um procedimento de inferência utilizado para derivar conclusões de um conjunto *Fuzzy* com regras “SE-ENTÃO” e de uma ou mais condições dadas - Base de Regras - figura 17.

Duzentas e cinquenta e seis regras foram obtidas do inter-relacionamento das variáveis linguísticas independentes (5 variáveis) e a função de pertinência dos termos linguísticos (4 termos linguísticos), ou seja:  $5^4$ .

O uso da ferramenta informatizada *MatLab®* (Figura 17) possibilitou a obtenção das 256 regras, considerando as 05 variáveis de entrada (I – MATERIAIS E EQUIPAMENTOS; II - RESÍDUOS; III - ENERGIA; IV - INFRAESTRUTURA; V - MÃO DE OBRA), associadas as 03 variáveis linguísticas dependentes de saída (NÃO SUSTENTÁVEL; PARCIALMENTE SUSTENTÁVEL; SUSTENTÁVEL) e os 04 termos linguísticos (NÃO SIGNIFICANTE; POUCO SIGNIFICANTE; SIGNIFICANTE; MUITO SIGNIFICANTE).

Figura 17 - Base de regras - construção das regras de inferência.



Na construção de cada regra definiu-se a conexão entre as variáveis de entrada e as variáveis de saída, através dos operadores lógicos.

#### 4.6 Inferência

A inferência *Fuzzy* foi implementada e apurada, com o uso do software *MATLAB®* v.6.1 (*Fuzzy Logic Toolbox of Matlab®*, 2000). O sistema de inferência *Fuzzy* aplicado ao sistema foi o método de Mamdani.

A escala fundamentada conforme descritos na tabela 04 dá subsídios para a obtenção da tabela 05. Os cálculos desses índices da tabela 04 são apresentados em sua íntegra nos apêndices 9a, 10a, 11a, 12a.

Tabela 04 - Faixas numéricas – grau de sustentabilidade – Projeto.

Não sustentável		Intervalo FUZZY		Parcialmente sustentável		Intervalo FUZZY		Sustentável	
0,000	17,730	17,731	19,499	19,500	29,180	29,181	32,429	32,430	ACIMA

A tabela 05 na íntegra dá consistência a regra da figura 15, e consta do apêndice 6 (a). O que se apresenta a seguir é apenas uma estratificação do todo, para melhor entendimento dessa etapa do desenvolvimento da tese. A tabela 05 completa esta no apêndice 6 (a) – Conjunto complexo de regras – PROJETO.

Tabela 05 - Tabela auxiliar para construção das regras de inferência: Figura 15 – Projeto.

CONJUNTO COMPLEXO DE REGRAS								
REGRAS	TERMOS LINGUÍSTICOS POSSÍVEIS	TERMOS LINGUÍSTICOS: VARIÁVEL DE ENTRADA MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	RESÍDUOS	% RESPOSTA APÊNDICE 11(a)	TERMOS LINGUÍSTICOS: VARIÁVEL DE ENTRADA ENERGIA	% RESPOSTA APÊNDICE 11(a)	TERMOS LINGUÍSTICOS: VARIÁVEL DE ENTRADA INFRAESTRUTURA	% RESPOSTA APÊNDICE 11(a)
1	MATERIAIS_E_EQUIP		RESÍDUOS		ENERGIA		INFRAESTRUTURA	MÃO_DE_OBRA
	1 não_se_aplica	2,97	não_se_aplica	5,81	não_se_aplica	4,00	não_se_aplica	4,68
	2 pouco_significância	16,13	pouco_significância	15,27	pouco_significância	15,10	pouco_significância	16,94
	3 significativo	27,48	significativo	43,23	significativo	32,26	significativo	33,71
2	MATERIAIS_E_EQUIP		RESÍDUOS		ENERGIA		INFRAESTRUTURA	MÃO_DE_OBRA
	5 não_se_aplica	2,97	não_se_aplica	5,81	não_se_aplica	4,00	não_se_aplica	4,68
	6 pouco_significância	16,13	pouco_significância	15,27	pouco_significância	15,10	pouco_significância	16,94
	7 significativo	27,48	significativo	43,23	significativo	32,26	significativo	33,71
...	MATERIAIS_E_EQUIP		RESÍDUOS		ENERGIA		INFRAESTRUTURA	MÃO_DE_OBRA
	8 muita_significância	53,42	muita_significância	35,70	muita_significância	48,65	muita_significância	44,68
256	MATERIAIS_E_EQUIP		RESÍDUOS		ENERGIA		INFRAESTRUTURA	MÃO_DE_OBRA
	1021 não_se_aplica	2,97	não_se_aplica	5,81	não_se_aplica	4,00	não_se_aplica	4,68
	1022 pouco_significância	16,13	pouco_significância	15,27	pouco_significância	15,10	pouco_significância	16,94
	1023 significativo	27,48	significativo	43,23	significativo	32,26	significativo	33,71
	1024 muita_significância	53,42	muita_significância	35,70	muita_significância	48,65	muita_significância	44,68

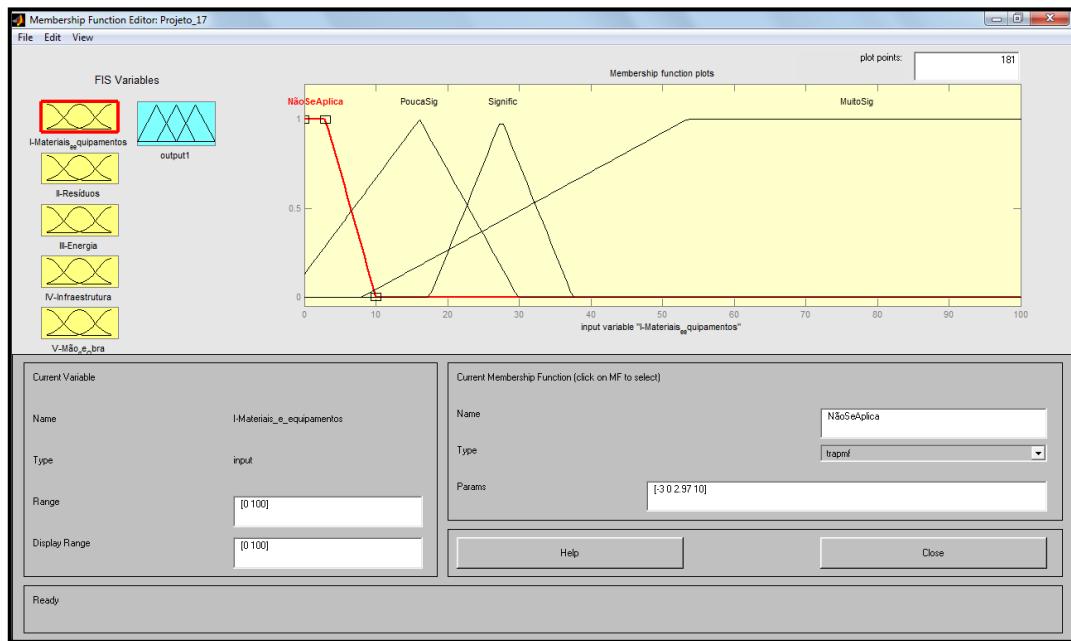
LEGENDA: Não sustentável | Intervalo FUZZY | Parcialmente sustentável | Intervalo FUZZY | Sustentável

Fonte: Apêndice 6(a)

#### 4.7 Domínio das variáveis de entrada e/ou saída

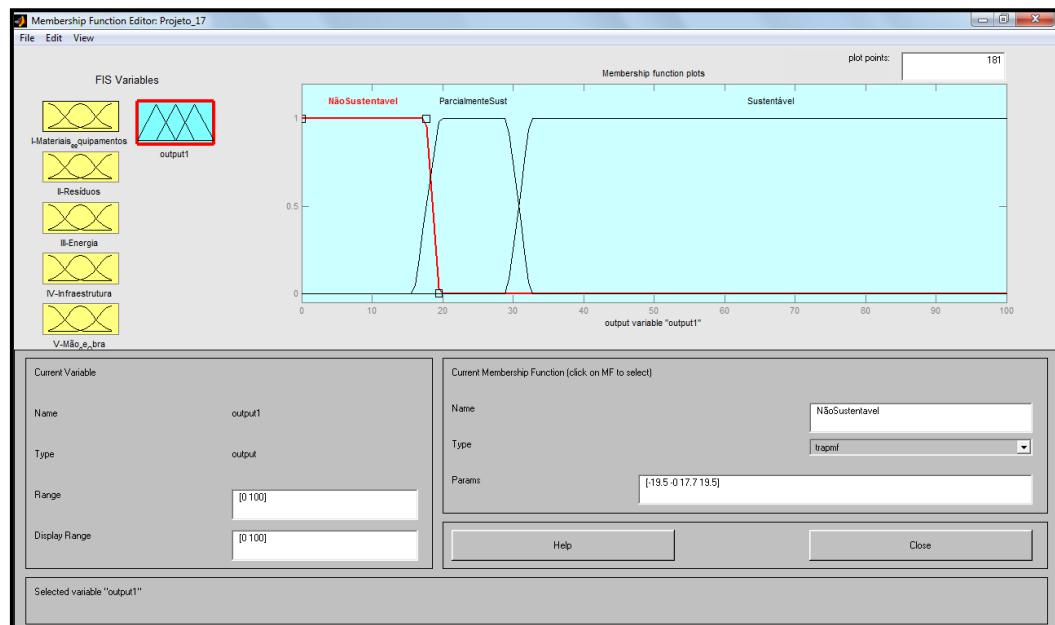
O domínio das variáveis de entrada e/ou saída foi definido para um intervalo de 0 a 100, como pode ser observado nas figuras 18 e 19.

Figura 18 - Definição do domínio das variáveis de entrada – Projeto.



Fonte: *MatLab® 6.1*.

Figura 19 - Definição do domínio das variáveis de saída – Projeto.



Fonte: *MatLab® 6.1*.

## 4.8 Funções de pertinência

Foram estabelecidos termos linguísticos, com o objetivo de construir a inferência *Fuzzy*. Essa interferência gera um conjunto de regras que descreve relações entre as variáveis independentes e a variável dependente.

As variáveis independentes são as de entrada:

- I - Materiais e equipamentos;
- II - Resíduos;
- III - Energia;
- IV - Infraestrutura;
- V - Mão de obra.

As variáveis dependentes são as de saída:

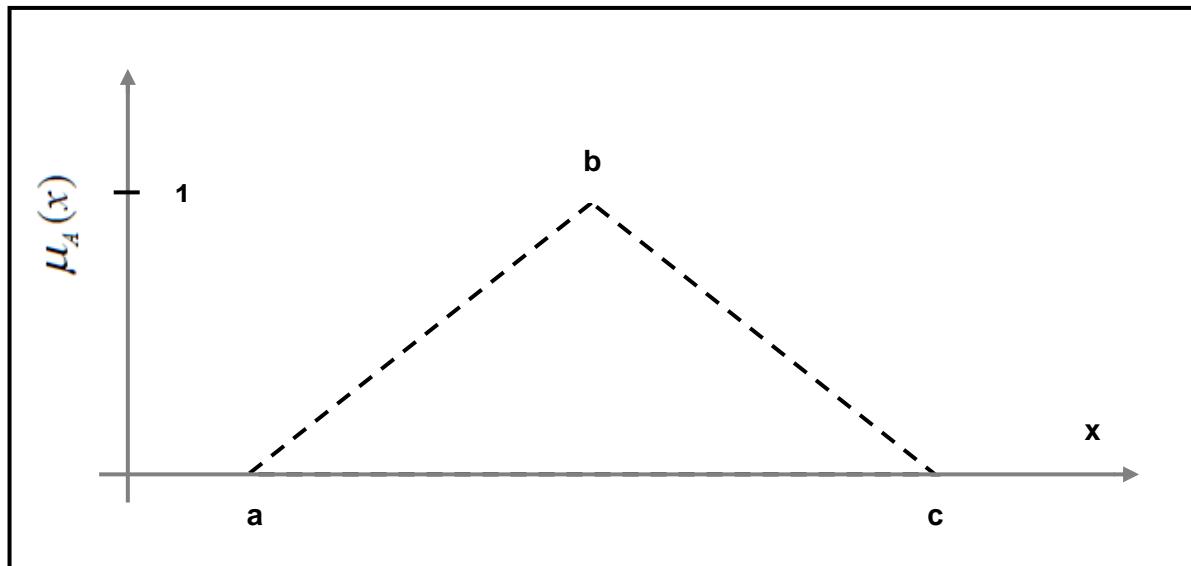
- Não sustentável;
- Parcialmente sustentável;
- Sustentável.

A seguir, são apresentadas as formas geométricas utilizadas nesta tese, dentro do *MatLab®* 6.1, que são a triangular e a trapezoidal, fundamentadas por Amendola (2005).

### 4.8.1 Funções de pertinência triangulares (TRIMF)

As funções de pertinência triangulares são caracterizadas por uma terna (a, b, c), em que a e c determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência assume valores diferentes de zero, e b é o ponto em que a função de pertinência é máxima. A figura 20 exibe exemplo de uma função de pertinência triangular em que são destacados a, b e c. Nessa figura encontram-se no eixo vertical os valores da função de pertinência e no eixo horizontal os valores da variável que se quer estudar.

Figura 20 - Representação da função triangular de pertinência

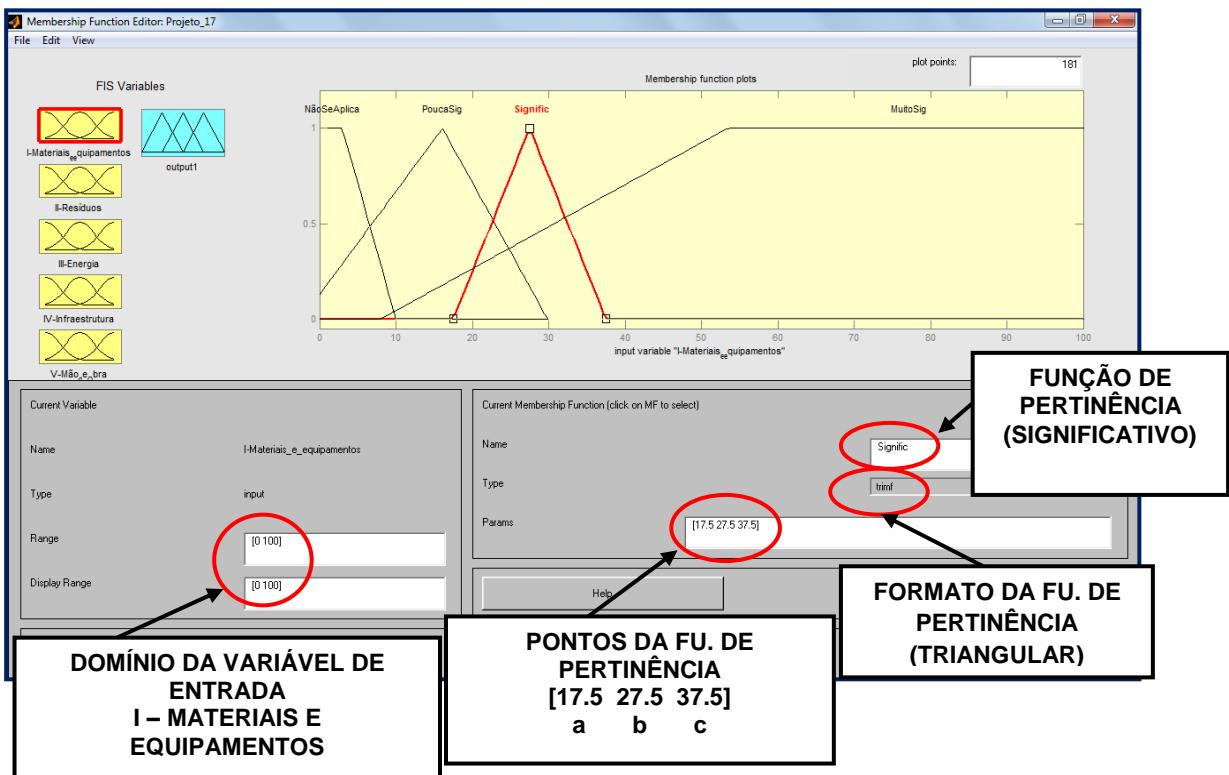


Um número *Fuzzy A* é dito triangular se sua função de pertinência é, para  $a < b < c$ , e nesse caso, é adicionada a função da forma:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{se } a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{se } b < x \leq c \\ 0 & \text{se } x > c \end{cases}$$

Na figura 21, é apresentado um caso real da função de pertinência triangular da variável de entrada I - Materiais e Equipamentos utilizada nesta tese, para o caso PROJETOS.

Figura 21 – Exemplo real de funções de pertinência triangular da variável de entrada I - Materiais e Equipamentos – Projeto.

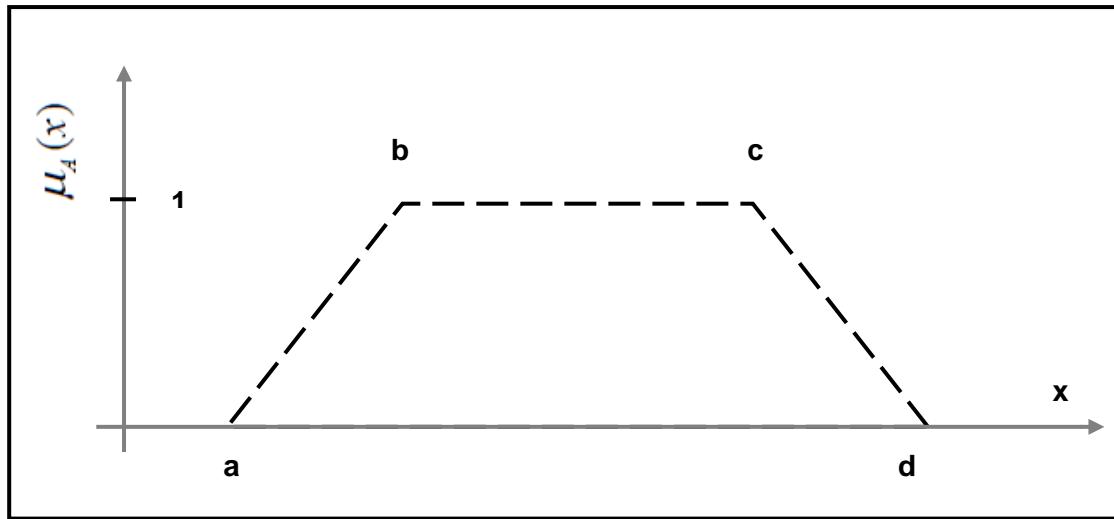


Fonte: *MatLab® 6.1*.

#### 4.8.2 Funções de pertinência trapezoidal (TRAPMF)

As funções de pertinência trapezoidais são caracterizadas por um conjunto de quatro valores de  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$ , onde  $a$  e  $d$  determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência assume valores diferentes de zero, e  $b$  e  $c$  determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência é máxima e igual a 1. A figura 22 exibe uma função de pertinência trapezoidal em que podem ser destacados os pontos  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$ . Nessa figura encontram-se no eixo vertical os valores da função de pertinência e no eixo horizontal os valores da variável que se quer estudar.

Figura 22 - Representação da função trapezoidal de pertinência – Exemplo.

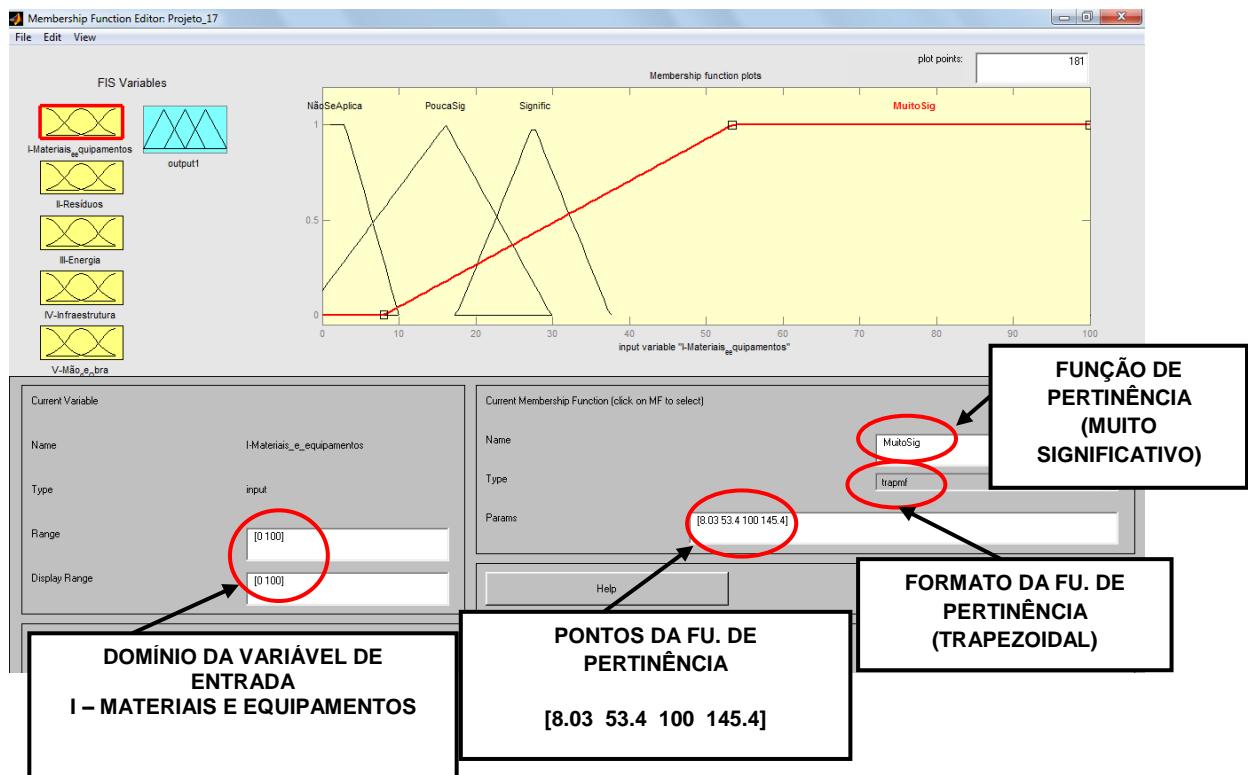


Um número *Fuzzy A* é dito trapezoidal se sua função de pertinência é, para  $a < b < c < d$ , e nesse caso, é adicionada a função da forma:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & se \quad x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & se \quad a < x \leq b \\ 1 & se \quad b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & se \quad c < x \leq d \\ 0 & se \quad x > d \end{cases}$$

Na figura 23, é apresentado um caso real da função de pertinência trapezoidal da variável de entrada I - Materiais e Equipamentos utilizados nesta tese, para o caso PROJETOS.

Figura 23 – Exemplo real de funções de pertinência trapezoidal da variável de entrada I - Materiais e Equipamentos – Projeto.



Fonte: *MatLab®* 6.1.

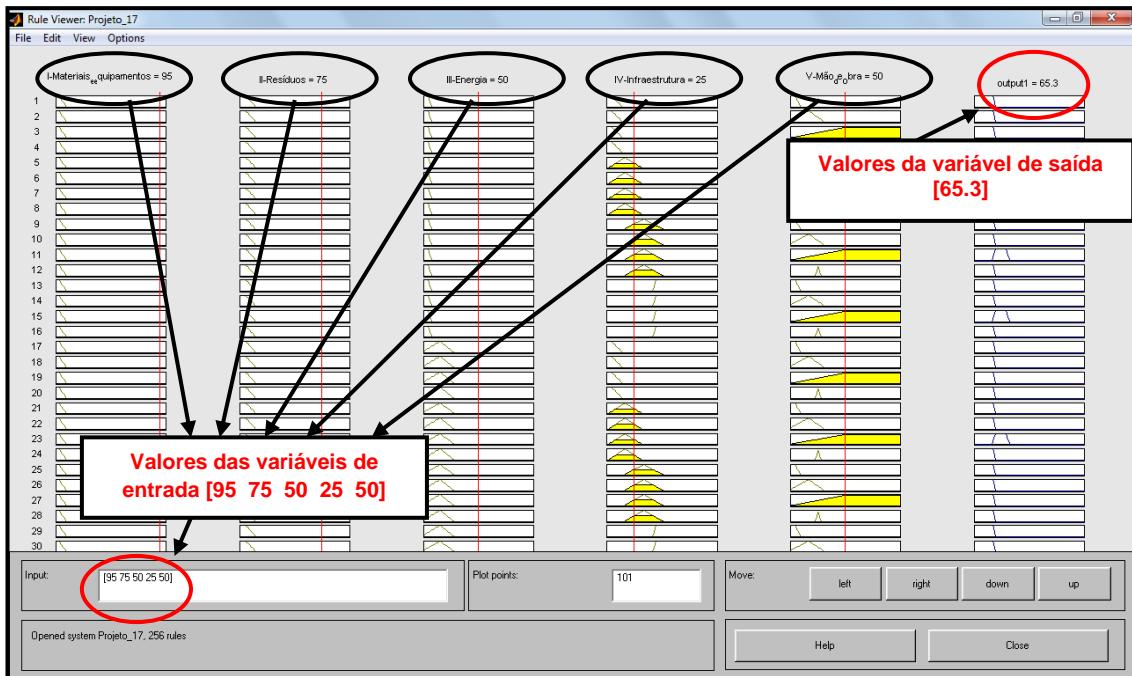
Os valores de a, b, c e d devem ser definidos para cada uma das funções de pertinência.

#### 4.9 Saídas discretas - modelagem

Nessa etapa de construção do modelo *Fuzzy*, o sistema de controle *Fuzzy* pôde ser construído ao se arbitrar valores numéricos para as variáveis de entrada, simulando cenários factíveis, do ponto de vista do especialista, para observar e analisar os valores obtidos para cada variável de saída.

O sistema apresenta as saídas discretas, ou seja, a avaliação final após o abastecimento das informações oriundas da pesquisa junto aos especialistas do setor – figura 24. Supondo-se, como exemplo, a atribuição de valores respectivamente (95); (75); (50); (25); (50) para as variáveis de entrada, o sistema especialista retorna uma saída discreta igual a 65,30 pontos.

Figura 24 - Saídas discretas: cenário resultante da seleção de valores das variáveis de entrada e os associados valores de saída - Projeto.



Fonte: *MatLab® 6.1*.

#### 4.10 Variável independente

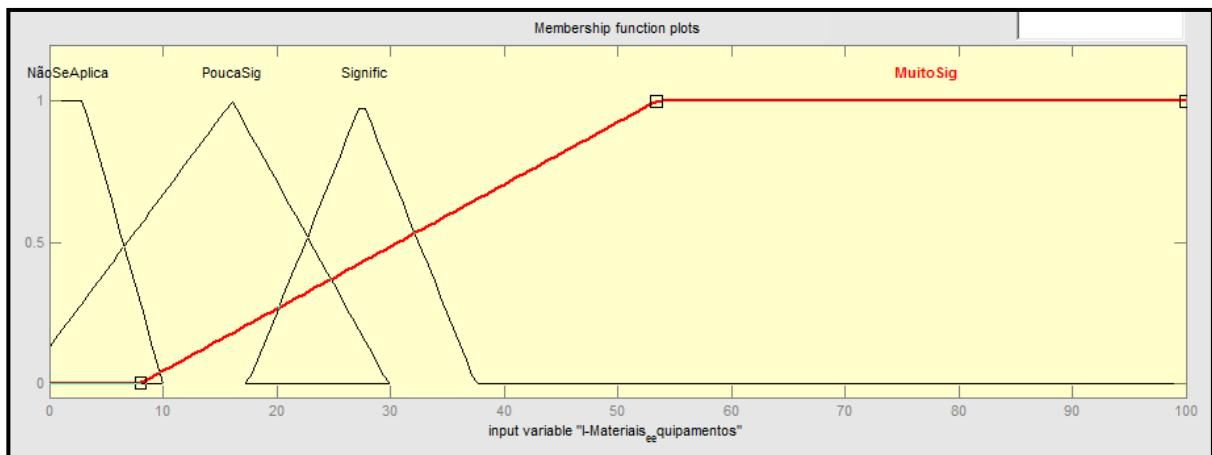
A seguir, são apresentadas as variáveis linguísticas utilizadas para o caso PROJETO e os seus termos linguísticos, suas respectivas formas geométricas adotadas e suas coordenadas.

Segundo Ortega (2001), uma variável linguística *Fuzzy* é uma variável cujo valor é expresso qualitativamente por um termo linguístico (que fornece um conceito à variável) e quantitativamente por uma função de pertinência. As variáveis linguísticas são expressas dentro de certo domínio de valores. Em geral, é o especialista que define esse domínio e realiza sua partição.

Para a variável linguística I - MATERIAIS E EQUIPAMENTOS, o domínio do intervalo  $[0, 100]$ , com os termos linguísticos categorizados como NÃO SE APLICA, POUCA SIGNIFICÂNCIA, SIGNIFICATIVO E MUITO SIGNIFICATIVO, respectivamente, gerando o gráfico da figura 25 com as características, a seguir:

- NÃO SE APLICA: trapmf (trapezoidal);  $[-3.00 \ 0.00 \ 2.97 \ 10.00]$
- POUCA SIGNIFICÂNCIA: trimf (triangular);  $[-2.37 \ 16.10 \ 29.83]$
- SIGNIFICATIVO: trimf (triangular);  $[17.50 \ 27.50 \ 37.50]$
- MUITO SIGNIFICATIVO: trapmf (trapezoidal);  $[8.03 \ 53.40 \ 100.00 \ 145.40]$

Figura 25 - Variável independente I - Materiais e equipamentos – função de pertinência – Projeto.

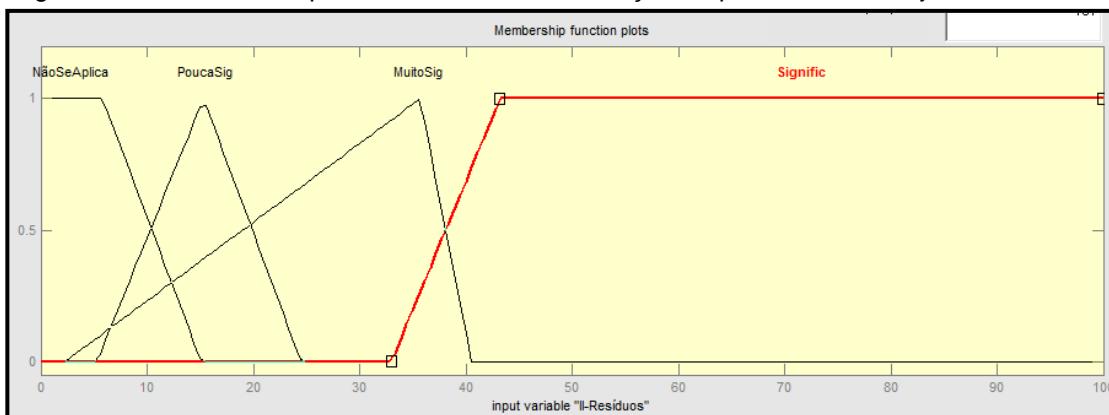


Fonte: *MatLab® 6.1*.

Para a variável linguística II - RESÍDUOS, o domínio do intervalo é [0, 100], representado através dos termos linguísticos categorizados como NÃO SE APLICA, POUCA SIGNIFICÂNCIA, SIGNIFICATIVO E MUITO SIGNIFICATIVO, respectivamente, gerando o gráfico da figura 26 com as características a seguir:

- NÃO SE APLICA: trapmf (trapezoidal); [-9.19 0.00 5.81 15.10]
- POUCA SIGNIFICÂNCIA: trimf (triangular); [5.27 15.30 24.50]
- SIGNIFICATIVO: trapmf (trapezoidal); [33.00 43.20 100.00 110.00]
- MUITO SIGNIFICATIVO: trimf (triangular); [2.25 35.70 40.50]

Figura 26 - Variável independente II-Resíduos – função de pertinência – Projeto.

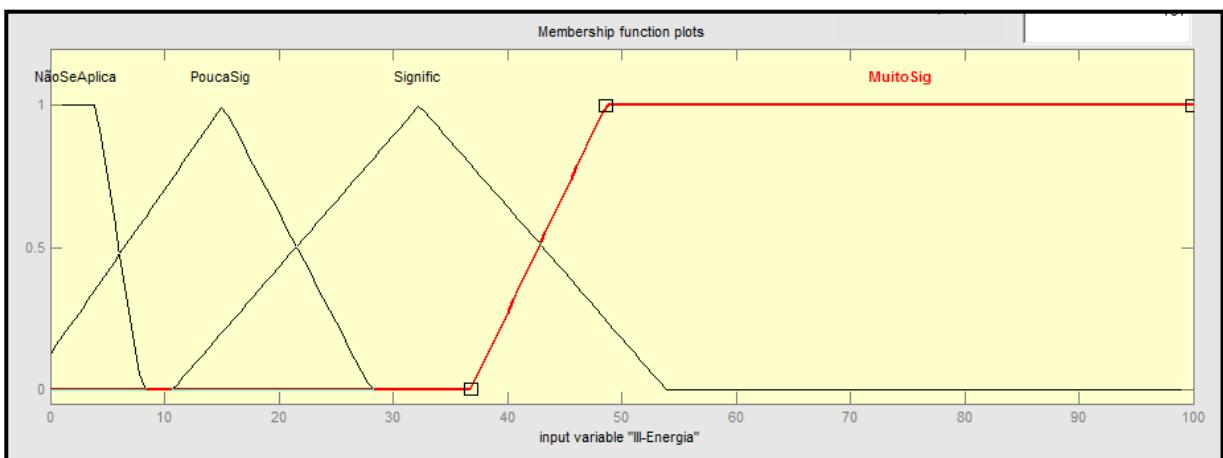


Fonte: *MatLab® 6.1*.

Para a variável linguística III - ENERGIA, o domínio do intervalo é  $[0, 100]$ , representado através dos termos linguísticos categorizados como NÃO SE APLICA, POUCA SIGNIFICÂNCIA, SIGNIFICATIVO E MUITO SIGNIFICATIVO, respectivamente, gerando o gráfico da figura 27 com as características a seguir:

- NÃO SE APLICA: trapmf (trapezoidal);  $[-8.00 0.00 4.00 8.00]$
- POUCA SIGNIFICÂNCIA: trimf (triangular);  $[-2.14 15.10 28.06]$
- SIGNIFICATIVO: trimf (triangular);  $[10.70 32.30 53.90]$
- MUITO SIGNIFICATIVO: trapmf (trapezoidal);  $[36.80 48.60 100.00 136.80]$

Figura 27 - Variável independente III-Energia – função de pertinência – Projeto.

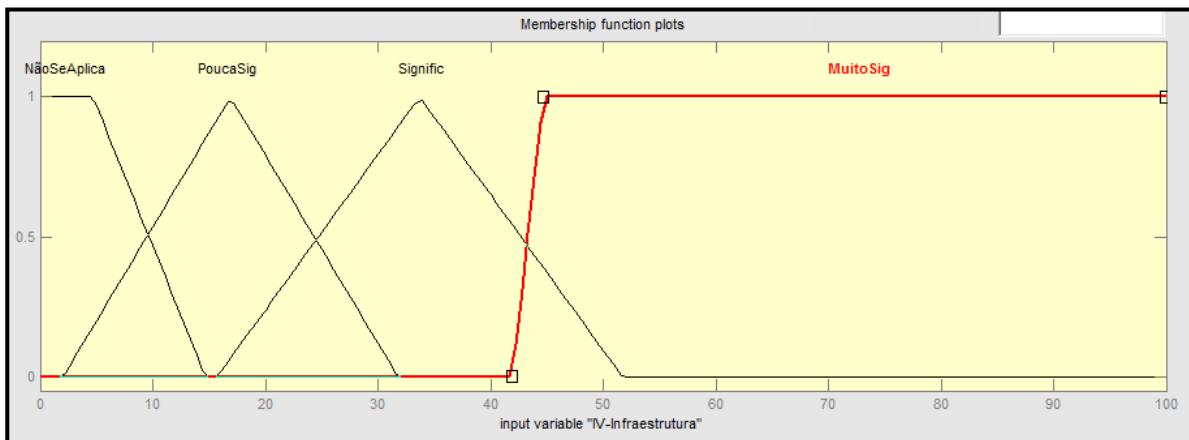


Fonte: MatLab® 6.1.

Para a variável linguística IV - INFRAESTRUTURA, o domínio do intervalo é  $[0, 100]$ , representado através dos termos linguísticos categorizados como NÃO SE APLICA, POUCA SIGNIFICÂNCIA, SIGNIFICATIVO E MUITO SIGNIFICATIVO, respectivamente, gerando o gráfico da Figura 28 com as características a seguir:

- NÃO SE APLICA: trapmf (trapezoidal);  $[-5.32 0.00 4.68 14.68]$
- POUCA SIGNIFICÂNCIA: trimf (triangular);  $[2.02 16.90 31.78]$
- SIGNIFICATIVO: trimf (triangular);  $[15.70 33.70 51.70]$
- MUITO SIGNIFICATIVO: trapmf (trapezoidal);  $[41.90 44.70 100.00 110.00]$

Figura 28 - Variável independente IV-INFRAESTRUTURA – função de pertinência – Projeto.

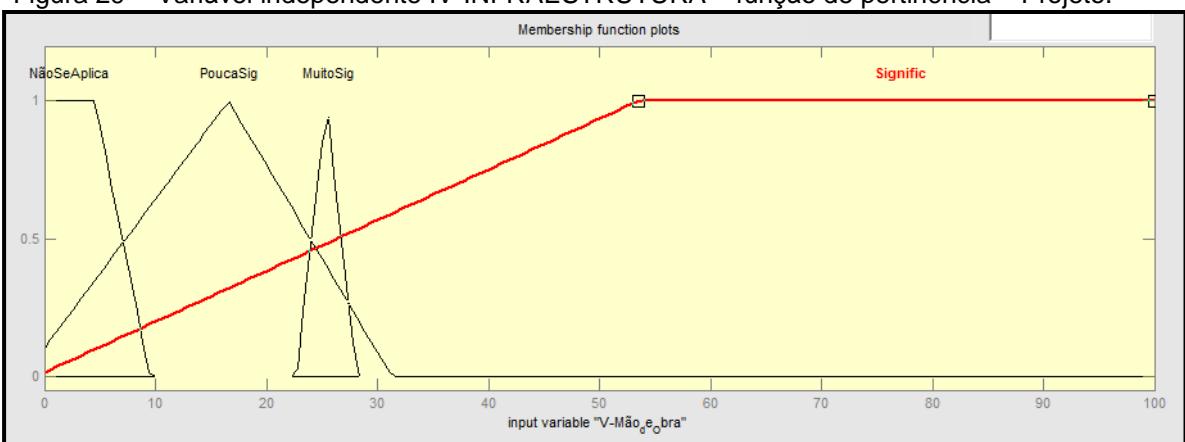


Fonte: *MatLab® 6.1*.

Para a variável linguística V - MÃO DE OBRA, o domínio do intervalo é [0, 100], representado através dos termos linguísticos categorizados como NÃO SE APLICA, POUCA SIGNIFICÂNCIA, SIGNIFICATIVO E MUITO SIGNIFICATIVO, respectivamente, gerando o gráfico da figura 29 com as características a seguir:

- NÃO SE APLICA: trapmf (trapezoidal); [-5.00 0.00 4.52 9.52]
- POUCA SIGNIFICÂNCIA: trimf (triangular); [-1.91 16.60 31.29]
- SIGNIFICATIVO: trapmf (trapezoidal); [-0.751 53.50 100.00 110.00]
- MUITO SIGNIFICATIVO: trimf (triangular); [22.70 25.40 28.10]

Figura 29 - Variável independente IV-INFRAESTRUTURA – função de pertinência – Projeto.



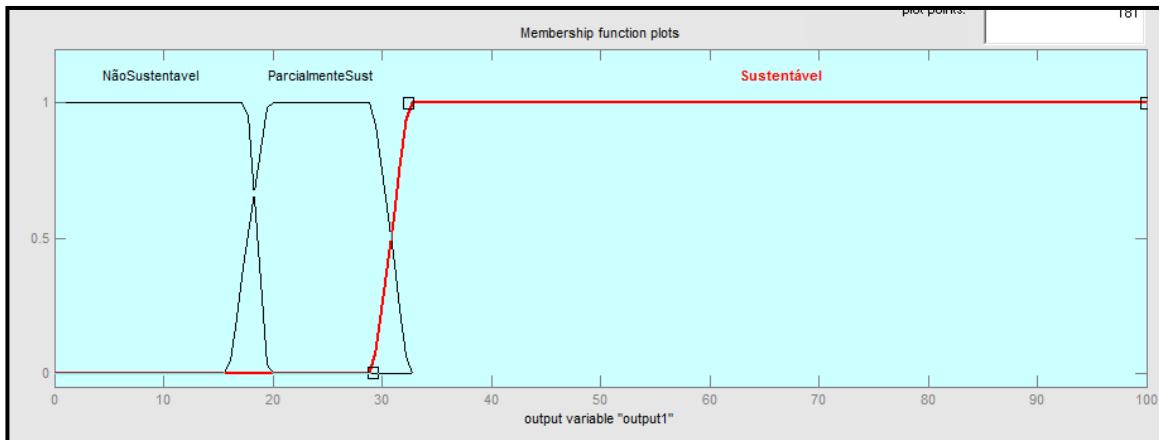
Fonte: *MatLab® 6.1*.

#### 4.11 Variável dependente

A figura 30 apresenta o gráfico construído para a variável dependente de saída construída com as características a seguir:

- NÃO SUSTENTÁVEL: trapmf (trapezoidal); [-19.50 0.00 17.70 19.50]
- PARCIALMENTE SUSTENTÁVEL: trapmf ; [15.95 19.50 29.18 32.43]
- SUSTENTÁVEL: trapmf (trapezoidal); [29.18 32.43 100.00 110.00]

Figura 30 – Variável dependente do caso Projeto.



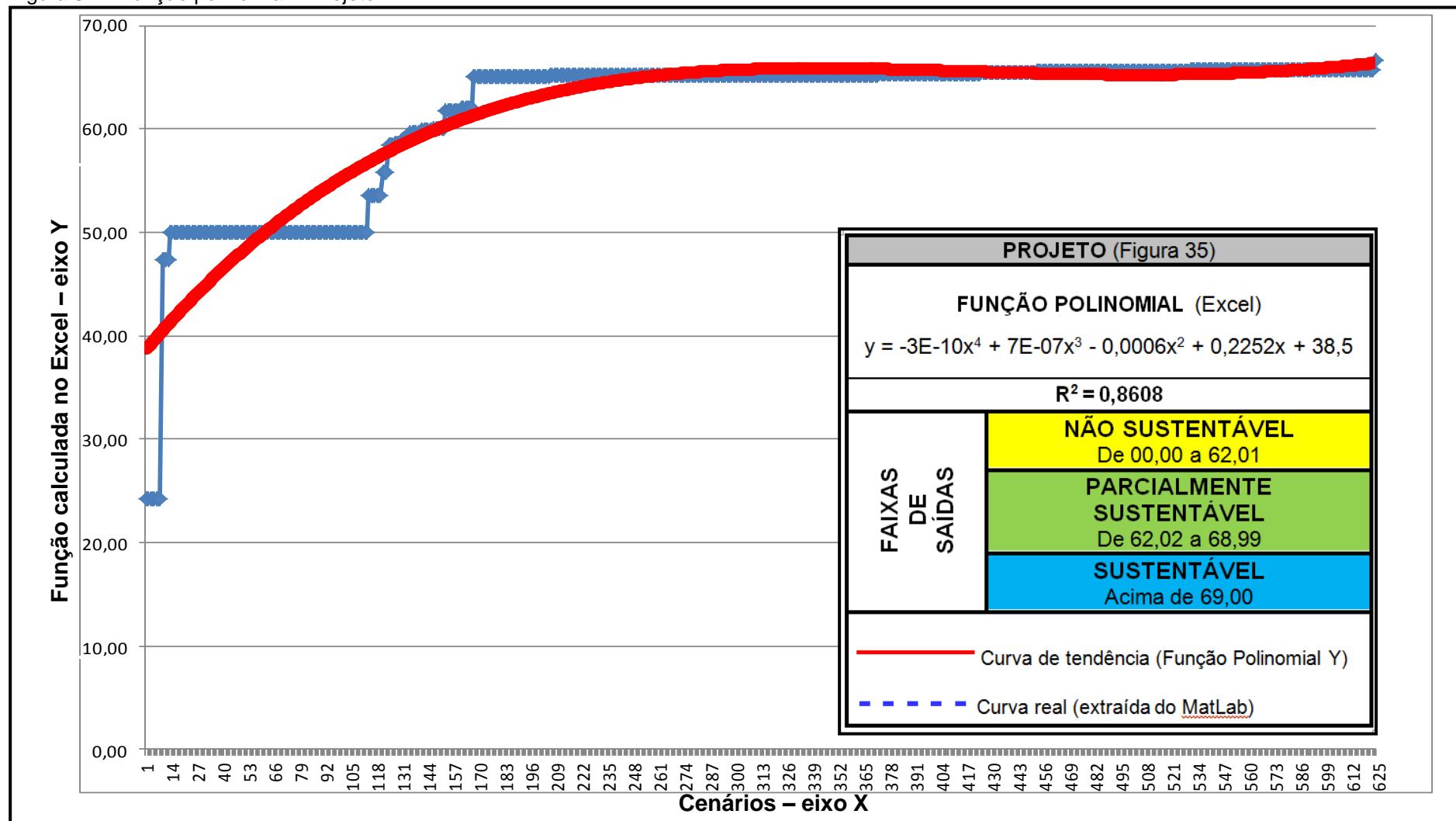
Fonte: *MatLab®* 6.1.

#### 4.12 Função polinomial

Pelo método apresentado, em que foram desenvolvidas regras baseadas nas variáveis independentes de forma a permitir a determinação dos valores das variáveis dependentes desses valores, foi possível utilizar o *Microsoft Excel®* para construir os gráficos de tendência e os polinômios de melhor ajuste, para a alimentação dos algoritmos de inferência dos modelos de previsão de sustentabilidade.

A figura 31 apresenta 625 cenários (eixo X) possíveis para o estudo do caso Projeto. A curva de tendência (**em vermelho -----**) reflete a função polinomial (Y), com sua precisão de respostas em 86,08% ( $R^2$ ), extraída do módulo de gráficos do *Microsoft Excel®*. A curva real (**em azul - - - - -**) representa os dados reais processados e obtidos no *MatLab®*. A função polinomial ( $y = -3E-10x^4 + 7E-07x^3 - 0,0006x^2 + 0,2252x + 38,5$ ) é o algoritmo que define o quanto os Projetos dos conjuntos habitacionais populares em análise, não são sustentáveis para uma faixa entre 0,00 e 62,01 pontos; ou são parcialmente sustentáveis para uma faixa entre 62,02 e 68,99 pontos; ou são sustentáveis para uma faixa acima de 69,00 pontos. No apêndice 7 (a) constam as tabelas que deram origem a esses gráficos da figura 31.

Figura 31 – Função polinomial – Projeto.



Fonte: MatLab® 6.1. e Excel®

#### 4.13 Aplicação da função polinomial na obtenção dos índices de sustentabilidade para as habitações populares

Após a identificação de uma função polinomial específica para o caso PROJETO, uma Tabela 06 de índices (pontos) de correlação foi elaborada, em função das variáveis linguísticas independentes de entrada (I - Materiais e equipamentos; II - Resíduos; III - Energia; IV - Infraestrutura; V - Mão de obra).

Essa tabela 06 identifica se após ser respondido o questionário 08 (a) (apêndice), a habitação popular é “Não sustentável”, Parcialmente sustentável” ou “Sustentável”.

Tabela 06 - Índices (pontos) de correlação – Projeto.

SAÍDA					
Não sustentável		Parcialmente sustentável		Sustentável	
ÍNDICES (PONTOS)		ÍNDICES (PONTOS)		ÍNDICES (PONTOS)	
0,00	62,01	62,02	68,99	69,00	70,00

Supondo-se, como exemplo, uma construção habitacional popular avaliada no requisito PROJETO com pontos respectivamente (95); (25); (25); (50); (75); cenário 445 do apêndice 7 (a); segundo o questionário 08 (a), o sistema especialista *MatLab®* retorna uma saída discreta igual a 65,40 pontos, para a qual saída, a função polinomial de tendência  $y = -3E-10x^4 + 7E-07x^3 - 0,0006x^2 + 0,2252x + 38,5$  apresenta um valor calculado de 69,82 pontos (para  $R^2=0,8608$ ).  $R^2$  representa o percentual de proximidade entre a função polinomial de tendência e a função dos pontos dispersos obtidos, nesse caso, de uma base de dados obtidas a partir de opiniões de especialistas ( $3E-10 = 3 \cdot 10^{-10}$  ).

Portanto, pela tabela 06, no requisito PROJETO, esta habitação popular é considerada sustentável.

Questionário 08 (a) – Medição da sustentabilidade habitacional – Projetos.

**QUESTIONÁRIO**

**PROJETO**

Este questionário tem por finalidade quantificar aspectos relevantes de um empreendimento habitacional popular com qualidade, inovado e sustentável.

Considerando que em construções habitacionais populares sustentáveis, a fase de "PROJETO", bem como a gestão dos elementos da obra (água, energia, materiais, ambiente interno, canteiro de obra, operação e manutenção, serviços públicos locais e mão de obra), pode ser correlacionada com a qualidade, a inovação tecnológica, a operação, a manutenção, o ambiente interno e a infraestrutura pública local adequada, identifique os percentuais das questões abaixo.

As respostas devem utilizar os seguintes pesos percentuais referente ao empreendimento em análise, para cada requisito apresentado (Máquinas e equipamentos, Resíduos; Energia; Infraestrutura; Mão de obra):

25% sustentável; 50% sustentável; 75% sustentável; 95% sustentável.

**Para cada requisito apresentado a seguir, qual é o percentual de aplicabilidade no empreendimento em análise?**

<b>Requisito I – MAQUINAS E EQUIPAMENTOS</b>	<b>%</b>
<b>Desempenho térmico com:</b> Aberturas arquitetônicas para ventilação e sombreamento; Desempenho térmico das paredes e coberturas	
<b>Uso responsável da madeira - fornecedores social e ambientalmente responsáveis, com:</b> Utilização de madeira de origem legal (certificada) - fornecedor local; Não utilização de madeira tratadas com produtos químicos perigosos; Uso de madeira de reflorestamento; Uso de espécies de madeira; Resistentes a intempéries e insetos; Proteção das peças de madeira contra umidade garantindo a durabilidade.	
<b>Qualidade do ar interno; da água; dos espaços internos. Conforto térmico; visual; acústico. Com:</b> Manutenção das características físico-químicas e bacteriológicas da água; Conforto térmico no verão e no inverno; Desempenho janelas; Acesso a vistas externas; Espaço exterior privativo; Privacidade nos ambientes; Isolamento acústico; Controle da exposição eletromagnética; Criação de condições de higiene; Acessibilidade; Lazer e esporte; Paisagismo.	<b>95</b>
<b>Durabilidade do empreendimento com:</b> Escolhas construtivas adequadas à vida útil pretendida; Maximização da vida útil do empreendimento.	
<b>Acessibilidade às instalações, equipamentos e elementos construtivos com:</b> A operação e manutenção dos equipamentos e facilidade de manutenção e limpeza dos elementos construtivos.	

## Questionário 08 (a) continuação – Medição da sustentabilidade habitacional – Projetos.

Requisito II - RESIDUOS	%
<b>Reuso e reciclagem de materiais com redução da geração de resíduos com:</b> Reuso de materiais; Uso de materiais em cujo ciclo de vida as emissões não sejam danosas; Uso de materiais com maior potencial de reuso e reciclagem pós-uso; Uso de materiais associados a baixas emissões; Reuso de formas e escoras; Uso de materiais pré-fabricados; Uso de materiais de qualidade.	25
<b>Gestão de resíduos de construção e demolição com:</b> Manejo dos resíduos no canteiro de obras; Transporte e destinação adequada dos resíduos; Educação ambiental dos operários.	
<b>Gestão da poluição e dos incômodos com:</b> Redução da poluição e dos incômodos do entorno.	
Requisito III - ENERGIA	%
<b>Redução do consumo de água potável com:</b> Limitação das vazões nos pontos de utilização; Limitação do consumo de água para irrigação paisagística; Utilização de fontes alternativas de água; Medição do consumo com uso de medidores individuais; Utilização de parte da água pluvial.	25
<b>Otimização da iluminação com:</b> Iluminação natural; artificial energeticamente eficiente; Eficiência na iluminação das áreas externas.	
<b>Uso de energias renováveis com:</b> Aquecimento solar de água; Geração de energia elétrica no local por meio de fontes renováveis.	
<b>Uso de equipamentos com selo de eficiência energética PROCEL e outros dispositivos como:</b> Eletrodomésticos com selo PROCEL; Dispositivos economizadores; Equipamentos a gás.	
<b>Concepção dos espaços com:</b> Definição de premissas de projeto para eficiência energética no uso do empreendimento.	
Requisito IV - INFRAESTRUTURA	%
<b>Operacionalização da infraestrutura do canteiro de obras com:</b> Redução de impactos na etapa de serviços preliminares; Redução de impactos no armazenamento e movimentação de produtos; Redução de impactos na utilização de vias e espaços públicos; Redução das interferências na vizinhança.	50
<b>Gestão do desempenho durante o uso da edificação com:</b> As atividades de manutenção; Garantia de manutenção da potabilidade de água; Viabilidade para o monitoramento do consumo de energia, água e gás; Viabilidade para a gestão de resíduos sólidos; Prevenção quanto aos incômodos causados aos ocupantes durante as atividades de manutenção e limpeza; Cultura de coleta	

## Questionário 08 (a) continuação – Medição da sustentabilidade habitacional – Projetos.

seletiva; Áreas permeáveis.	
<b>Existência de serviços de responsabilidade do órgão público local com:</b> Água encanada potável; Gás encanado; Luz; Telefonia fixa; Acesso a rede mundial - internet; Sinal de TV; Transporte público; Correios; Coleta de lixo comum; Coleta seletiva de lixo; Coleta de esgoto; Segurança pública; Praças e parques no entorno; Saúde pública; Escola pública.	
<b>Participação da sociedade do entorno do empreendimento durante a fase de:</b> Planejamento para a mitigação dos impactos ambientais e sociais do local.	

Requisito V – MÃO DE OBRA	%
<b>Consumo de recursos diminuído com:</b> Redução das perdas de materiais; Implantação de ações potencialmente racionalizadoras; Redução de desperdício de mão de obra; Gestão do consumo de água, energia elétrica e gás.	
<b>Gestão dos impactos sociais e econômicos dos canteiros de obras com:</b> Desenvolvimento dos funcionários próprios, sub-contratados e fornecedores; Apoio ao desenvolvimento local; Cuidados com a saúde e segurança dos funcionários.	75
<b>Uso de especialistas em:</b> Construção; Automação; Manutenção; Demolição.	

RESULTADO FINAL							
I - MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	II - RESÍDUOS	III - ENERGIA	IV - INFRAESTRUTURA	V - MÃO DE OBRA	CENÁ -RIO n°	FUNÇÃO (Y) CALCULADA NO EXCEL	PARA A FASE DE PROJETO, ESTE EMPREENDIMENTO É CONSIDERADO COMO SENDO:
95	25	25	50	75	445	69,82	SUSTENTAVEL

#### **4.14 Apresentação dos resultados dos demais requisitos estudados e pesquisados**

A seguir, serão apresentados os resultados dos requisitos que, assim como o PROJETO, foram igualmente estudados e pesquisados:

**A - CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO;**

**B – HABITAÇÃO;**

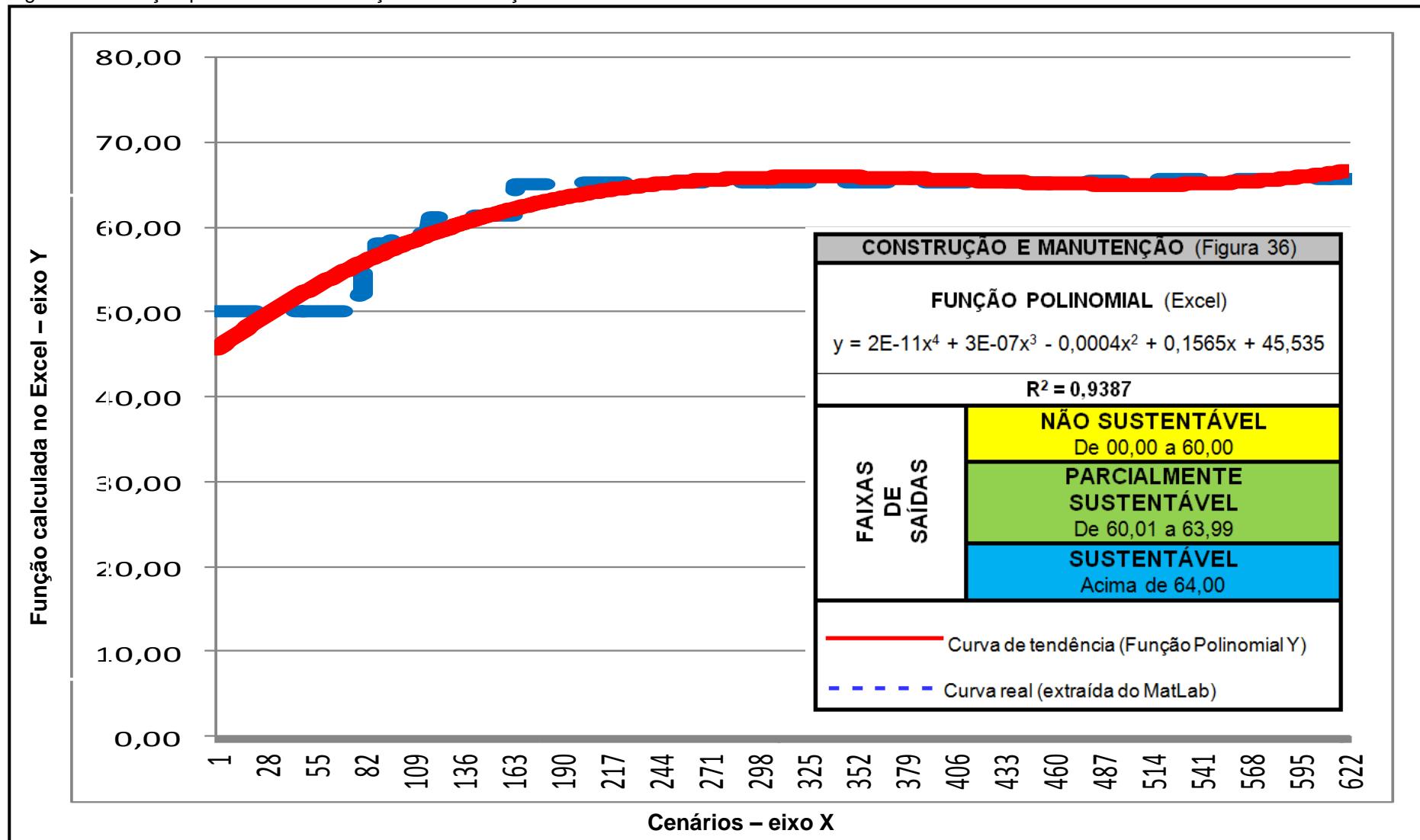
**C – DEMOLIÇÃO.**

#### **A – CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO**

#### **FUNÇÃO POLINOMIAL**

A exemplo do estudo do caso construção e manutenção, a figura 32 apresenta 625 cenários (eixo X) possíveis. A curva de tendência (**em vermelho -----**) reflete a função polinomial (Y), com sua precisão de respostas em 93,87% ( $R^2$ ), extraída do módulo de gráficos do *Microsoft Excel®*. A curva real (**em azul - - - - -**) representa os dados reais processados e obtidos no *MatLab®*. A função polinomial ( $y = 2E-11x^4 + 3E-07x^3 - 0,0004x^2 + 0,1565x + 45,535$ ) é o algoritmo que define o quanto a construção e manutenção dos conjuntos habitacionais populares em análise, não são sustentáveis para uma faixa entre 0,00 e 60,00 pontos; ou são parcialmente sustentáveis para uma faixa entre 60,01 e 63,99 pontos; ou são sustentáveis para uma faixa acima de 64,00 pontos. No apêndice 7 (b) constam as tabelas que deram origem a esses gráficos.

Figura 32 – Função polinomial – Construção e Manutenção.



Fonte: MatLab® 6.1. e Excel®.

## APLICAÇÃO DA FUNÇÃO POLINOMIAL NA OBTENÇÃO DOS ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE PARA AS HABITAÇÕES POPULARES

Após a identificação de uma função polinomial específica para o caso construção e manutenção, uma tabela 07 de índices (pontos) de correlação foi elaborada, em função das variáveis linguísticas independentes de entrada (I - Materiais e equipamentos; II - Resíduos; III - Energia; IV - Infraestrutura; V - Mão de obra).

Essa tabela 07 identifica se após ser respondido o questionário 08 (b) apêndice, a habitação popular é “Não sustentável”, “Parcialmente sustentável” ou “Sustentável”.

Tabela 07 - Índices (pontos) de correlação – Construção e Manutenção.

SAÍDA					
Não sustentável		Parcialmente sustentável		Sustentável	
ÍNDICES (PONTOS)		ÍNDICES (PONTOS)		ÍNDICES (PONTOS)	
0,00	60,00	60,01	63,99	64,00	70,00

Supondo-se, como exemplo, uma construção habitacional popular avaliada no requisito construção e manutenção com pontos respectivamente (95); (75); (25); (50); (75); cenário 290 do apêndice 7 (b); segundo o questionário 08 (b), o sistema especialista retorna uma saída discreta igual a 65,20 pontos, para a qual saída, a função polinomial de tendência  $y = 2E-11x^4 + 3E-07x^3 - 0,0004x^2 + 0,1565x + 45,535$  apresenta um valor calculado de 64,74 pontos (para  $R^2=0,9387$ ).

Portanto, pela tabela 07, no requisito construção e manutenção, essa habitação popular é considerada sustentável.

## Questionário 8 (b) – Medição da sustentabilidade habitacional – Construção e Manutenção.

**QUESTIONÁRIO**  
**CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO**

Este questionário tem por finalidade quantificar aspectos relevantes de um empreendimento habitacional popular com qualidade, inovado e sustentável.

Considerando que em construções habitacionais populares sustentáveis, a fase de "CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO", bem como a gestão dos elementos da obra (água, energia, materiais, ambiente interno, canteiro de obra, operação e manutenção, serviços públicos locais e mão de obra), pode ser correlacionada com a qualidade, a inovação tecnológica, a operação, a manutenção, o ambiente interno e a infraestrutura pública local adequada, identifique os percentuais das questões abaixo.

As respostas devem utilizar os seguintes pesos percentuais referente ao empreendimento em análise, para cada requisito apresentado (Máquinas e equipamentos, Resíduos; Energia; Infraestrutura; Mão de obra):

25% sustentável; 50% sustentável; 75% sustentável; 95% sustentável.

**Para cada requisito apresentado a seguir, qual é o percentual de aplicabilidade no empreendimento em análise?**

<b>Requisito I – MAQUINAS E EQUIPAMENTOS</b>	<b>%</b>
<b>Desempenho térmico com:</b> Aberturas arquitetônicas para ventilação e sombreamento; Desempenho térmico das paredes e coberturas.	
<b>Uso responsável da madeira - fornecedores social e ambientalmente responsáveis, com:</b> Utilização de madeira de origem legal (certificada) - fornecedor local; Não utilização de madeira tratadas com produtos químicos perigosos; Uso de madeira de reflorestamento; Uso de espécies de madeira; Resistentes a intempéries e insetos; Proteção das peças de madeira contra umidade garantindo a durabilidade.	<b>95</b>
<b>Durabilidade do empreendimento com:</b> Escolhas construtivas adequadas à vida útil pretendida; Maximização da vida útil do empreendimento.	
<b>Acessibilidade às instalações, equipamentos e elementos construtivos com:</b> A operação e manutenção dos equipamentos e facilidade de manutenção e limpeza dos elementos construtivos.	
<b>Requisito II - RESÍDUOS</b>	<b>%</b>
<b>Reuso e reciclagem de materiais com redução da geração de resíduos com:</b> Reuso de materiais; Uso de materiais em cujo ciclo de vida as emissões não sejam danosas; Uso de materiais com maior potencial de reuso e reciclagem pós-uso; Uso de materiais associados a	

Questionário 8 (b) continuação – Medição da sustentabilidade habitacional – Construção e Manutenção.

<p>baixas emissões; Reuso de formas e escoras; Uso de materiais pré-fabricados; Uso de materiais de qualidade.</p> <p><b>Gestão de resíduos de construção e demolição com:</b> Manejo dos resíduos no canteiro de obras; Transporte e destinação adequada dos resíduos; Educação ambiental dos operários.</p> <p><b>Gestão da poluição e dos incômodos com:</b> Redução da poluição e dos incômodos do entorno.</p>	<b>75</b>
<p><b>Requisito III - ENERGIA</b></p> <p><b>Redução do consumo de água potável com:</b> Limitação das vazões nos pontos de utilização; Limitação do consumo de água para irrigação paisagística; Utilização de fontes alternativas de água; Medição do consumo com uso de medidores individuais; Utilização de parte da água pluvial.</p> <p><b>Otimização da iluminação com:</b> Iluminação natural; artificial energeticamente eficiente; Eficiência na iluminação das áreas externas.</p> <p><b>Uso de energias renováveis com:</b> Aquecimento solar de água; Geração de energia elétrica no local por meio de fontes renováveis.</p> <p><b>Uso de equipamentos com selo de eficiência energética PROCEL e outros dispositivos como:</b> Eletrodomésticos com selo PROCEL; Dispositivos economizadores; Equipamentos a gás.</p>	<b>25</b>
<p><b>Requisito IV - INFRAESTRUTURA</b></p> <p><b>Operacionalização da infraestrutura do canteiro de obras com:</b> Redução de impactos na etapa de serviços preliminares; Redução de impactos no armazenamento e movimentação de produtos; Redução de impactos na utilização de vias e espaços públicos; Redução das interferências na vizinhança.</p> <p><b>Existência de serviços de responsabilidade do órgão público local com:</b> Água encanada potável; Gás encanado; Luz; Telefonia fixa; Acesso a rede mundial - internet; Sinal de TV; Transporte público; Correios; Coleta de lixo comum; Coleta seletiva de lixo; Coleta de esgoto; Segurança pública; Praças e parques no entorno; Saúde pública; Escola pública.</p> <p><b>Participação da sociedade do entorno do empreendimento durante a fase de:</b> Planejamento para a mitigação dos impactos ambientais e sociais do local.</p>	<b>50</b>
<p><b>Requisito V – MAO DE OBRA</b></p> <p><b>Consumo de recursos diminuído com:</b> Redução das perdas de materiais; Implantação de ações potencialmente racionalizadoras; Redução de desperdício de mão de obra; Gestão do consumo de água, energia elétrica e gás.</p>	

Questionário 8 (b) continuação – Medição da sustentabilidade habitacional – Construção e Manutenção.

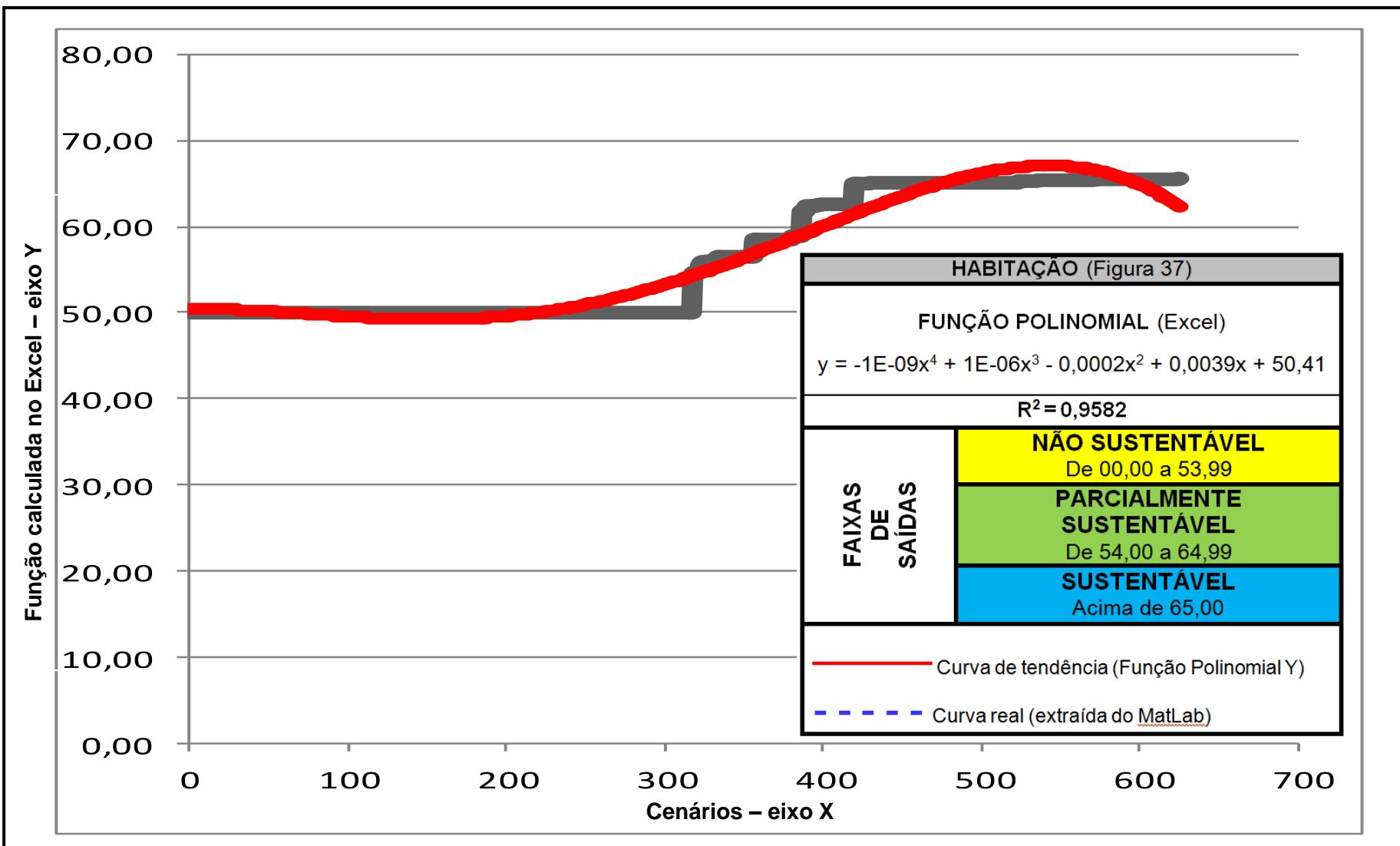
<p><b>Gestão dos impactos sociais e econômicos dos canteiros de obras com:</b> Desenvolvimento dos funcionários próprios, sub-contratados e fornecedores; Apoio ao desenvolvimento local; Cuidados com a saúde e segurança dos funcionários.</p> <p><b>Uso de especialistas em:</b> Construção; Automação; Manutenção; Demolição.</p>						<b>75</b>
<b>RESULTADO FINAL</b>						
<b>I - MATERIAIS E EQUIPAMENTOS</b>	<b>II - RESÍDUOS</b>	<b>III - ENERGIA</b>	<b>IV - INFRAESTRUTURA</b>	<b>V - MÃO DE OBRA</b>		
%	%	%	%	%	CENÁ -RIO nº	FUNÇÃO (Y) CALCULA DA NO EXCEL
<b>95</b>	<b>75</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>75</b>	<b>290</b>	<b>64,74</b>
<b>CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO</b>						<b>PARA A FASE DE CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO, ESTE EMPREENDIMENTO É CONSIDERADO COMO SENDO:</b>
						<b>SUSTENTAVEL</b>

## B – HABITAÇÃO

### FUNÇÃO POLINOMIAL

Ainda dentro desta análise, o estudo do caso habitação, figura 33 apresenta 625 cenários (eixo X) possíveis. A curva de tendência (**em vermelho -----**) reflete a função polinomial (Y), com sua precisão de respostas em 95,82% ( $R^2$ ), extraída do módulo de gráficos do *Microsoft Excel®*. A curva real (**em azul - - - - -**) representa os dados reais processados e obtidos no *MatLab®*. A função polinomial ( $y = -1E-09x^4 + 1E-06x^3 - 0,0002x^2 + 0,0039x + 50,41$ ) é o algoritmo que define o quanto a habitação dos conjuntos habitacionais populares em análise não são sustentáveis para uma faixa entre 0,00 e 53,99 pontos; ou são parcialmente sustentáveis para uma faixa entre 54,00 e 64,99 pontos; ou são sustentáveis para uma faixa acima de 65,00 pontos. No apêndice 7 (c) constam as tabelas que deram origem a esses gráficos.

Figura 33– Função polinomial – Habitação.



Fonte: MatLab® 6.1. e Excel®

## APLICAÇÃO DA FUNÇÃO POLINOMIAL NA OBTENÇÃO DOS ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE PARA AS HABITAÇÕES POPULARES

Após a identificação de uma função polinomial específica para o caso habitação, uma tabela 08 de índices (pontos) de correlação foi elaborada, em função das variáveis linguísticas independentes de entrada (I - Materiais e equipamentos; II - Resíduos; III - Energia; IV - Infraestrutura; V - Mão de obra).

Essa tabela 08 identifica se após ser respondido o questionário 08 (c) apêndice, a habitação popular é “Não sustentável”, “Parcialmente sustentável” ou “Sustentável”.

Tabela 08 - Índices (pontos) de correlação - Habitação

SAÍDA					
Não sustentável		Parcialmente sustentável		Sustentável	
ÍNDICES (PONTOS)		ÍNDICES (PONTOS)		ÍNDICES (PONTOS)	
0,00	53,99	54,00	64,99	65,00	70,00

Supondo-se, como exemplo, uma construção habitacional popular avaliada no requisito habitação com pontos respectivamente (50); (75); (95); (25); (25); cenário 076 do apêndice 7 (c); segundo o Questionário 08 (c), o sistema especialista retorna uma saída discreta igual a 50,00 pontos, para a qual saída, a função polinomial de tendência  $y = -1E-09x^4 + 1E-06x^3 - 0,0002x^2 + 0,0039x + 50,41$  apresenta um valor calculado de 49,96 pontos (para  $R^2=0,9582$ ).

Portanto, pela tabela 08, no requisito habitação, essa habitação popular é considerada não sustentável.

## Questionário 8 (c) – Medição da sustentabilidade habitacional – Habitação.

**QUESTIONÁRIO**  
**HABITAÇÃO**

Este questionário tem por finalidade quantificar aspectos relevantes de um empreendimento habitacional popular com qualidade, inovado e sustentável.

Considerando que em construções habitacionais populares sustentáveis, a fase de "HABITAÇÃO", bem como a gestão dos elementos da obra (água, energia, materiais, ambiente interno, canteiro de obra, operação e manutenção, serviços públicos locais e mão de obra), pode ser correlacionada com a qualidade, a inovação tecnológica, a operação, a manutenção, o ambiente interno e a infraestrutura pública local adequada, identifique os percentuais das questões abaixo.

As respostas devem utilizar os seguintes pesos percentuais referente ao empreendimento em análise, para cada requisito apresentado (Máquinas e equipamentos; Resíduos; Energia; Infraestrutura; Mão de obra):

25% sustentável; 50% sustentável; 75% sustentável; 95% sustentável.

**Para cada requisito apresentado a seguir, qual é o percentual de aplicabilidade no empreendimento em análise?**

Requisito I – MAQUINAS E EQUIPAMENTOS	%
<b>Desempenho térmico com:</b> Aberturas arquitetônicas para ventilação e sombreamento; Desempenho térmico das paredes e coberturas.	<b>50</b>
<b>Acessibilidade às instalações, equipamentos e elementos construtivos com:</b> A operação e manutenção dos equipamentos e facilidade de manutenção e limpeza dos elementos construtivos.	

Requisito II - RESÍDUOS	%
<b>Gestão do desempenho durante o uso da edificação com:</b> As atividades de manutenção; Garantia de manutenção da potabilidade de água; Viabilidade para o monitoramento do consumo de energia, água e gás; Viabilidade para a gestão de resíduos sólidos; Prevenção quanto aos incômodos causados aos ocupantes durante as atividades de manutenção e limpeza; Cultura de coleta seletiva; Áreas permeáveis.	<b>75</b>

Requisito III - ENERGIA	%
<b>Redução do consumo de água potável com:</b> Limitação das vazões nos pontos de utilização; Limitação do consumo de água para irrigação paisagística; Utilização de fontes alternativas de água; Medição do consumo com uso de medidores individuais; Utilização de parte da água pluvial.	
<b>Otimização da iluminação com:</b> Iluminação natural; artificial energeticamente eficiente; Eficiência na iluminação das áreas externas.	
<b>Uso de energias renováveis com:</b>	

## Questionário 8 (c) continuação – Medição da sustentabilidade habitacional – Habitação.

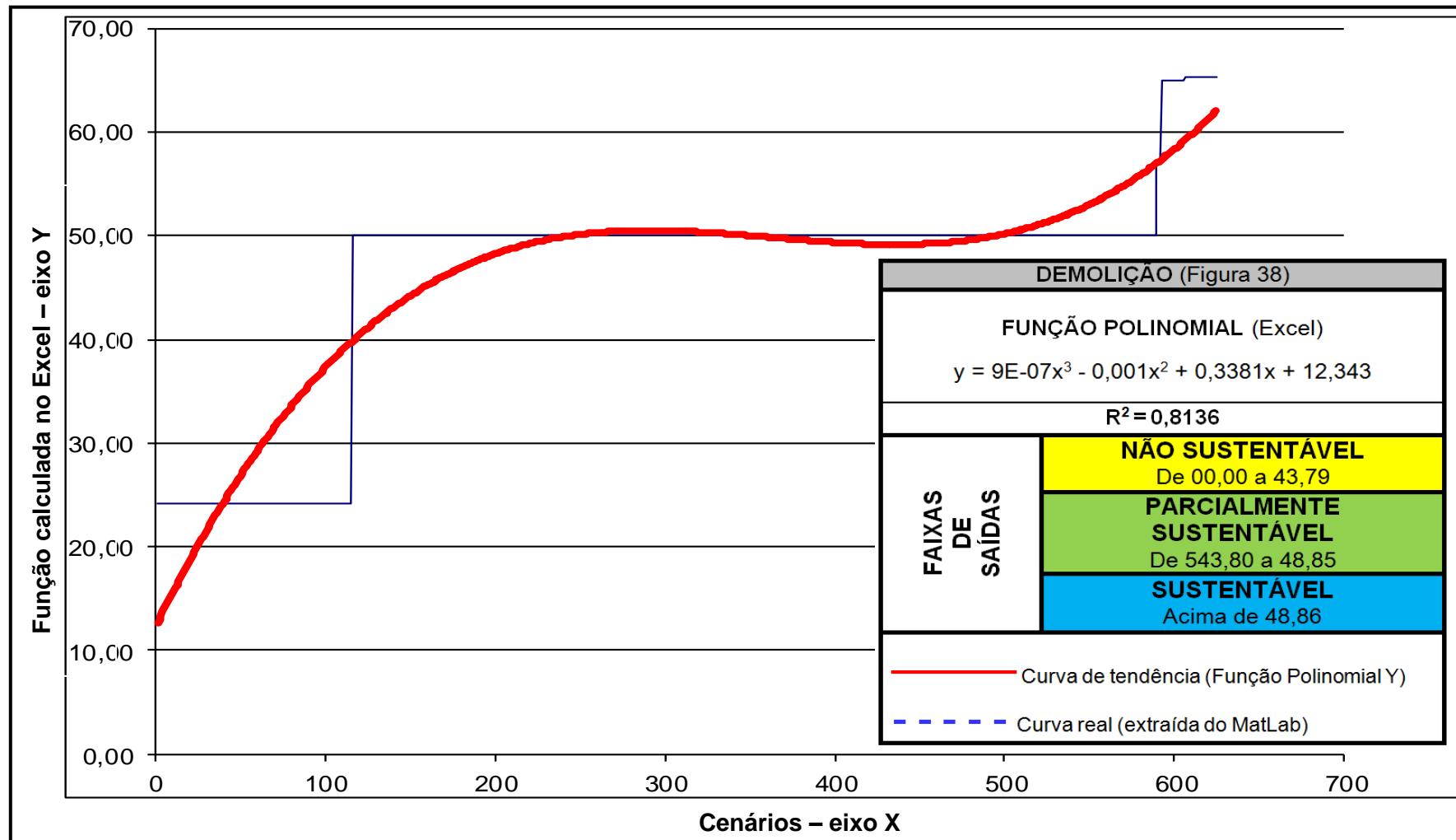
Aquecimento solar de água; Geração de energia elétrica no local por meio de fontes renováveis.	<b>95</b>						
<b>Uso de equipamentos com selo de eficiência energética PROCEL e outros dispositivos como:</b> Eletrodomésticos com selo PROCEL; Dispositivos economizadores; Equipamentos a gás.							
<b>Concepção dos espaços com:</b> Definição de premissas de projeto para eficiência energética no uso do empreendimento.							
<b>Requisito IV - INFRAESTRUTURA</b>							
Existência de serviços de responsabilidade do órgão público local com: Água encanada potável; Gás encanado; Luz; Telefonia fixa; Acesso a rede mundial - internet; Sinal de TV; Transporte público; Correios; Coleta de lixo comum; Coleta seletiva de lixo; Coleta de esgoto; Segurança pública; Praças e parques no entorno; Saúde pública; Escola pública.	<b>25</b>						
Participação da sociedade do entorno do empreendimento durante a fase de: Planejamento para a mitigação dos impactos ambientais e sociais do local.							
<b>Requisito V – MÃO DE OBRA</b>							
Consumo de recursos diminuído com: Redução das perdas de materiais; Implantação de ações potencialmente racionalizadoras; Redução de desperdício de mão de obra; Gestão do consumo de água, energia elétrica e gás.	<b>25</b>						
Uso de especialistas em: Construção; Automação; Manutenção; Demolição.							
<b>RESULTADO FINAL</b>							
<b>HABITAÇÃO</b>							
<b>I - MATERIAIS E EQUIPAMENTOS</b>	<b>II - RESÍDUOS</b>	<b>III - ENERGIA</b>	<b>IV - INFRAESTRUTURA</b>	<b>V - MÃO DE OBRA</b>			
%	%	%	%	%	CENÁ -RIO nº	FUNÇÃO (Y) CALCULA DA NO EXCEL	PARA A FASE DE HABITAÇÃO, ESTE EMPREENDIMENTO É CONSIDERADO COMO SENDO:
50	75	95	25	25	76	49,96	<b>NÃO SUSTENTÁVEL</b>

## C – DEMOLIÇÃO

### **FUNÇÃO POLINOMIAL**

Finalmente, o estudo do caso Demolição, figura 34, apresenta 625 cenários (eixo X) possíveis. A curva de tendência (**em vermelho -----**) reflete a função polinomial (Y), com sua precisão de respostas em 81,36% ( $R^2$ ), extraída do módulo de gráficos do *Microsoft Excel®*. A curva real (**em azul -----**) representa os dados reais processados e obtidos no *MatLab®*. A função polinomial ( $y = 9E-07x^3 - 0,001x^2 + 0,3381x + 12,343$ ) é o algoritmo que define o quanto a demolição dos conjuntos habitacionais populares em análise não são sustentáveis para uma faixa entre 0,00 e 43,79 pontos; ou são parcialmente sustentáveis para uma faixa entre 43,80 e 48,85 pontos; ou são sustentáveis para uma faixa acima de 48,86 pontos. No apêndice 7 (d) constam as tabelas que deram origem a esses gráficos.

Figura 34 – Função polinomial – Demolição.



Fonte: MatLab® 6.1. e Excel®.

## APLICAÇÃO DA FUNÇÃO POLINOMIAL NA OBTENÇÃO DOS ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE PARA AS HABITAÇÕES POPULARES

Após a identificação de uma função polinomial específica para o caso demolição, uma tabela 09 de índices (pontos) de correlação foi elaborada, em função das variáveis linguísticas independentes de entrada (I - Materiais e equipamentos; II - Resíduos; III - Energia; IV - Infraestrutura; V - Mão de obra).

Essa tabela 09 identifica se após ser respondido o questionário 08 (d) apêndice, a habitação popular é “Não sustentável”, Parcialmente sustentável” ou “Sustentável”.

Tabela 09 - Índices (pontos) de correlação – Demolição.

SAÍDA					
Não sustentável		Parcialmente sustentável		Sustentável	
ÍNDICES (PONTOS)		ÍNDICES (PONTOS)		ÍNDICES (PONTOS)	
0,00	43,79	43,80	48,85	48,86	70,00

Supondo-se, como exemplo, uma construção habitacional popular avaliada no requisito demolição com pontos respectivamente (95); (95); (25); (50); (75); cenário 567 do apêndice 7 (d); segundo o Questionário 08 (d), o sistema especialista retorna uma saída discreta igual a 50,00 pontos, para a qual saída, a função polinomial de tendência  $y = 9E-07x^3 - 0,001x^2 + 0,3381x + 12,343$  apresenta um valor calculado de 46,61 pontos (para  $R^2=0,8136$ ).

Portanto, pela tabela 09, no requisito demolição, essa habitação popular é considerada parcialmente sustentável.

Questionário 8 (d) – Medição da sustentabilidade habitacional – Demolição.

<b>QUESTIONÁRIO</b>	
<b>DEMOLIÇÃO</b>	
<p>Este questionário tem por finalidade quantificar aspectos relevantes de um empreendimento habitacional popular com qualidade, inovado e sustentável.</p> <p>Considerando que em construções habitacionais populares sustentáveis, a fase de "DEMOLIÇÃO", bem como a gestão dos elementos da obra (água, energia, materiais, ambiente interno, canteiro de obra, operação e manutenção, serviços públicos locais e mão de obra), pode ser correlacionada com a qualidade, a inovação tecnológica, a operação, a manutenção, o ambiente interno e a infraestrutura pública local adequada, identifique os percentuais das questões abaixo.</p> <p>As respostas devem utilizar os seguintes pesos percentuais referente ao empreendimento em análise, para cada requisito apresentado (Máquinas e equipamentos; Resíduos; Energia; Infraestrutura; Mão de obra):</p> <p style="text-align: center;">25% sustentável; 50% sustentável; 75% sustentável; 95% sustentável.</p> <p><b>Para cada requisito apresentado a seguir, qual é o percentual de aplicabilidade no empreendimento em análise?</b></p>	
<b>Requisito I – MAQUINAS E EQUIPAMENTOS</b>	<b>%</b>
Durabilidade do empreendimento com: Escolhas construtivas adequadas à vida útil pretendida; Maximização da vida útil do empreendimento.	<b>95</b>
<b>Requisito II - RESÍDUOS</b>	<b>%</b>
Reuso e reciclagem de materiais com redução da geração de resíduos com: Reuso de materiais; Uso de materiais em cujo ciclo de vida as emissões não sejam danosas; Uso de materiais com maior potencial de reuso e reciclagem pós-uso; Uso de materiais associados a baixas emissões; Reuso de formas e escorras; Uso de materiais pré-fabricados; Uso de materiais de qualidade. Gestão de resíduos de construção e demolição com: Manejo dos resíduos no canteiro de obras; Transporte e destinação adequada dos resíduos; Educação ambiental dos operários. Gestão da poluição e dos incômodos com: Redução da poluição e dos incômodos do entorno	<b>95</b>
<b>Requisito III - ENERGIA</b>	<b>%</b>
Uso de energias renováveis com: Aquecimento solar de água; Geração de energia elétrica no local por meio de fontes renováveis. Uso de equipamentos com selo de eficiência energética PROCEL e outros dispositivos como: Eletrodomésticos com selo PROCEL; Dispositivos economizadores; Equipamentos a gás.	<b>25</b>

Questionário 8 (d) continuação – Medição da sustentabilidade habitacional – Demolição.

Requisito IV - INFRAESTRUTURA		%
<b>Operacionalização da infraestrutura do canteiro de obras com:</b> Redução de impactos na etapa de serviços preliminares; Redução de impactos no armazenamento e movimentação de produtos; Redução de impactos na utilização de vias e espaços públicos; Redução das interferências na vizinhança.		<b>50</b>

Requisito V – MAO DE OBRA		%
<b>Consumo de recursos diminuído com:</b> Redução das perdas de materiais; Implantação de ações potencialmente racionalizadoras; Redução de desperdício de mão de obra; Gestão do consumo de água, energia elétrica e gás.		
<b>Gestão dos impactos sociais e econômicos dos canteiros de obras com:</b> Desenvolvimento dos funcionários próprios, sub-contratados e fornecedores; Apoio ao desenvolvimento local; Cuidados com a saúde e segurança dos funcionários.		<b>75</b>
<b>Uso de especialistas em:</b> Construção; Automação; Manutenção; Demolição.		

RESULTADO FINAL								
I - MATERIAIS E EQUIPAMENTOS		II - RESÍDUOS		III - ENERGIA		IV - INFRAESTRUTURA		V - MÃO DE OBRA
%	%	%	%	%	%	CENÁ -RIO nº	FUNÇÃO (Y) CALCULA DA NO EXCEL	PARA A FASE DE DEMOLIÇÃO, ESTE EMPREENDIMENTO É CONSIDERADO COMO SENDO:
95	95	25	50	75	567	46,61		PARCIALMENTE SUSTENTÁVEL

#### **4.15 Representatividade das fases da composição de um empreendimento popular sustentável**

Com o objetivo de obter a representatividade ponderada entre as fases (projeto, construção e manutenção, habitação e demolição) do ciclo de vida de um empreendimento habitacional, uma pesquisa bibliográfica foi realizada. Dessa pesquisa junto aos autores Pinheiro (2006), Degani (2002), Ganhão (2011) e Rocha (2007), pode-se considerar que:

- Segundo Pinheiro (2006), projeto sustentável é integrar no projeto aspectos relativos à durabilidade, uso de materiais reutilizáveis em vez de naturais, economia de energia, água e materiais, não deixando de prospectar a reciclagem do fim de vida da edificação. A etapa de projetos é a principal para um empreendimento habitacional sustentável. Em todo o processo de construção de um empreendimento habitacional, a etapa projeto é uma das mais importantes, nesse momento decisões são tomadas para as etapas restantes fases do ciclo de vida do empreendimento habitacional, tais como a definição do local e materiais a utilizar, os conceitos de sustentabilidade da construção. Nessa etapa, as decisões que se tomam influenciam diretamente os impactos ambientais;
- Para Degani (2002), a metodologia construtiva tem seu segundo lugar de forma ainda significativa, porém, em menor escala, quando comparada com a etapa de projetos. A manutenção tem seu lugar após a construção, sendo que dar manutenção com materiais e processos sustentáveis são também necessários;
- Pelo estudo de Ganhão (2011), pode-se afirmar que no ciclo de vida de um empreendimento habitacional, a habitação é a fase de maior duração entre as demais estudadas, estando sua significância nesse ciclo, posicionada entre a fase de construção/manutenção e a de demolição;
- Segundo Rocha (2007), a fase do ciclo de vida demolição, dentre todas as apresentadas anteriormente é a de menor representatividade. As demolidoras procuram reciclar todos os materiais resultantes de seu processo.

Com o objetivo de quantificar e validar as considerações feitas pelos 3 últimos autores citados, foi realizada uma pesquisa junto a um grupo de 10 profissionais do setor de habitações populares sustentáveis, conforme tabulação apresentada na tabela 10.

Tabela 10 – Classificação percentual das fases de um edifício habitacional popular

Profis- sionais	Atuação profissional	Proj. (%)	Constr/ Manut (%)	Habita- ção (%)	Demo- lição (%)
01	Professor Doutor em Engenharia Civil – Construção Civil sustentável	40	30	20	10
02	Engenheiro Civil projetista – Projetos construtivos de conjuntos habitacionais	45	35	10	10
03	Engenheiro Civil – Gerenciamento de Empreendimentos habitacionais populares	55	30	10	05
04	Engenheiro Civil – Fiscalizadora de construções habitacionais populares	50	40	05	05
05	Arquiteto – Sócio proprietário de empresa especializada em construção de habitações sustentáveis	50	20	15	15
06	Engenheiro civil – responsável por empresa demolidora de empreendimentos	65	15	10	10
07	Engenheiro Civil – proprietário de empresa de especializada em manutenção predial	45	30	15	10
08	Engenheiro Civil/Mecânico – funcionário de construtora de edifícios residências populares	60	20	10	10
09	Projetista Civil – funcionário de em presa pública do setor habitacional	55	20	15	10
10	Engenheiro de Produção – funcionário de empresa de demolição e reciclagem de materiais de construção civil	40	35	15	10
<b>Média final</b>		<b>50,50</b>	<b>27,50</b>	<b>12,50</b>	<b>9,50</b>

Do estudo dos autores Pinheiro (2006), Degani (2002), Ganhão (2011) e Rocha (2007) e do resultado da pesquisa junto aos 10 profissionais do setor de habitações populares sustentáveis, conforme a tabulação apresentada na tabela 10, foi considerado que para o passo 3b do processo de aplicação da ferramenta aqui criada, os seguintes ponderadores serão utilizados:

- 50,50% para Projetos;
- 27,50% para Construção e Manutenção;
- 12,50% para Habitação;
- 9,50% para Demolição.

#### 4.16 Identificação do grau de sustentabilidade total

Para identificação do grau de sustentabilidade total de um empreendimento habitacional popular, a composição dos cenários estudados foi compilada conforme quadro 14 podendo o empreendimento ser sustentável, parcialmente sustentável ou não sustentável.

Como condição de saída, tem-se que a maior somatória dos percentuais das linhas sustentável ou parcialmente sustentável ou não sustentável do Quadro 14, expressa o grau de sustentabilidade total do empreendimento habitacional popular.

Quadro 14 - A aplicação dessa identificação do grau de sustentabilidade total do empreendimento habitacional popular

	PROJETO (50,50%)	CONSTRU- ÇÃO E MANU- TENÇÃO (27,50%)	HABITA- ÇÃO (12,50%)	DEMO- LIÇÃO (9,50%)	$\Sigma$ (%)
SUSTENTÁVEL					
PARCIALMENTE SUSTENTÁVEL					
NÃO SUSTENTÁVEL					
<b>Grau de sustentabilidade total do empreendimento habitacional popular →</b>					

A aplicação dessa identificação do grau de sustentabilidade total do empreendimento habitacional popular será demostrada no item 4.17 a seguir.

#### 4.17 Aplicação passo a passo da ferramenta

A ferramenta obtida possibilita definir se uma construção civil habitacional é não sustentável, pouco sustentável, parcialmente sustentável ou sustentável quanto aos requisitos projeto, manutenção e construção, habitação e demolição. Esse tópico tem como função, apresentar o passo a passo dessa obtenção.

##### 1º Passo: Aplicação do questionário

- 1a) Projeto: apêndice 8a;
- 1b) Construção e manutenção: apêndice 8b;
- 1c) Habitação: apêndice 8c;
- 1d) Demolição: apêndice 8d.

## **2º Passo: Tabulação do questionário**

- 2a) Identificação do cenário que representa as respostas aos requisitos do questionário: apêndices 7a, 7b e 7c;
- 2b) Identificação do “Y” da função que representa o cenário obtido no item 2a acima: apêndices 7a, 7b e 7c.

## **3º Passo: Enquadramento sustentável do empreendimento habitacional**

- 3a) Com o uso dos apêndices 13a, 13b ou 13c, classificar o valor de “Y” dentro da faixa numérica: Não sustentável, parcialmente sustentável ou sustentável para os itens projeto, construção e manutenção, habitação e demolição.
- 3b) Utilizando a tabela 12 localizar em qual quadrante o empreendimento em estudo se situa, definindo, se o empreendimento habitacional popular é não sustentável, parcialmente sustentável ou sustentável.

## **4º Passo: Utilização do resultado gerado pela ferramenta**

- 4a) Tomada de ação por parte do usuário da ferramenta, quanto a aspectos de interesses diversos e necessidades específicas.

### **4.18 Validação quantitativa da ferramenta criada**

Com o objetivo de discutir com especialistas a aplicação da base de dados e ferramenta de classificação criada, foi consultado um grupo de 04 respondentes selecionados em função de sua especialização e tempo de experiência.

O grupo de respondentes selecionados foi:

#### **ÁREA DE ESTUDO – Projetos**

**Titulação:** Engenheiro civil / Arquiteto

**Especialização:** Gerenciamento de projetos

**Cargo:** Gerente de projetos - Edifícios

**Tempo de experiência no setor de análise:** 39 anos

**Área de atuação:** Fiscalização e gerenciamento de empreendimentos habitacionais

**ÁREA DE ESTUDO - Construção e Manutenção****Titulação:** Engenheiro civil**Especialização:** Construção residencial e comercial**Cargo:** Coordenador de obra civil**Tempo de experiência no setor de análise:** 28 anos**Área de atuação:** Fiscalização e gerenciamento de empreendimentos habitacionais**ÁREA DE ESTUDO – Habitação****Titulação:** Engenheiro civil**Especialização:** Gerenciamento de obras**Cargo:** Gerente de empreendimentos habitacionais**Tempo de experiência no setor de análise:** 40 anos**Área de atuação:** Fiscalização e gerenciamento de empreendimentos habitacionais**ÁREA DE ESTUDO – Demolição****Titulação:** Engenheiro civil / Materiais**Especialização:** Demolição e Reciclagem de Resíduos da construção civil**Cargo:** Sócio / Proprietário**Tempo de experiência no setor de análise:** 29 anos**Área de atuação:** Demolição de estruturas prediais e fabris

A unidade habitacional avaliada pelos especialistas, desse ponto em diante é denominada como “Conjunto Habitacional CDHU”.

Dentre outras, algumas características básicas do Conjunto Habitacional CDHU analisado pelos especialistas foram apresentadas na tabela 11.

Tabela 11 - Características básicas do Conjunto Habitacional CDHU analisado

<b>Características básicas do Conj. Hab. CDHU</b>		<b>Características básicas do Conj. Hab. CDHU</b>	
<b>Nome do empreendimento</b>	Conjunto Habitacional CDHU	<b>Início da obra</b>	Julho/2009
<b>Localização</b>	Sorocaba / SP	<b>Término da obra</b>	Novembro/2011
<b>Apartamentos</b>	90	<b>Banheiro</b>	1
<b>Pé-direito</b>	2,6 metros	<b>Área de serviço</b>	1
<b>Sistema de aquecimento</b>	Solar	<b>Cozinha</b>	1
<b>Torres</b>	05	<b>Garagem</b>	1
<b>Área quadrada</b>	54	<b>Lazer</b>	Quadra de esportes; Churrasqueira; Salão de festas; Parquinho
<b>Medidores de água</b>	Individual	<b>Permeabilidade do terreno</b>	Cobertura vegetal: Jardins e canteiros
<b>Sistema construtivo</b>	Blocos	<b>Portão</b>	Eletrônico
<b>Durabilidade</b>	25 a 50 anos	<b>Acesso à educação</b>	05 escolas estaduais e 03 municipais no raio de 3 km.
<b>Ruas no entorno</b>	Ajardinadas	<b>Imagens e valores da comunidade</b>	Sem rejeição da comunidade
<b>Condomínio</b>	R\$110,00	<b>Acesso aos serviços de saúde</b>	02 postos de saúde e 02 hospitais públicos em um raio de 3 km.
<b>Andares</b>	Térreo + 4	<b>Acesso ao transporte coletivo</b>	10 linhas de ônibus em um raio de 1 km.
<b>Valor por unidade</b>	R\$130.000,00	<b>Acesso ao trabalho</b>	Geração de emprego direto e indireto
<b>Investimento total</b>	R\$ 3.600.000,00	<b>Condições topográficas do local antes da obra</b>	Planície arborizada
<b>Tipo</b>	Apartamento / Vertical	<b>Calçamento com piso das ruas internas</b>	Intertravado
<b>Acesso aos andares</b>	Escada	<b>Qualidade das águas</b>	Lançamento de efluentes domésticos
<b>Quartos</b>	2		

**Nota:** Os especialistas para avaliarem o Conjunto Habitacional CDHU, tiveram acesso a outros dados que por serem confidenciais não foram registrados nesta tese.

## PROJETO

O primeiro questionário (Projeto) que deu sustentação a essa parte do processo de validação junto a especialistas, está descrito na sequência, após seguir os 4 passos descritos no item 4.15.

## 1º PASSO: Aplicação do questionário

QUESTIONÁRIO	
PROJETO	
<p>Este questionário tem por finalidade quantificar aspectos relevantes de um empreendimento habitacional popular com qualidade, inovado e sustentável.</p> <p>Considerando que em construções habitacionais populares sustentáveis, a fase de "PROJETO", bem como a gestão dos elementos da obra (água, energia, materiais, ambiente interno, canteiro de obra, operação e manutenção, serviços públicos locais e mão de obra), pode ser correlacionada com a qualidade, a inovação tecnológica, a operação, a manutenção, o ambiente interno e a infraestrutura pública local adequada, identifique os percentuais das questões abaixo.</p> <p>As respostas devem utilizar os seguintes pesos percentuais referente ao empreendimento em análise, para cada requisito apresentado (Máquinas e equipamentos, Resíduos; Energia; Infraestrutura; Mão de obra):</p> <p style="text-align: center;"><b>25% sustentável; 50% sustentável; 75% sustentável; 95% sustentável.</b></p> <p><b>Para cada requisito apresentado a seguir, qual é o percentual de aplicabilidade no empreendimento em análise?</b></p>	
<b>Requisito I – MAQUINAS E EQUIPAMENTOS</b> <b>Desempenho térmico com:</b> Aberturas arquitetônicas para ventilação e sombreamento; <b>Desempenho térmico das paredes e coberturas</b> <b>Uso responsável da madeira - fornecedores social e ambientalmente responsáveis, com:</b> Utilização de madeira de origem legal (certificada) - fornecedor local; Não utilização de madeira tratadas com produtos químicos perigosos; Uso de madeira de reflorestamento; Uso de espécies de madeira; Resistentes a intempéries e insetos; Proteção das peças de madeira contra umidade garantindo a durabilidade. <b>Qualidade do ar interno; da água; dos espaços internos. Conforto térmico; visual; acústico. Com:</b> Manutenção das características físico-químicas e bacteriológicas da água; Conforto térmico no verão e no inverno; Desempenho janelas; Acesso a vistas externas; Espaço exterior privativo; Privacidade nos ambientes; Isolamento acústico; Controle da exposição eletromagnética; Criação de condições de higiene; Acessibilidade; Lazer e esporte; Paisagismo. <b>Durabilidade do empreendimento com:</b> Escolhas construtivas adequadas à vida útil pretendida; Maximização da vida útil do empreendimento. <b>Acessibilidade às instalações, equipamentos e elementos construtivos com:</b> A operação e manutenção dos equipamentos e facilidade de manutenção e limpeza dos elementos construtivos.	<b>%</b> <b>75</b>

## 1º PASSO: Aplicação do questionário (continuação)

Requisito II - RESÍDUOS	%
<b>Reuso e reciclagem de materiais com redução da geração de resíduos com:</b> Reuso de materiais; Uso de materiais em cujo ciclo de vida as emissões não sejam danosas; Uso de materiais com maior potencial de reuso e reciclagem pós-uso; Uso de materiais associados a baixas emissões; Reuso de formas e escoras; Uso de materiais pré-fabricados; Uso de materiais de qualidade.	50
<b>Gestão de resíduos de construção e demolição com:</b> Manejo dos resíduos no canteiro de obras; Transporte e destinação adequada dos resíduos; Educação ambiental dos operários.	
<b>Gestão da poluição e dos incômodos com:</b> Redução da poluição e dos incômodos do entorno.	
Requisito III - ENERGIA	%
<b>Redução do consumo de água potável com:</b> Limitação das vazões nos pontos de utilização; Limitação do consumo de água para irrigação paisagística; Utilização de fontes alternativas de água; Medição do consumo com uso de medidores individuais; Utilização de parte da água pluvial.	
<b>Otimização da iluminação com:</b> Iluminação natural; artificial energeticamente eficiente; Eficiência na iluminação das áreas externas.	
<b>Uso de energias renováveis com:</b> Aquecimento solar de água; Geração de energia elétrica no local por meio de fontes renováveis.	25
<b>Uso de equipamentos com selo de eficiência energética PROCEL e outros dispositivos como:</b> Eletrodomésticos com selo PROCEL; Dispositivos economizadores; Equipamentos a gás.	
<b>Concepção dos espaços com:</b> Definição de premissas de projeto para eficiência energética no uso do empreendimento.	
Requisito IV - INFRAESTRUTURA	%
<b>Operacionalização da infraestrutura do canteiro de obras com:</b> Redução de impactos na etapa de serviços preliminares; Redução de impactos no armazenamento e movimentação de produtos; Redução de impactos na utilização de vias e espaços públicos; Redução das interferências na vizinhança.	
<b>Gestão do desempenho durante o uso da edificação com:</b> Atividades de manutenção; Garantia de manutenção da potabilidade de água; Viabilidade para o monitoramento do consumo de energia, água e gás; Viabilidade para a gestão de resíduos sólidos; Prevenção quanto aos incômodos causados aos ocupantes durante as atividades de manutenção e limpeza; Cultura de coleta	95

## **1º PASSO: Aplicação do questionário (continuação)**

seletiva; Áreas permeáveis.	
<b>Existência de serviços de responsabilidade do órgão público local com:</b> Água encanada potável; Gás encanado; Luz; Telefonia fixa; Acesso a rede mundial - internet; Sinal de TV; Transporte público; Correios; Coleta de lixo comum; Coleta seletiva de lixo; Coleta de esgoto; Segurança pública; Praças e parques no entorno; Saúde pública; Escola pública.	
<b>Participação da sociedade do entorno do empreendimento durante a fase de:</b> Planejamento para a mitigação dos impactos ambientais e sociais do local.	
<b>Requisito V – MAO DE OBRA</b>	<b>%</b>
<b>Consumo de recursos diminuído com:</b> Redução das perdas de materiais; Implantação de ações potencialmente racionalizadoras; Redução de desperdício de mão de obra; Gestão do consumo de água, energia elétrica e gás.	
<b>Gestão dos impactos sociais e econômicos dos canteiros de obras com:</b> Desenvolvimento dos funcionários próprios, sub-contratados e fornecedores; Apoio ao desenvolvimento local; Cuidados com a saúde e segurança dos funcionários.	<b>75</b>
<b>Uso de especialistas em:</b> Construção; Automação; Manutenção; Demolição.	

## 2º PASSO: Tabulação do questionário

Exemplo do apêndice 7 a (tabela que relaciona cenário x saída) aplicado à área de projetos na fase de validação da base de dados e da ferramenta criada nesta tese:

						PROJETO
ME	RE	EN.	IE	MO	CENÁRIO (X)	FUNÇÃO (Y) CALCULADA NO EXCEL®
25	25	75	75	50	1	38,72
25	25	75	95	75	2	38,95
<b>75</b>	<b>50</b>	<b>25</b>	<b>95</b>	<b>75</b>	<b>66</b>	<b>50,95</b>
95	95	75	95	95	624	69,99
50	50	50	50	75	625	70,00

RESULTADO FINAL							
PROJETO							
I - MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	II - RESÍDUOS	III - ENERGIA	IV - INFRAESTRUTURA	V - MÃO DE OBRA	CENÁRIO -RIO n°	FUNÇÃO (Y) CALCULADA NO EXCEL (Apêndice 7a)	PARA A FASE DE PROJETO, ESTE EMPREENDIMENTO É CONSIDERADO COMO SENDO (Tabela 6):
75	50	25	95	75	66	50,95	<b>NÃO SUSTENTÁVEL</b>

### 3º PASSO: Enquadramento sustentável do empreendimento habitacional

Exemplo da tabela 06 aplicada à área de projeto na fase de validação da base de dados e da ferramenta criada nesta tese:

Não sustentável		Parcialmente sustentável		Sustentável	
ÍNDICES (PONTOS)		ÍNDICES (PONTOS)		ÍNDICES (PONTOS)	
0,00	62,01	62,02	68,99	69,00	70,00

### 4º PASSO: Utilização do resultado gerado pela ferramenta

Os valores das respostas foram respectivamente 75% sustentável para máquinas e equipamentos, 50% sustentável para resíduos, 25% sustentável para energia, 95% sustentável para infraestrutura e 75% sustentável para mão de obra. Ao entrar com esses valores na tabela do apêndice 7 (a) que relaciona o cenário de saída da função polinomial, obteve-se 50,95% de sustentabilidade, a qual ao ser aplicada na tabela 06, define os intervalos não sustentável, parcialmente sustentável e não sustentável, finalmente se concluiu como essa área sendo não sustentável.

## CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO

O segundo questionário (construção e manutenção) que deu sustentação a essa parte do processo de validação junto a especialistas, está descrito na sequência, após seguir os 4 passos descritos no item 4.15.

## 1º PASSO: Aplicação do questionário

QUESTIONÁRIO	
CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO	
<p>Este questionário tem por finalidade quantificar aspectos relevantes de um empreendimento habitacional popular com qualidade, inovado e sustentável.</p> <p>Considerando que em construções habitacionais sustentáveis, a fase de "CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO", bem como a gestão dos elementos da obra (água, energia, materiais, ambiente interno, canteiro de obra, operação e manutenção, serviços públicos locais e mão de obra), pode ser correlacionada com a qualidade, a inovação tecnológica, a operação, a manutenção, o ambiente interno e a infraestrutura pública local adequada, identifique os percentuais das questões abaixo.</p> <p>As respostas devem utilizar os seguintes pesos percentuais referente ao empreendimento em análise, para cada requisito apresentado (Máquinas e equipamentos, Resíduos; Energia; Infraestrutura; Mão de obra):</p> <p style="text-align: center;"><b>25% sustentável; 50% sustentável; 75% sustentável; 95% sustentável.</b></p> <p><b>Para cada requisito apresentado a seguir, qual é o percentual de aplicabilidade no empreendimento em análise?</b></p>	
<b>Requisito I – MAQUINAS E EQUIPAMENTOS</b> <b>Desempenho térmico com:</b> Aberturas arquitetônicas para ventilação e sombreamento; <b>Desempenho térmico das paredes e coberturas.</b> <b>Uso responsável da madeira - fornecedores social e ambientalmente responsáveis, com:</b> Utilização de madeira de origem legal (certificada) - fornecedor local; Nao utilização de madeira tratadas com produtos químicos perigosos; Uso de madeira de reflorestamento; Uso de espécies de madeira; Resistentes a intempéries e insetos; Proteção das peças de madeira contra umidade garantindo a durabilidade. <b>Durabilidade do empreendimento com:</b> Escolhas construtivas adequadas à vida útil pretendida; Maximização da vida útil do empreendimento. <b>Acessibilidade às instalações, equipamentos e elementos construtivos com:</b> A operação e manutenção dos equipamentos e facilidade de manutenção e limpeza dos elementos construtivos.	<b>%</b> <b>75</b>
<b>Requisito II - RESÍDUOS</b> <b>Reuso e reciclagem de materiais com redução da geração de resíduos com:</b> Reuso de materiais; Uso de materiais em cujo ciclo de vida as emissões não sejam danosas; Uso de materiais com maior potencial de reuso e reciclagem pós-uso; Uso de materiais associados a	<b>%</b>

## 1º PASSO: Aplicação do questionário (continuação)

<p>baixas emissões; Reuso de formas e escoras; Uso de materiais pré-fabricados; Uso de materiais de qualidade.</p> <p><b>Gestão de resíduos de construção e demolição com:</b> Manejo dos resíduos no canteiro de obras; Transporte e destinação adequada dos resíduos; Educação ambiental dos operários.</p> <p><b>Gestão da poluição e dos incômodos com:</b> Redução da poluição e dos incômodos do entorno.</p>	<b>75</b>
<p><b>Requisito III - ENERGIA</b></p> <p><b>Redução do consumo de água potável com:</b> Limitação das vazões nos pontos de utilização; Limitação do consumo de água para irrigação paisagística; Utilização de fontes alternativas de água; Medição do consumo com uso de medidores individuais; Utilização de parte da água pluvial.</p> <p><b>Otimização da iluminação com:</b> Iluminação natural; artificial energeticamente eficiente; Eficiência na iluminação das áreas externas.</p> <p><b>Uso de energias renováveis com:</b> Aquecimento solar de água; Geração de energia elétrica no local por meio de fontes renováveis.</p> <p><b>Uso de equipamentos com selo de eficiência energética PROCEL e outros dispositivos como:</b> Eletrodomésticos com selo PROCEL; Dispositivos economizadores; Equipamentos a gás.</p>	<b>50</b>
<p><b>Requisito IV - INFRAESTRUTURA</b></p> <p><b>Operacionalização da infraestrutura do canteiro de obras com:</b> Redução de impactos na etapa de serviços preliminares; Redução de impactos no armazenamento e movimentação de produtos; Redução de impactos na utilização de vias e espaços públicos; Redução das interferências na vizinhança.</p> <p><b>Existência de serviços de responsabilidade do órgão público local com:</b> Água encanada potável; Gás encanado; Luz; Telefonia fixa; Acesso a rede mundial - internet; Sinal de TV; Transporte público; Correios; Coleta de lixo comum; Coleta seletiva de lixo; Coleta de esgoto; Segurança pública; Praças e parques no entorno; Saúde pública; Escola pública.</p> <p><b>Participação da sociedade do entorno do empreendimento durante a fase de:</b> Planejamento para a mitigação dos impactos ambientais e sociais do local.</p>	<b>50</b>
<p><b>Requisito V – MAO DE OBRA</b></p> <p><b>Consumo de recursos diminuído com:</b> Redução das perdas de materiais; Implantação de ações potencialmente racionalizadoras; Redução de desperdício de mão de obra; Gestão do consumo de água, energia elétrica e gás.</p>	

## 1º PASSO: Aplicação do questionário (continuação)

<p><b>Gestão dos impactos sociais e econômicos dos canteiros de obras com:</b>  <b>Desenvolvimento dos funcionários próprios, sub-contratados e fornecedores; Apoio ao desenvolvimento local; Cuidados com a saúde e segurança dos funcionários.</b></p> <p><b>Uso de especialistas em:</b>  <b>Construção; Automação; Manutenção; Demolição.</b></p>	<b>75</b>
---	-----------

## 2º PASSO: Tabulação do questionário

Exemplo do apêndice 7 b (tabela que relaciona cenário x saída) aplicado à área de habitação na fase de validação da base de dados e da ferramenta criada nesta tese::

MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	RESÍDUOS	ENERGIA	INFRAESTRUTURA	MÃO DE OBRA	CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO						
					ME	RE	EN.	IE	MO	CENÁRIO (X)	FUNÇÃO (Y) CALCULADA NO EXCEL®
50	25	95	75	25						1	45,69
50	25	95	75	50						2	45,85
...	...	...	...	...						...	...
<b>75</b>	<b>75</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>75</b>						<b>533</b>	<b>62,35</b>
...	...	...	...	...						...	...
95	95	75	95	75						624	63,36
95	95	75	95	95						625	63,39

RESULTADO FINAL							
CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO							
I - MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	II - RESÍDUOS	III - ENERGIA	IV - INFRAESTRUTURA	V - MÃO DE OBRA	CENÁRIO	FUNÇÃO (Y) CALCULADA NO EXCEL (Apêndice 7 (b))	PARA A FASE DE CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO, ESTE EMPREENDIMENTO É CONSIDERADO COMO SENDO (Tabela 7):
%	%	%	%	%	CENÁRIO nº		
<b>75</b>	<b>75</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>75</b>	<b>533</b>	<b>62,35</b>	<b>PARCIALMENTE SUSTENTÁVEL</b>

### 3º PASSO: Enquadramento sustentável do empreendimento habitacional

Exemplo da tabela 07 aplicada à área de construção e manutenção na fase de validação da base de dados e da ferramenta criada nesta tese:					
Não sustentável		Parcialmente sustentável		Sustentável	
ÍNDICES (PONTOS)		ÍNDICES (PONTOS)		ÍNDICES (PONTOS)	
0,00	60,00	60,01	63,99	64,00	70,00

### 4º PASSO: Utilização do resultado gerado pela ferramenta

Os valores das respostas foram respectivamente 75% sustentável para máquinas e equipamentos, 75% sustentável para resíduos, 95% sustentável para energia, 50% sustentável para infraestrutura e 75% sustentável para mão de obra. Ao entrar com esses valores na tabela do apêndice 7 (b) que relaciona o cenário de saída da função polinomial, obteve-se 62,35,36% de sustentabilidade, a qual ao ser aplicada na tabela 07, define os intervalos não sustentável, parcialmente sustentável e não sustentável, finalmente se concluiu como esta área sendo parcialmente sustentável.

## HABITAÇÃO

O terceiro questionário (Habitação) que deu sustentação a essa parte do processo de validação junto a especialistas, está descrito na sequência, após seguir os 4 passos descritos no item 4.15.

## 1º PASSO: Aplicação do questionário

QUESTIONÁRIO	
HABITAÇÃO	
<p>Este questionário tem por finalidade quantificar aspectos relevantes de um empreendimento habitacional popular com qualidade, inovado e sustentável.</p> <p>Considerando que em construções habitacionais populares sustentáveis, a fase de "HABITAÇÃO", bem como a gestão dos elementos da obra (água, energia, materiais, ambiente interno, canteiro de obra, operação e manutenção, serviços públicos locais e mão de obra), pode ser correlacionada com a qualidade, a inovação tecnológica, a operação, a manutenção, o ambiente interno e a infraestrutura pública local adequada, identifique os percentuais das questões abaixo.</p> <p>As respostas devem utilizar os seguintes pesos percentuais referente ao empreendimento em análise, para cada requisito apresentado (Máquinas e equipamentos, Resíduos; Energia; Infraestrutura; Mão de obra):</p> <p style="text-align: center;"><b>25% sustentável; 50% sustentável; 75% sustentável; 95% sustentável.</b></p> <p><b>Para cada requisito apresentado a seguir, qual é o percentual de aplicabilidade no empreendimento em análise?</b></p>	
<b>Requisito I – MAQUINAS E EQUIPAMENTOS</b>	%
<b>Desempenho térmico com:</b> Aberturas arquitetônicas para ventilação e sombreamento; <b>Acessibilidade às instalações, equipamentos e elementos construtivos com:</b> A operação e manutenção dos equipamentos e facilidade de manutenção e limpeza dos elementos construtivos.	<b>75</b>
<b>Requisito II - RESÍDUOS</b>	%
<b>Gestão do desempenho durante o uso da edificação com:</b> As atividades de manutenção; Garantia de manutenção da potabilidade de água; Viabilidade para o monitoramento do consumo de energia, água e gás; Viabilidade para a gestão de resíduos sólidos; Prevenção quanto aos incômodos causados aos ocupantes durante as atividades de manutenção e limpeza; Cultura de coleta seletiva; Áreas permeáveis.	<b>75</b>
<b>Requisito III - ENERGIA</b>	%
<b>Redução do consumo de água potável com:</b> Limitação das vazões nos pontos de utilização; Limitação do consumo de água para irrigação paisagística; Utilização de fontes alternativas de água; Medição do consumo com uso de medidores individuais; Utilização de parte da água pluvial. <b>Otimização da iluminação com:</b> Iluminação natural; artificial energeticamente eficiente; Eficiência na iluminação das áreas externas. <b>Uso de energias renováveis com:</b>	

## 1º PASSO: Aplicação do questionário (continuação)

<p>Aquecimento solar de água; Geração de energia elétrica no local por meio de fontes renováveis.</p> <p><b>Uso de equipamentos com selo de eficiência energética PROCEL e outros dispositivos como:</b> Eletrodomésticos com selo PROCEL; Dispositivos economizadores; Equipamentos a gás.</p> <p><b>Concepção dos espaços com:</b> Definição de premissas de projeto para eficiência energética no uso do empreendimento.</p>	<b>95</b>
<p><b>Requisito IV - INFRAESTRUTURA</b></p> <p><b>Existência de serviços de responsabilidade do órgão público local com:</b> Água encanada potável; Gás encanado; Luz; Telefonia fixa; Acesso a rede mundial - internet; Sinal de TV; Transporte público; Correios; Coleta de lixo comum; Coleta seletiva de lixo; Coleta de esgoto; Segurança pública; Praças e parques no entorno; Saúde pública; Escola pública.</p> <p><b>Participação da sociedade do entorno do empreendimento durante a fase de:</b> Planejamento para a mitigação dos impactos ambientais e sociais do local.</p>	<b>%</b> <b>50</b>
<p><b>Requisito V – MÃO DE OBRA</b></p> <p><b>Consumo de recursos diminuído com:</b> Redução das perdas de materiais; Implantação de ações potencialmente racionalizadoras; Redução de desperdício de mão de obra; Gestão do consumo de água, energia elétrica e gás.</p> <p><b>Uso de especialistas em:</b> Construção; Automação; Manutenção; Demolição.</p>	<b>75</b>

## 2º PASSO: Tabulação do questionário

Exemplo do apêndice 7 c (tabela que relaciona cenário x saída) aplicado à área de habitação na fase de validação da base de dados e da ferramenta criada nesta tese:

MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	RESÍDUOS	ENERGIA	INFRAESTRUTURA	MÃO DE OBRA	HABITAÇÃO	
					CENÁRIO (X)	FUNÇÃO (Y) CALCULADA NO EXCEL®
ME	RE	EN.	IE	MO		
50	25	95	75	25	1	50,41
50	25	95	75	50	2	50,42
...	...	...	...	...	...	...
<b>75</b>	<b>75</b>	<b>95</b>	<b>50</b>	<b>75</b>	<b>156</b>	<b>49,36</b>
...	...	...	...	...	...	...
95	75	25	75	50	624	66,33
95	50	25	75	50	625	66,28

RESULTADO FINAL							
HABITAÇÃO							
I - MATERIAIS E EQUIPAMENTOS		II - RESÍDUOS		III - ENERGIA		IV - INFRAESTRUTURA	
%	%	%	%	%	%	V - MÃO DE OBRA	
75	75	95	50	75	156	49,36	PARA A FASE DE HABITAÇÃO, ESTE EMPREENDIMENTO É CONSIDERADO COMO SENDO (Tabela 8): <b>NÃO SUSTENTÁVEL</b>

### 3º PASSO: Enquadramento sustentável do empreendimento habitacional

Exemplo da tabela 08 aplicada à área de habitação na fase de validação da base de dados e da ferramenta criada nesta tese:

Não sustentável		Parcialmente sustentável		Sustentável	
ÍNDICES (PONTOS)		ÍNDICES (PONTOS)		ÍNDICES (PONTOS)	
0,00	53,99	54,00	64,99	65,00	70,00

### 4º PASSO: Utilização do resultado gerado pela ferramenta

Os valores das respostas foram respectivamente 75% sustentável para máquinas e equipamentos, 75% sustentável para resíduos, 95% sustentável para energia, 50% sustentável para infraestrutura e 75% sustentável para mão de obra. Ao entrar com esses valores na tabela do apêndice 7 (c) que relaciona o cenário de saída da função polinomial, obteve-se 49,36% de sustentabilidade, a qual ao ser aplicada na tabela 08, define os intervalos não sustentável, parcialmente sustentável e não sustentável, finalmente se concluiu como esta área sendo não sustentável.

## DEMOLIÇÃO

O quarto questionário (Demolição) que deu sustentação a esta parte do processo de validação junto a especialistas, está descrito na sequência, após seguir os 4 passos descritos no item 4.15.

## 1º PASSO: Aplicação do questionário

QUESTIONÁRIO	
DEMOLIÇÃO	
<p>Este questionário tem por finalidade quantificar aspectos relevantes de um empreendimento habitacional popular com qualidade, inovado e sustentável.</p> <p>Considerando que em construções habitacionais populares sustentáveis, a fase de "DEMOLIÇÃO", bem como a gestão dos elementos da obra (água, energia, materiais, ambiente interno, canteiro de obra, operação e manutenção, serviços públicos locais e mão de obra), pode ser correlacionada com a qualidade, a inovação tecnológica, a operação, a manutenção, o ambiente interno e a infraestrutura pública local adequada, identifique os percentuais das questões abaixo.</p> <p>As respostas devem utilizar os seguintes pesos percentuais referente ao empreendimento em análise, para cada requisito apresentado (Máquinas e equipamentos, Resíduos; Energia; Infraestrutura; Mão de obra):</p> <p style="text-align: center;"><b>25% sustentável; 50% sustentável; 75% sustentável; 95% sustentável.</b></p> <p><b>Para cada requisito apresentado a seguir, qual é o percentual de aplicabilidade no empreendimento em análise?</b></p>	
<b>Requisito I – MAQUINAS E EQUIPAMENTOS</b>	%
Durabilidade do empreendimento com: Escolhas construtivas adequadas à vida útil pretendida; Maximização da vida útil do empreendimento.	<b>75</b>
<b>Requisito II - RESÍDUOS</b>	%
Reuso e reciclagem de materiais com redução da geração de resíduos com: Reuso de materiais; Uso de materiais em cujo ciclo de vida as emissões não sejam danosas; Uso de materiais com maior potencial de reuso e reciclagem pós-uso; Uso de materiais associados a baixas emissões; Reuso de formas e escorras; Uso de materiais pré-fabricados; Uso de materiais de qualidade.	<b>95</b>
Gestão de resíduos de construção e demolição com: Manejo dos resíduos no canteiro de obras; Transporte e destinação adequada dos resíduos; Educação ambiental dos operários.	
Gestão da poluição e dos incômodos com: Redução da poluição e dos incômodos do entorno	
<b>Requisito III - ENERGIA</b>	%
Uso de energias renováveis com: Aquecimento solar de água; Geração de energia elétrica no local por meio de fontes renováveis.	<b>50</b>
Uso de equipamentos com selo de eficiência energética PROCEL e outros dispositivos como: Eletrodomésticos com selo PROCEL; Dispositivos economizadores; Equipamentos a gás.	

## 1º PASSO: Aplicação do questionário (continuação)

Requisito IV - INFRAESTRUTURA		%
<b>Operacionalização da infraestrutura do canteiro de obras com:</b> Redução de impactos na etapa de serviços preliminares; Redução de impactos no armazenamento e movimentação de produtos; Redução de impactos na utilização de vias e espaços públicos; Redução das interferências na vizinhança.		
<b>Existência de serviços de responsabilidade do órgão público local com:</b> Água encanada potável; Gás encanado; Luz; Telefonia fixa; Acesso a rede mundial - internet; Sinal de TV; Transporte público; Correios; Coleta de lixo comum; Coleta seletiva de lixo; Coleta de esgoto; Segurança pública; Praças e parques no entorno; Saúde pública; Escola pública.		50
Requisito V – MÃO DE OBRA		%
<b>Consumo de recursos diminuído com:</b> Redução das perdas de materiais; Implantação de ações potencialmente racionalizadoras; Redução de desperdício de mão de obra; Gestão do consumo de água, energia elétrica e gás.		
<b>Gestão dos impactos sociais e econômicos dos canteiros de obras com:</b> Desenvolvimento dos funcionários próprios, sub-contratados e fornecedores; Apoio ao desenvolvimento local; Cuidados com a saúde e segurança dos funcionários.		75
<b>Uso de especialistas em:</b> Construção; Automação; Manutenção; Demolição.		

## 2º PASSO: Tabulação do questionário

Exemplo do apêndice 7 d (tabela que relaciona cenário x saída) aplicado à área de demolição na fase validação da base de dados e da ferramenta criada nesta tese::											
MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	RESÍDUOS	ENERGIA	INFRAESTRUTURA	MÃO DE OBRA	DEMOLIÇÃO						
					ME	RE	EN.	IE	MO	CENÁRIO (X)	FUNÇÃO (Y) CALCULADA NO EXCEL®
25	25	25	25	25	1						12,68
25	95	95	25	50	2						13,02
...	...	...	...	...	...						...
75	95	50	50	75	425						44,50
...	...	...	...	...	...						...
95	25	25	95	75	624						52,61
95	25	25	95	95	625						52,76

RESULTADO FINAL							
I - MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	II - RESÍDUOS	III - ENERGIA	IV - INFRAESTRUTURA	V - MÃO DE OBRA	DEMOLIÇÃO		
%	%	%	%	%	CENÁRIO n°	FUNÇÃO (Y) CALCULADA NO EXCEL (Apêndice - 7d)	PARA A FASE DE DEMOLIÇÃO, ESTE EMPREENDIMENTO É CONSIDERADO COMO SENDO (Tabela 9):
75	95	50	50	75	425	44,50	PARCIALMENTE SUSTENTÁVEL

### 3º PASSO: Enquadramento sustentável do empreendimento habitacional

Exemplo da tabela 09 aplicada à área de demolição na fase de validação da base de dados e da ferramenta criada nesta tese::

Não sustentável		Parcialmente sustentável		Sustentável	
ÍNDICES (PONTOS)		ÍNDICES (PONTOS)		ÍNDICES (PONTOS)	
0,00	43,79	43,80	48,85	48,86	70,00

### 4º PASSO: Utilização do resultado gerado pela ferramenta

Os valores das respostas foram, respectivamente, 75% sustentável para máquinas e equipamentos, 95% sustentável para resíduos, 50% sustentável para energia, 50% sustentável para infraestrutura e 75% sustentável para mão de obra. Ao entrar com esses valores na tabela do apêndice 7 (d), que relaciona o cenário de saída da função polinomial, obteve-se 44,50% de sustentabilidade, que ao ser aplicada na tabela 09, define os intervalos não sustentável, parcialmente sustentável e não sustentável. Concluiu-se como essa área sendo Parcialmente sustentável.

Para este estudo, aplicando o quadro 14, obtém-se o grau de sustentabilidade total do empreendimento habitacional popular, como sendo:

Classificação por área:

- Projeto: NÃO SUSTENTÁVEL
- Construção e Manutenção: PARCIALMENTE SUSTENTÁVEL
- Habitação: NÃO SUSTENTÁVEL
- Demolição: PARCIALMENTE SUSTENTÁVEL

Determinação do grau de sustentabilidade:

	PROJE- TO (50,50%)	CONSTRU- ÇÃO E MANU- TENÇÃO (27,50%)	HABITA- ÇÃO (12,50%)	DEMO- LIÇÃO (9,50%)	$\Sigma$ (%)
SUSTENTÁVEL					0,00
PARCIALMENTE SUSTENTÁVEL		X		X	37,00
NÃO SUSTENTÁVEL	X		X		<b>63,00</b>
<b>Grau de sustentabilidade total do empreendimento habitacional popular →</b>					<b>NÃO SUSTEN- TÁVEL</b>

Classificação geral:

- Projeto e Construção e Manutenção e Habitação e Demolição: **NÃO SUSTENTÁVEL**

## CAPITULO V

### 5 DISCUSSÕES, CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este capítulo apresenta as discussões e resultados conclusivos, que contribuíram para a verificação dos objetivos propostos formulados, além de possibilidades de pesquisas futuras decorrentes desta tese.

## 5.1 Discussões

A caracterização da proposta foi atendida para os cenários estudados, porém, a metodologia utilizada, pode ser aplicada a trabalhos futuros em cenários diferentes.

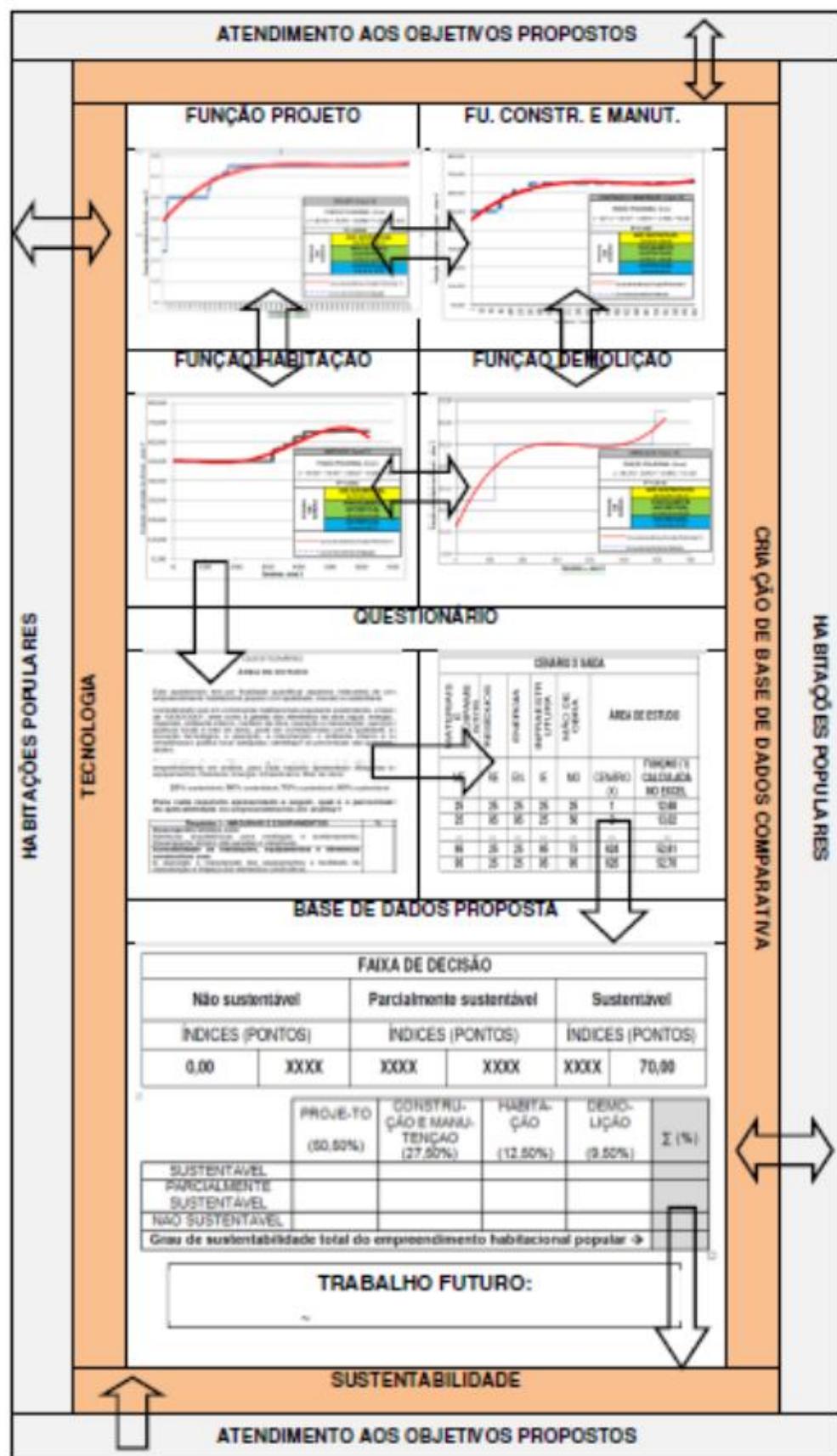
Os cenários utilizados para atendimento dos objetivos foram os de habitações populares em suas fases de projeto, construção e manutenção, habitação e demolição.

A metodologia utilizada para este trabalho previa, inicialmente, o uso do Método *DelphiWeb*, porém, durante o desenvolvimento da pesquisa bibliográfica, foi identificada a necessidade do uso de uma ferramenta mais consistente e robusta em função do grande volume de informações a serem tratadas. O uso da Lógica *Fuzzy* foi o método escolhido, atrelado ao software *MatLab®*.

Outro componente importante utilizado no desenvolvimento da fase metodológica foi quanto à definição de uma amostra mínima significativa. Essa questão foi solucionada pelo uso da metodologia de definição de amostra mínima apresentada no item 3.3.1 desta tese.

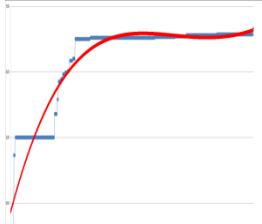
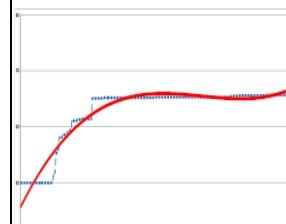
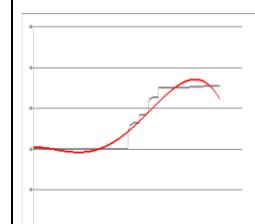
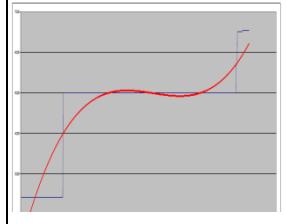
A figura 35 demonstra o atendimento aos objetivos propostos por esta tese.

Figura 35 - Atendimento aos objetivos propostos



Para a validação dos cenários, foram consultados 4 profissionais sêniores, sabendo-se que se a consulta fosse mais abrangente, a precisão poderia ser melhor, mas isso não impede que seja adaptado futuramente para mais profissionais, antes de incrementar a essa ferramenta a um sistema computacional.

A curva média utilizada que gerou cada algoritmo foi a que determinou o melhor  $R^2$  (%) para cada caso. Abaixo é descrito caso a caso de modo compilado:

Caso: PROJETO	Caso: CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO	Caso: HABITAÇÃO	Caso: DEMOLIÇÃO
<b>FUNÇÃO POLINOMIAL</b>			
$y = -3E-10x^4 + 7E-07x^3 - 0,0006x^2 + 0,2252x + 38,5$	$y = 2E-11x^4 + 3E-07x^3 - 0,0004x^2 + 0,1565x + 45,535$	$y = -1E-09x^4 + 1E-06x^3 - 0,0002x^2 + 0,0039x + 50,41$	$y = 9E-07x^3 - 0,001x^2 + 0,3381x + 12,343$
<b><math>R^2</math> (%)</b>			
86,08	93,87	95,82	81,36
<b>SAÍDAS</b>			
<b>Não sustentável</b>			
00,00 a 62,01	00,00 a 60,00	00,00 a 53,99	00,00 a 43,79
<b>Parcialmente sustentável</b>			
62,02 a 68,99	60,01 a 63,99	54,00 a 64,99	43,80 a 48,85
<b>Sustentável</b>			
69,00 acima	64,00 acima	65,00 acima	48,86 acima
<b>Curva 01</b>	<b>Curva 02</b>	<b>Curva 03</b>	<b>Curva 04</b>
			

Fonte: autor.

A precisão das equações polinomiais obtidas para os casos de projeto, construção e habitação, manutenção e demolição, foram de 86,08%, 93,87%, 95,82% e 81,36% respectivamente. Essas precisões foram consideradas a partir dos ajustes de curvas para a situação ótima de  $R^2$ , em que para  $x_i$ , atribui-se valores de  $i=0$  até  $i=4$ .

Passos de como utilizar a ferramenta desenvolvida foram descritos, com a finalidade de possibilitar ao usuário um entendimento direto quanto a sua aplicação.

Durante a fase final de desenvolvimento da ferramenta, avaliou-se a necessidade da compilação dos resultados obtidos para os casos particulares das fases de projeto, construção e manutenção, habitação e demolição. Foi desenvolvido um ponderador que determina a sustentabilidade total do empreendimento habitacional popular em estudo, além, das fases individualizadas.

A ferramenta desenvolvida mostrou-se consistente para aplicações em contextos semelhantes aos dos cenários descritos. Isso ocorre devido à quantidade de variáveis elencadas que, em princípio, estão presentes em praticamente todos os empreendimentos de habitação popular.

## **5.2 Conclusão**

Algoritmos que foram desenvolvidos em função de cenários poderão ser usados para medir o grau de sustentabilidade de um empreendimento habitacional popular, seja ele certificado ou não.

A base de dados obtida no desenvolvimento deste trabalho pode ser utilizada como um material que gera informações para diversas áreas de interesse, a fim de melhorar e padronizar empreendimento de habitações populares.

Este estudo tem um cunho sustentável dentro de premissas econômica, social e ambiental, de modo justo, estável, suportado e viável.

Os objetivos propostos ao serem atingidos por esta pesquisa, não limita a autor a desenvolver trabalhos semelhantes em outros setores da economia, que carecem de uma avaliação quanto ao seu grau de sustentabilidade.

A fundamentação teórica e a utilização de métodos e ferramentas, que vem sendo utilizadas de modo intenso em pesquisas acadêmicas, faz com que este trabalho de pesquisa esteja sustentado sobre profundas bases.

## **5.3 Trabalhos futuros**

Desenvolvimento de um programa computacional especialista, para dinamizar a aplicação dos 4 passos: aplicação dos questionários, tabulação dos questionários, enquadramento sustentável do empreendimento habitacional.

Por meio de publicações e divulgações, procurar aprimorar e ampliar a ferramenta para se tornar padrão, com adaptações flexíveis a situações que tenham cenário semelhante ao utilizado para o caso em questão.

## REFERÊNCIAS

- ABEPRO - Associação Brasileira De Engenharia De Produção. ***Características de Projetos Industriais.*** Editorial. Disponível em: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGETICO2006\\_TR510341\\_8442.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGETICO2006_TR510341_8442.pdf), 2010.
- ABEP – Associação brasileira de empresas de pesquisa. ***Critério de Classificação Econômica Brasil (CCEB).*** Disponível em: <http://www.abep.org/novo/Content.aspx?SectionCode=TUDO&KeyWords=YmFpeGEgcmVUZGE=>, 2013
- ABIKO, A. K. ***Introdução à gestão habitacional.*** São Paulo, EPUSP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1995.
- ABLP – ***Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública.*** Disponível em: [www.ablp.org.br](http://www.ablp.org.br), 2011.
- AGOPYAN, V. ***A Construção Civil rompendo paradigmas.*** In: Inovação em construção civil: monografias / Martins Paul Schwarck... [et al.] — São Paulo: Instituto UNIEMP, 2005.
- AGOPYAN, V. ***O desafio da construção civil.*** Volume 5, Editora Blucher, São Paulo / SP, 2011.
- AKADIRI, P. O., OLOMOLAIYE, P. O., CHINYIO, E. A. ***Multi-criteria evaluation model for the selection of sustainable materials for building projects.*** Automation in Construction 30:113–125 – Elsevier; <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.10.004>, 2013.
- ALBANO, F. M. ***Sustentabilidade e Habitação Popular: Ética e Estética na Arquitetura Unifamiliar.*** X Salão de Iniciação Científica - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo PUCRS. Disponível em: [http://www.pucrs.br/edipucrs/XSalaoIC/Ciencias\\_Sociais\\_Aplicadas/Arquitetura\\_e\\_Urbanismo/70821-FABIO\\_DE\\_MEDEIROS\\_ALBANO.pdf](http://www.pucrs.br/edipucrs/XSalaoIC/Ciencias_Sociais_Aplicadas/Arquitetura_e_Urbanismo/70821-FABIO_DE_MEDEIROS_ALBANO.pdf), 2009.
- ALDABÓ, R. ***Gerenciamento de Projetos: procedimentos básicos e etapas essenciais.*** Editora Artliber, São Paulo SP, 2001.
- ALLEN, E. ***Como os edifícios funcionam.*** Editora WMF Martins Fontes – São Paulo, 2011.
- ALMEIDA, P. E. ***Sistemas Inteligentes: fundamentos e aplicações. Fuzzy.*** In: REZENDE, S. O. (Org.). São Paulo: Manole, 2003.
- ALVAREZ, M. E. B. ***Administração da qualidade e da produtividade.*** São Paulo: Editora Atlas, 2001.
- AMBIENTE-BRASIL. ***Conceito de Construção Sustentável.*** Disponível em: [http://ambientes.ambientebrasil.com.br/arquitetura/construcoes\\_verdes/conceito\\_de\\_construcao\\_sustentavel.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/arquitetura/construcoes_verdes/conceito_de_construcao_sustentavel.html), 2011.
- AMENDOLA, M. ***Manual do uso da teoria dos conjuntos Fuzzy no MATLAB® 6.5.*** UNICAMP, 2005.
- AQUA - ***Alta Qualidade Ambiental.*** FCAV - Fundação Carlos Alberto Vanzolini. Disponível em: <http://www.revistasustentabilidade.com.br/noticias/certificacao-aqua-para-empreendimentos-sustentaveis-e-a-primeira-nacional>, 2011.

- ÁVILA, S. **Planos de comunicação em projetos de Engenharia.** Disponível em: <http://www.pmkb.com.br/artigos-mainmenu-25/102-planos-de-comunica-em-projetos-de-engenharia.html>, 2010.
- AZHAR, S., CARLTON, W. A., OLSEN, D., AHMAD, I. **Building information modeling for sustainable design and LEED rating analysis.** Elsevier B.V. All rights reserved; Automation in Construction 20 - 217–224, 2011.
- BARBI, F. C. **Os 7 passos do gerenciamento de projetos.** Disponível em: <http://www.microsoft.com/brasil/msdn/tecnologias/carreira/gerencprojetos.mspx>, 2010.
- BONDUKI, N. G., ROLNIK, R., AMARAL, A.. **Plano Diretor Estratégico-Cartilha de Formação.** São Paulo: Caixa Econômica Federal, 2003
- BONILLA, S. H., ALMEIDA, C. M. V. B., GIANNETTI, B. F., HUISINGH, D. **Key Elements, Stages and Tools for a Sustainable World: An introduction to this.** Journal of Cleaner Production Special Volume; PII: S0959-6526(12)00657-9; DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.12.011; Reference: JCLP 3222, 2012.
- BOYD, N., KHALFAN, M. M. A., MAQSOOD, T. **Off-site construction of apartment buildings: a case study.** Journal of Architectural Engineering. American Society of Civil Engineers; doi:10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000091, 2012.
- BRESSAN, F. **O Método do Estudo de Caso.** FECAP - Volume 1 - N.1 Disponível em: [http://www.fecap.br/adm\\_online/art11/flavio.htm](http://www.fecap.br/adm_online/art11/flavio.htm), 2000.
- CAMARGOS, A. A. **Gerenciamento de Projeto WBS, Gestão PMI News.** Ano 2 – n.04 – São Paulo, 2004.
- CAMPOS, A. S. **Treinamento à distância para mão de obra na construção civil** (Dissertação Mestrado): Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.
- CAMPOS, F. **Construção Civil e Sustentabilidade.** Revista Geração. Disponível em: <http://geracaosustentavel.com.br/2011/10/24/construcao-civil-e-sustentabilidade/>, 2011.
- CARNEIRO, M. F. S. **Metodologia de Gerenciamento de Projetos.** Disponível em: <http://www.pmkb.com.br/artigos-mainmenu-25/93-metodologia-de-gerenciamento-de-projetos.html>, 2010.
- CARVALHO, M. M. **Construindo competências para gerenciar projetos.** São Paulo: Atlas, 2006.
- CASSIOLATO, J. E. **Arranjos produtivos locais, uma alternativa para o desenvolvimento: experiências de políticas** – vol. 2. Editora E-papers. Rio de Janeiro, 2008.
- CASTRO-LACOUTURE, D. **Optimization model for sustainable materials selection using objective and subjective factors.** Contents lists available at sciverse sciencedirect materials and design journal ([www.elsevier.com/locate/matdes](http://www.elsevier.com/locate/matdes)); Elsevier Ltd.; <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2012.10.013>, 2012.
- CATTANI, A. D. **Tecnologia e Trabalho: Dicionário Crítico.** São Paulo: Ed. Vozes, 2002.

- CAUCHICK, P. A. *Qualidade, enfoque e ferramentas*. São Paulo, Editora Artliber, 2001.
- CAUCHICK, P. A. C. *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. Editora Campus – Rio de Janeiro, 2010.
- CDHU. *Companhia de Desenvolvimento Habitacional Urbano*. Disponível em: <http://www.cdhu.sp.gov.br/index.asp>, 2013.
- CEOTTO, L. *A industrialização da construção de edifícios: de passado letárgico para um futuro promissor*. In: Inovação em construção civil: monografias / Martins Paul Schwarck [et al.] — São Paulo: Instituto UNIEMP, Coleção Uniemp inovação, 2005.
- CIOCCHI, L. *Quem é o operário da construção civil?* Revista Téchne nº.77, 2003.
- CONAMA 307. *Resolução n. 307*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>, 2002
- CONEJOS, S., LANGSTON, C., SMITH, J. *Adapt star model: A climate-friendly strategy to promote built environment Sustainability*. Contents lists available at SciVerse ScienceDirect; Habitat International journal [www.elsevier.com/locate/habitatint](http://www.elsevier.com/locate/habitatint); doi:10.1016/j.habitatint.2011.12.003, 2013.
- CONSTRUBUSINESS. *Folder eletrônico*. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/construbusiness/> ou [http://www.sinaprocim.org.br/upload/livros/Sumario\\_Executivo\\_pt.pdf](http://www.sinaprocim.org.br/upload/livros/Sumario_Executivo_pt.pdf), 2010.
- CORRÊA, L. R. *Sustentabilidade na construção civil*. UFMG – Monografia, Disponível em: <http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/Sustentabilidade%20na%20Constru%E7o%20CivilL.pdf>, 2009.
- COSTA NETO, P. L. O. *O sistema integrado de gestão na engenharia consultiva: Estudo do caso*. ENPRO; IV congresso nacional de excelência em gestão responsabilidade socioambiental das organizações Brasileiras Niterói, RJ, Brasil, 31 de julho, 01 e 02 de agosto de 2008.
- COUTO JÚNIOR, E. B. *Abordagem não-paramétrica para cálculo do tamanho da amostra com base em questionários ou escalas de avaliação na área de saúde*. Tese de Doutorado – Faculdade de Medicina da USP. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/5/5144/tde-22022010-175431/pt-br.php>, 2009.
- COZZA, E. *Ação em cada dia*. In: Inovação em construção civil: coletânea dc artigos / Ricardo Toledo Silva [et al.] — São Paulo, Instituto UNIEMP, Coleção Uniemp inovação, 2005.
- CRESTANA, J. *Desenvolvimento imobiliário urbano*. SECOVI - Fundação Don Cabral. Disponível em: [www.secovi.com.br](http://www.secovi.com.br), 2012.
- DAO, V., LANGELLA, I., CARBO, J. *From green to sustainability: Information Technology and an integrated sustainability framework*. Elsevier B.V. All rights reserved.; Journal of Strategic Information Systems 20 - 63–792011, 2011.

- DEGANI, C.M. *A sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de edifícios*. PCC-USP, 2002.
- DIAS, E. C. *Cadeia produtiva da construção e o mercado de materiais*; FGV-ABRAMAT. Disponível em: <http://www.abramat.org.br/files/Estudo%20%20Cadeia%20Produtiva%20-%20Abramat%20.pdf>, 2007.
- DIEESE. *O trabalho por conta própria na construção civil*. Disponível em: [http://www.dieese.org.br/esp/boletimConstrucaoCivil5\\_fev2011.pdf](http://www.dieese.org.br/esp/boletimConstrucaoCivil5_fev2011.pdf), 2011a.
- DIEESE. *Estudo setorial da construção 2011*. Disponível em: [http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A2E7311D1012FE92DE9D55581/estudo\\_setorial\\_construcao\\_04-2011.pdf](http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A2E7311D1012FE92DE9D55581/estudo_setorial_construcao_04-2011.pdf), 2011b.
- FAVERSANI. *Construtoras do amanhã*. Revista Mercado e Construção nº33, 2004.
- FÉLIX, U. *Cidades sustentáveis e a Engenharia Urbano-Industrial*. 61ª SOEAA Semana Oficial da Engenharia, Arquitetura e da Agronomia. São Luís, 2004.
- FERREIRA, L. *Aplicação de sistemas fuzzy e neuro-fuzzy para predição da temperatura retal de frangos de corte*. Dissertação - Universidade Federal de Lavras, 2009.
- FARRER, H. et. al. *Algoritmos Estruturados*. Editora Guanabara, 1989.
- FORZA, C. *Survey research in operations management: a process-based perspective*. International journal of operations & production management, V.22, n.2, 2002.
- FRAZIER, G. *Administração da Produção*. São Paulo: Thomson, 8ª ed, 2002.
- GAITHER, N. *Administração da Produção e Operações*. São Paulo: Thomson, 8ª ed, 2002.
- GANHÃO, A. M. G. D. *Construção Sustentável - Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação*. Dissertação – Universidade Nova de Lisboa, Portugal, 2011.
- GARVIN, D. A. *Gerenciamento da Qualidade. A Visão Estratégica e Competitiva*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992.
- GATTI, U., MIGLIACCIO, G., BOGUS, S. M., PRIYADARSHINI, S., SCHARRER, A. *Using Workforce's Physiological Strain Monitoring to Enhance Social Sustainability of Construction*. Journal of Architectural Engineering by the American Society of Civil Engineers. Doi: 10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000110; 2012.
- GBC Brasil - *Green Building Council Brasil*. Disponível em: <http://gbcbrasil.org.br/>, 2011.
- GIOVINAZZO, R. A. *O país no futuro: aspectos metodológicos e cenários*. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142006000100003](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142006000100003); e Disponível em: [http://eprints.rclis.org/bitstream/10760/12888/1/cartilha\\_delphi\\_digital.pdf](http://eprints.rclis.org/bitstream/10760/12888/1/cartilha_delphi_digital.pdf), 2006.
- GONZÁLEZ, M. A. S. *Sustentabilidade econômica - proposta de aplicação de descobrimento de conhecimento no processo de concepção de produtos*

**imobiliários.** Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Disponível em: <http://www6.ufrrgs.br/norie/tic2007/artigos/A1128.pdf>, 2007.

GRANDI, S. L. **Alvenaria estrutural: a memória de um sistema construtivo.** Revista Eletrônica Prisma n.05. Disponível em: <http://www.revistaprisma.com.br/n5/artigo1.htm>, 2003.

GUGGEMOS, A. A. **Decision-Support Tool for Assessing the Environmental Effects of Constructing Buildings.** Journal of architectural engineering, DOI: 10.1061/\_ASCE\_1076-0431\_2006\_12:4\_187-195, 2006.

HAJIFATHALIAN, K., WAMBEKE, B. W., LIU, M., HSIANG, S. M. **Effects of Production Control Strategy and Duration Variance on Productivity and Work in Process: Simulation-Based Investigation.** DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000517, American Society of Civil Engineers. Journal of construction engineering and management 2012.138:1035-1043, 2012.

HAJJAR, D. **Planejamento Estratégico: O Planejamento estratégico em 7 passos.** Disponível em: <http://www.pmkb.com.br/artigos-mainmenu-25/99-planejamento-estratco.pdf>, 2007.

HAMMOND, G. **Inventory of carbon and energy (ICE) Version.** Disponível em: [www.bath.ac.uk/mech-eng/sert/embodied](http://www.bath.ac.uk/mech-eng/sert/embodied), 2008.

HARLAN, R. **Desenvolvimento Sustentável: Os Resíduos da Construção civil. Esse tal de meio ambiente?** Disponível em: <http://essetalmeioambiente.com/desenvolvimento-sustentavel-os-residuos-da-construcao-civil/>, 2011.

HEIN, N. **Técnica do compartilhamento sucessivo: um algoritmo na otimização de funções multimodais.** Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

HINO, M. K. H, **Qualidade do projeto de empreendimentos habitacionais de interesse social: proposta utilizando o conceito de desempenho.** EPUSP – São Paulo. Disponível em: [http://publicacoes.pcc.usp.br/PDF/BTs\\_Petreche/BT303-20Hino.PDF](http://publicacoes.pcc.usp.br/PDF/BTs_Petreche/BT303-20Hino.PDF), 2001.

HOKAMA, P. H. D. B. **Raciocínio Fuzzy - Introdução a Inteligência Artificial Instituto de Computação** - Universidade Estadual de Campinas, 2008.

HOLANDA, E. P. T. **Novas tecnologias construtivas para produção de vedações verticais: diretrizes para o treinamento da mão de obra.** Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Civil, 2003.

HQE - **High Quality Environmental standard (Haute Qualité Environnementale).** Disponível em: <http://greenpedia.greenvana.com/termos/high-quality-envir onmental-standard-hqe/195>, 2011.

HWANG, A. B-G., JIAN, W. E. N. B. **Project management knowledge and skills for green construction: Overcoming challenges.** International Journal of Project Management 31-272–284; [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com); Department of Building, School of Design and Environment, National University of Singapore, Singapore 117566; Elsevier Ltd. APM and IPMA [www.elsevier.com/locate/ijproman](http://www.elsevier.com/locate/ijproman); Doi:10.1016/j.ijproman.2012.05.004, 2013.

- IETEC - Instituto De Educação Tecnológica. **Gestão de Projetos.** Editorial. Disponível em: [www.ietec.com.br/site/techoje/categoria/abrirPDF/](http://www.ietec.com.br/site/techoje/categoria/abrirPDF/), 2011.
- INOVATEC. **Certificação AQUA (Alta Qualidade Ambiental).** Disponível em: <http://www.inovatech.eng.br/v2/index.php>, 2011.
- ÍTALO, C. **Centro universitário do leste de minas gerais.** Disponível em: <http://www.pmkb.com.br/artigos-mainmenu-25/3736-como-implantar-um-escritorio-de-projetos-pmo.html>, 2010.
- JANÉ. **Uma introdução ao estudo da lógica fuzzy.** Hórus – Revista de Humanidades e Ciências Sociais Aplicadas, Ourinhos/SP, Nº 02. Disponível em: [http://www.faeso.edu.br/horus/artigos%20anteriores/2004/artigo\\_dario.pdf](http://www.faeso.edu.br/horus/artigos%20anteriores/2004/artigo_dario.pdf), 2004.
- JOHN, V. M. **Conselho Brasileiro de Construção Sustentável.** Disponível em: <http://www.cbc.org.br/>, 2010.
- KAMAR, R. A. M., HAMID, P. A., KHAIROLDEN, M. **Collaborative initiative on green building and sustainability, through industrialized construction systems (IBS) in the construction industry in Malaysia.** International Journal of Sustainable Construction Engineering & Technology, pp. 119-127. ISSN 2180-3242, 2011.
- KLIR, G. J.; YUAN, B. **Fuzzy sets and fuzzy logic.** New Jersey: Prentice Hall PTR, 1995.
- KOHAGURA, T. **Lógica fuzzy e suas aplicações.** Departamento de Computação Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Estadual de Londrina. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/86598014/70/APLICACOES-DA-LOGICA-FUZZY>, 2007.
- KONISHI, M. **Engenharia de Projetos Industriais.** Disponível em: [http://www.techoje.com.br/site/techoje/categoria/detalhe\\_artigo/935](http://www.techoje.com.br/site/techoje/categoria/detalhe_artigo/935), 2010.
- KORANDA, C, CHONG, W. K., KIM, C., CHOU, J. S., KIM, C. **An Investigation of the Applicability of Sustainability and Lean Concepts to Small Construction Projects.** [www.springer.com/12205](http://www.springer.com/12205); DOI 10.1007/s12205-012-1460-5-699; Environmental Engineering; KSCE Journal of Civil Engineering, 2012.
- KUNSCH, M. M. K. **Planejamento de Relações Públicas na comunicação integrada.** São Paulo: Summus, 2003.
- LAMERA, D. L. **Perfil do Trabalhador na Indústria da Construção Civil de Goiânia.** São Paulo: Editora FUNDACENTRO, 2000.
- LAURIA, A. **Sustentabilidade na Construção.** Editora VERLAG DASHÖFER. Lisboa – Portugal, 2007.
- LAWSON, R. M.; OGDEN, R. G.; BERGIN, R. **Application of Modular Construction in High-Rise Buildings.** DOI: 10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000057; American Society of Civil Engineers, 2012.
- LAZZARINI, S. G. **Empresas em rede;** Editora CENGAGE, 2008.
- LEED - **Leadership in Energy and Environmental Design.** Disponível em: <http://www.construcaoecia.com.br/conteudo.asp?ed=55&cont=570>, 2011.
- LIN, K-L. **Human Resource Allocation for Remote Construction Projects.** Journal of management in engineering – ASCE; [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000032](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000032), 2011.

- LINO, F. *A Construção Civil rumo à Industrialização*. In: Inovação em construção civil: coletânea dc artigos. Ricardo Toledo Silva [et al.] — São Paulo - Instituto UNIEMP. Coleção Inovação, 2005.
- LUCAS, J. A. C. *Classificação e descrição geral de revestimentos para paredes de alvenaria ou de betão*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil - ICT Informação Técnica - Edifícios – ITE-24. Edição 6, Lisboa, 2008.
- MACHADO, F. M. *Gestão Sustentável: o gerenciamento dos resíduos sólidos da construção civil*. Dissertação (Mestrado de Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, 2006.
- MADUREIRA, O. M. *Meodologia do Projeto: planejamento execução e gerenciamento*. Editora Blucher, São Paulo, 2010.
- MADURWAR, M. V., RALEGAONKAR, R. V., MANDAVGANE, S. A. *Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review*. Elsevier Ltd - <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.011>; Contents lists available at SciVerse ScienceDirect; Construction and Building Materials; Construction and Building Materials 38 872–878, 2013.
- MALUTTA, C. *Método de apoio à tomada de decisão sobre adequação de aterros sanitários utilizando a Lógica Fuzzy*. Disponível em: <http://teses.eps.ufsc.br/defesa/pdf/11633.pdf>, 2004.
- MAÑAS, A. V. *Tecnologia, trabalho e desemprego: um conflito social*. São Paulo: Érica, 2004.
- MANZONE, L. *A Construção Civil rumo à Industrialização* In: Inovação em construção civil: coletânea dc artigos. Ricardo Toledo Silva [et al.] — São Paulo Instituto UNIEMP Coleção Inovação, 2005.
- MARRO, A. A., SOUZA, A. M. C., CAVALCANTE, E. R. S., BEZERRA, G. S., NUNES, R. O. *Lógica Fuzzy: conceitos e aplicações*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) Natal – RN – Brasil, 2010.
- MARHANI, M. A., JAAPAR, A., BARI, N. A. A. *Lean Constructio: Towards enhancing sustainable construction in Malaysia. Faculty of Architecture*. Procedia - Social and Behavioral Sciences 68 ( 2012 ) 87 – 98 1877-0428; Published by Elsevier Ltd.; Selection and peer-review under responsibility of the Centre for Environment-Behaviour Studies (cE-Bs), Faculty of Architecture, Planning & Surveying, Universiti Teknologi . doi: 10.1016/j.sbspro.2012.12.209, 2012.
- MARTINEZ, J. C. *A importância do Gerenciamento de Projetos*. Disponível em: <http://www.pmkb.com.br/artigos-mainmenu-25/3186-a-importancia-do-gerenciamento-de-projetos-.html>, 2010.
- MARTINS, M. G. A. *Inovação tecnológica na produção de edifícios impulsionada pela indústria de materiais e componentes*. Dissertação de mestrado – POLI USP, 2004.
- MATEUS, R. *Tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção*. Editora Prometeu – Edições Ecópia. Porto, 2006.
- MATTAR, F. N. *Pesquisa de marketing: metodologia, planejamento*. São Paulo, Atlas, 1996.
- MATHIDIOS, M. *I água*. Disponível em: [www.iagua.com.br](http://www.iagua.com.br), 2011.

- MAXIMIANO, A. C. A. *Administração de projetos: como transformar ideias em resultados*. Editora Atlas, São Paulo, 2010.
- MELLO, R. *The use of fuzzy logic for real estate assessment and applications*. Revista Produção Online, Florianópolis, SC, v.12, n. 4, 2012.
- MOLLO, M. *Desenvolvimento de um sistema para diagnóstico preventivo de laminitite em bovinos de leite utilizando lógica Fuzzy*. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola, Tese. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000418207&fd=y>, 2007
- MOLLO, M. *Construção de um sistema especialista para mitigar perdas produtivas na produção intensiva de suínos*. Revista FATEC Indaiatuba, 2012.
- MORALES, M. *Princípios da Administração de Recursos Humanos: Aplicados em Cursos Técnicos e Qualificação Profissional*. São Paulo: Ed. Texto Novo, 2002.
- MORÉ, J. D. *Aplicação da lógica fuzzy na avaliação da confiabilidade humana nos ensaios não destrutivos por ultra-som*. Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro - engenharia metalúrgica e de materiais, 2004.
- NAHMENS, I., IKUMA, L. H. *Effects of Lean Construction on Sustainability of Modular Homebuilding*. DOI: 10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000054. American Society of Civil Engineers. JOURNAL OF ARCHITECTURAL ENGINEERING, 2012.
- NASSAR, P. *História e cultura organizacional*. Revista Comunicação Empresarial – nº 36, 2000.
- NASSAR, S. M. *Métodos de defuzzificação*. Dissertação - Universidade Federal do Paraná, 2011.
- OLIVEIRA, R. *VII Workshop brasileiro de gestão do processo de projetos da construção civil*. Anais ISSN: 1982-7296. Disponível em: <http://www.cesec.ufpr.br/workshop2007/Artigo-28>, 2007.
- ORTEGA, N. R. S. *Aplicação da teoria de conjuntos fuzzy a problemas da biomedicina*. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, 2001.
- PCC-2540. *Seleção de Materiais, Componentes e Sistemas: O Edifício e o Ambiente - Ênfase: Conjuntos de Habitações Unifamiliares de Interesse Social*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia de Construção Civil. Disponível em: <http://pcc2540.pcc.usp.br/>, 2007.
- PEREIRA, A. M. *Características de Projetos Industriais*. Disponível em: <http://www.pmkb.com.br/artigos-mainmenu-25/3738-caracteristicas-de-projetos-industriais-siderurgia.html>, 2011.
- PEREIRA, I. G. S. *Cadeia produtiva da construção civil: uma análise sobre a sustentabilidade, centro de ciências sociais aplicadas/ departamento de administração* - XI encontro de iniciação à docência. Disponível em: [http://www.prac.ufpb.br/anais/xenex\\_xienid/xi\\_enid/monitoriapet/anais/area5/5ccsadamt01.pdf](http://www.prac.ufpb.br/anais/xenex_xienid/xi_enid/monitoriapet/anais/area5/5ccsadamt01.pdf), 2009.
- PINHEIRO, M. D.- *Ambiente e Construção Sustentável. Amadora, Instituto do Ambiente*, Lisboa – Portugal, 2006.

- PMBOK, K. **Gestão de Projetos - Project management institute.** Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABH5oAJ/pmbok-2008-portugues>, 2008.
- PORTER, M. E. **Vantagem Competitiva.** R.J: Editora Campus, 23<sup>a</sup> edição, 2004.
- PULASKI, M. H.; HORMAN, M. J.; RILEY, D. R. **Constructability Practices to Manage Sustainable Building Knowledge.** Journal of architectural engineering, DOI: 10.1061/\_ASCE\_1076-0431\_2006\_12:2\_83\_, 2006.
- RABECHINI JR., R. **Fatores Críticos para implementação de gerenciamento por projetos.** Revista Produção, volume 12, número 02. Disponível em: [www.scielo.br/scielo.php?pid=SO103-65132002000200001&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=SO103-65132002000200001&script=sci_arttext), 2001.
- RAMOS, J. B. **Construção Sustentável - O desafio da eficiência ambiental, social e econômica.** IDHEA - Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica; Nº79, pag. 4 - Ano XIV. Disponível em: <http://www.institutoaqualung.com.br/info%2079.pdf>, 2008.
- RAUT, S. P., RALEGAONKAR A, R. V., MANDAVGANE B, S. A. **Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks.** Elsevier Ltd. All rights reserved; Construction and Building Materials 25 - 4037–4042; 2011.
- RIBACIONKA, F. **Sistemas computacionais baseados em lógica fuzzy.** Dissertação de Mestrado – Universidade Mackenzie – São Paulo, SP - 1999.
- RIFKIN, J. **Fim dos Empregos: O Declínio Inevitável dos Níveis dos Empregos e a Redução da Força Global de Trabalho.** São Paulo: Ed. Makron Books, 2001.
- ROBICHAUD, L. B., ANANTATMULA, V. S. **Greening Project Management Practices for Sustainable Construction.** Journal of management in engineering – ASCE; DOI: 10.1061/\_ASCE\_ME.1943-5479.0000030; 2011.
- ROCHA, A. P. **Empreendimento com 22 habitações para idosos de baixa renda foi construído em três meses.** Editora PINI; Disponível em: <http://www.divisiengenharia.com.br/site/noticias-construcao-civil/cdhu-entrega-primeiras-casas-populares-construidas-com-steel-frame/>, 2011.
- ROCHA, C. **Cadeia de Suprimentos de Componentes de Edificações Usados: Caracterização e Sugestões de Melhorias.** In: Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção. Campinas, 2007.
- ROMERO, M. A. B. **O Desafio da Construção das Cidades.** AU Arquitetura e Urbanismo. São Paulo, Jan. 2006.
- RUWANPURA, J. Y. e SILVA, L.. **Preview of the leed points obtained by canadian building projects.** Journal of architectural engineering. DOI: 10.1061/\_ASCE\_1076-0431\_2009\_15:2\_38\_, 2009.
- SCANDAR, W. J. N. **Matriz de Sustentabilidade do Desenvolvimento do Território Brasileiro.** IBGE - Ministério do Planejamento. Disponível em: [http://www.planejamento.gov.br/secretarias/upload/Arquivos/spi/programas\\_projeto/planejamento\\_territorial/Painel5\\_WadihScandarNeto.pdf](http://www.planejamento.gov.br/secretarias/upload/Arquivos/spi/programas_projeto/planejamento_territorial/Painel5_WadihScandarNeto.pdf), 2008.
- SABBATINI, F. H. **Material para o milênio.** Revista Construção São Paulo, São Paulo. n.27, 2000.

- SACOMANO, J. B. *A relação da gestão da cadeia de suprimentos de empresas de construção civil com um sistema de administração de produção*. Tópicos emergentes em engenharia de produção vol.1. São Paulo, Arte e Ciência Editora, 2002.
- SANTOS, D. M. P. A. C. *Modelo de um PMO para firma de projetos de engenharia*. Disponível em: [www.techoje.com.br/site/techoje/categoria/abrirPDF/1021](http://www.techoje.com.br/site/techoje/categoria/abrirPDF/1021), 2010.
- SANTOS, J. S. *A iluminação nos edifícios – uma abordagem no contexto da sustentabilidade e eficiência energética*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Comunicação: COM-133; Informação Técnica; Segunda Edição; Lisboa, 2009.
- SANTOS, L. L. *Sustentabilidade na construção civil: proposta para um conjunto residencial popular sustentável*. Monografia. UFMG; Disponível em: <http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/Texto%20final%20monografia-01-06-07.pdf>, 2007.
- SECOVI-SP & FDC. *Indicadores de sustentabilidade no desenvolvimento imobiliário urbano*. Disponível em: [www.secovi.com.br/files/downloads/indicadores-downloadpdf.pdf](http://www.secovi.com.br/files/downloads/indicadores-downloadpdf.pdf), 2012.
- SELIH, J. e SRDIC, A. *Integrated quality and sustainability assessment in construction: a conceptual model*. DOI: 10.3846/20294913.2011.603177; <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3846/20294913.2011.603177>; Classificação JEL: L74, N60, Q56, 2011.
- SENARATNE, S., EKANAYAKE, S. *Evaluation of application of lean principles to precast concrete bridge beam production process*. DOI: 10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000063. American Society of Civil Engineers. / journal of architectural engineering; ASCE 18:94-106, 2012.
- SHARIFI, A., YAMA, A. M. *A critical review of seven selected neighborhood sustainability assessment tools*. Environmental Impact Assessment Review – Elsevier; doi:10.1016/j.eiar.2012.06.006, 2013.
- SHAW, I. *Controle e Modelagem Fuzzy*. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2002.
- SHEN, L., WU2, Y., ZHANG, X. *Key Assessment Indicators for the Sustainability of Infrastructure Projects*. Journal of construction engineering and management - 2011.137:441-451; DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000315, American Society of Civil Engineers, 2011.
- SICERELLI, S. L. *PMO - Escritório de Projetos*,. Disponível em: <http://simonecicerelli.blogspot.com/2008/04/pmo-escritorio-de-projetos.html>, 2010.
- SILVA, M. A. C. *Cadeia produtiva - o dilema da verdadeira qualificação de fornecedores*. Disponível em: <http://www.piniweb.com.br/construcao/noticias/artigo--cadeia-produtiva---o-dilema-da-verdadeira-qualificacao-81991-1.asp>, 2011.
- SILVA, E. S. *Busca pela Qualidade no Gerenciamento de Projetos*. Trabalho de Conclusão de Curso de MBA em Gestão de Projeto de Software Centro Universitário - CENTRO UNIVERSITÁRIO EUROAMERICANO – UNIEURO, Projeto de Monografia, 2008.

- SILVA, M. B. L. **Gestão de Projetos.** Disponível em: <http://www.moodle.ufba.br/mod/book/view.php?id=10931&chapterid=9935>, 2010.
- SILVA, M. E. A. **Gerenciamento de Processos na Construção Civil: Um Estudo de caso aplicado no processo de execução de paredes em gesso acartonado.** Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.
- SIMÃO, L. A. P. M. **Produção enxuta em uma empresa de processo as lições aprendidas.** São Paulo: Editora EPSE, 2004.
- SOLÍS-GUZMÁN, J., MARRERO, M., RAMÍREZ-DE-ARELLANO, A. **Methodology for determining the ecological footprint of the construction of residential buildings in Andalusia (Spain).** Ecological Indicators 25-239-249; [www.elsevier.com/locate/ecolind](http://www.elsevier.com/locate/ecolind); <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.10.008>, 2013.
- SULLIVAN, T. K. **Quality Management Programs in the Construction Industry: Best Value Compared with Other Methodologies.** DOI: 0.1061/(ASCE) ME.1943-5479.0000054; American Society of Civil Engineers; JOURNAL OF MANAGEMENT IN ENGINEERING 2011.27:210-219, 2011.
- SURVEYMONKEY®. **Base de dados – questionários.** Disponível em: [www.surveymonkey.com/](http://www.surveymonkey.com/), 2012a.
- SURVEYMONKEY®. **Política de privacidade.** Disponível em: <http://pt.surveymonkey.net/mp/policy/privacy-policy/>, 2012.b.
- TAN, Y., LIYIN S., YAO H. **Sustainable construction practice and contractors' competitiveness: A preliminary study.** Habitat International - Volume: 35, ISSUE: 2, Publisher: Elsevier Ltd, Pages: 225-230; ISSN: 01973975; DOI: 10.1016/j.habitatint.2010.09.008, 2011.
- TANAKA, K. **An introduction to fuzzy logic for practical applications.** Tokyo: Springer, 1997.
- TÉCHNE. **Avaliação ambiental.** Artigo Editorial N. 133, 2008.
- TOLEDO, P. M. **Cadeia produtiva da construção civil no estado do Pará Belém Pará.** 2009.
- TOOLE, T. M., CARPENTER, G. **Prevention through Design as a Path towards Social Sustainability.** Journal of architectural engineering. Doi:10.1061/(ASCE) AE.1943-5568.0000107; Copyright by the American Society of Civil Engineers; 2012.
- TORGAL, F. P. **O Gesso na Construção Civil.** Universidade de Minho. Editora Guimarães, 2008.
- TORGAL, F. P. **A sustentabilidade dos materiais de construção.** Editora Universidade de Minho – Segunda edição. Portugal, 2010.
- TRANJAN, R. A. **Não durma no ponto: o que você precisa saber para chegar lá.** São Paulo: Editora Gente, 1999.
- ULSEN, C. A **Production of recycled sand from construction and demolition waste.** Construction and Building Materials 40 - 1168–1173; Contents lists available at SciVerse; ScienceDirect - Elsevier [www.elsevier.com/locate/conbuildmat](http://www.elsevier.com/locate/conbuildmat); doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.02.004, 2013.

- VALENÇA, M. Z. *Gestão dos Resíduos Sólidos da Construção Civil: por uma prática integrada de sustentabilidade empresarial* – ENEGEP. Disponível em: <http://publicacoes.abepro.org.br/index.asp?pchave=&ano=2006&x=19&y=18>, 2006.
- VALENTE, J. P. *Certificações na construção civil: comparativo entre LEED e AQUA*. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopolis10000221.pdf>, 2009.
- VARGAS, N. *Unindo corações e mentes num processo inovador*. In: Inovação em construção civil: coletânea de artigos. Ricardo Toledo Silva [et al.] — São Paulo Instituto UNIEMP - Coleção inovação, 2005.
- VENDRAMETTO, O. *Desenvolvimento e ruptura: o caso da rede produtiva da carne, couro e calçados. Tópicos emergentes em engenharia de produção vol.1*. São Paulo, Arte e Ciência Editora, 2002.
- VENDRAMETTO et al., O. *Políticas de inovação tecnológica: proposta de alinhamento para desenvolvimento de cadeias produtivas endógenas. Tópicos emergentes em engenharia de produção vol.2*. São Paulo, Arte e Ciência Editora, 2003.
- VOLPATO, M. *Trabalho de Tecnologia: As percepções dos trabalhadores frente ao processo de inovação tecnológica – Um estudo de caso*. Curitiba. (Dissertação de Mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, 1999.
- VOLPATO, G. *Dicas para redação científica*. Cultura acadêmica editora – 3 edição, 2010.
- VUCICEVICA, B., STOJILJKOVICB, M., AFGANC, N., TURANJANINA, V., JOVANOVICA, M., BAKICA, V. *Sustainability assessment of residential buildings by non-linear normalization procedure*. Contents lists available at SciVerse Science Direct Energy and Buildings; [www.elsevier.com/locate/enbuild](http://www.elsevier.com/locate/enbuild), Elsevier, 2013.
- WALLBAUM, H., OSTERMEYER, Y., SALZER, C., ESCAMILLA, E. Z. *Indicator based sustainability assessment tool for affordable housing construction technologies*. Elsevier Ltd. 1470-160; doi:10.1016/j.ecolind.2011.12.005, 2012.
- WANGA, Q., YUANA, X., ZHANGA, J., MUB, R., YANGC, H., MAA, C.. *Key evaluation framework for the impacts of urbanization on air environment – A case study*. Contents lists available at SciVerse ScienceDirect Ecological Indicators journal: [www.elsevier.com/locate/ecolind](http://www.elsevier.com/locate/ecolind); Ecological Indicators 24-266–272 - Elsevier Ltd. - <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.07.004>, 2013.
- WOOD, B. *Maintenance Integrated Design and Manufacture of Buildings: Toward a Sustainable Model*. Journal of architectural engineering; DOI: 10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000077; American Society of Civil Engineers, 2012.
- WRIGHT, J. T. C. *Prospecção Estratégica para 2003 com a utilização do método Delphi-Web*. Disponível em: <http://www.fia.com.br/profuturo/publicações/artigos/artigos/art52.htm>, 2003.
- ZIBAS, D. M. L. *Novas tecnologias, trabalho e educação: um debate multidisciplinar*. Ed. Vozes, Petrópolis, 2003.

- ZUO, J., ZILLANTE, G., WILSON, L., DAVIDSON, K. ***Sustainability policy of construction contractors: A review.*** Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 3910– 3916, 2012.
- YEHEYIS, M., HEWAGE, K., ALAM, M. S., ESKICIOGLU, C., SADIQ, R. ***An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability.*** DOI: 10.1007/s10098-012-0481-6; Springer-Verlag; Clean Techn Environ Policy 15:81–91, 2013.
- YUDELSON, J. ***Conceito de Construção Sustentável.*** Disponível em: [http://ambientes.ambientebrasil.com.br/arquitetura/construcoes\\_verdes/conceito\\_de\\_construcao\\_sustentavel.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/arquitetura/construcoes_verdes/conceito_de_construcao_sustentavel.html), 2007.