



MODELO MATEMÁTICO NEURO-FUZZY PARA SUBSIDIAR A AVALIAÇÃO  
DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS: O CASO DO MAGLEV-COBRA

Eloilton Soares Pereira de Souza

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientadores: Marcelo Prado Sucena

Richard Magdalena Stephan

Rio de Janeiro

Março de 2016

MODELO MATEMÁTICO NEURO-FUZZY PARA SUBSIDIAR A AVALIAÇÃO  
DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS: O CASO DO MAGLEV-COBRA

Eloilton Soares Pereira de Souza

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO  
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM  
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

Examinada por:

---

Prof. Richard Magdalena Stephan, Dr.-Ing.

---

Prof. Marcelo Prado Sucena, Dr.Sc.

---

Prof. Walter Issamu Suemitsu, Dr.Ing.

---

Prof. Suzana Kahn Ribeiro, Dr.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2016

Souza, Eloilton Soares Pereira de

Modelo Matemático Neuro-Fuzzy para Subsidiar a Avaliação de Construções Sustentáveis: O Caso do MagLev-Cobra / Eloilton Soares Pereira de Souza. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2016.

XXIII, 193 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Marcelo Prado Sucena

Richard Magdalena Stephan

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Elétrica, 2016.

Referências Bibliográficas: p. 167-180.

1. Construção Sustentável. 2. Lógica Fuzzy. 3. Redes Neurais Artificiais. 4. Levitação Magnética. I. Sucena, Marcelo Prado, *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Elétrica. III. Título.

*“Tão próximo às leis da matemática estejam da realidade, menos próximo da certeza elas estarão. E tão próximo estejam da certeza, menos elas se referirão a realidade.”*

*Albert Einstein*

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer a Deus e minha família, que foram minha força nos momentos difíceis e minha alegria nos bons momentos. Agradeço também a todos que, de alguma forma, me aconselharam e me guiaram durante o Mestrado, sobretudo aos meus orientadores.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

## MODELO MATEMÁTICO NEURO-FUZZY PARA SUBSIDIAR A AVALIAÇÃO DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS: O CASO DO MAGLEV-COBRA

Eloilton Soares Pereira de Souza

Março/2016

Orientadores: Marcelo Prado Sucena

Richard Magdalena Stephan

Programa: Engenharia Elétrica

O setor da construção está associado a importantes impactos ambientais, sendo grande consumidor de matérias-primas e energia, e gerando muita poluição. Assim, é indispensável rumar em direção à construção sustentável. As exigências de caráter ambiental para construções deram origem à criação de Sistemas de Certificação de Desempenho Ambiental de Obras. No processo avaliativo das construções existem atributos, em sua maioria, com características de subjetividade e onde a experiência dos tomadores de decisão é bastante significativa. Nesse cenário, esta dissertação tem como resultado principal o desenvolvimento de um modelo matemático que permita obter um Índice de Sustentabilidade da Construção. O índice proposto é obtido a partir da integração de indicadores ambientais associados às diversas atividades da construção. Esta integração é conseguida empregando a Lógica *Fuzzy* que permite tratar variáveis de naturezas qualitativa e quantitativa e que a partir de uma arquitetura de Rede Neural Artificial vá agregando, de uma camada intermediária para a seguinte, conjuntos de parâmetros até chegar ao Índice almejado. Este índice auxiliará os atores (planejadores, projetistas, construtores, usuários e/ou operadores) no processo de implantação dos princípios do desenvolvimento sustentável da construção e obtenção da certificação ambiental. Para validação do modelo será realizado um estudo de caso: O projeto *MagLev-Cobra* (COPPE/UFRJ/LASUP).

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

NEURO-FUZZY MATHEMATICAL MODEL FOR A SUSTAINABLE  
CONSTRUCTION SUBSIDIZE ASSESSMENT: THE MAGLEV-COBRA CASE

Eloilton Soares Pereira de Souza

March/2016

Advisors: Marcelo Prado Sucena

Richard Magdalena Stephan

Department: Electrical Engineering

The construction sector is associated with significant environmental impacts, and major consumer of raw materials and energy, and generate a lot of pollution. It is therefore essential to head towards sustainable construction. The environmental character requirements for buildings led to the creation of Environmental Performance Works Certification Systems. In the evaluation process of the buildings, there are attributes, mostly with subjectivity characteristics and where the experience of decision makers is quite significant. In this scenario, this work has as main result the development of a mathematical model for obtaining a Sustainability Index of Construction. The proposed index is obtained from the integration of environmental indicators associated with the various construction activities. This integration is achieved employing *Fuzzy* logic variables that can deal with both qualitative and quantitative nature and from an Artificial Neural Network architecture check adding of an intermediate layer to the next, sets of parameters to reach the desired level. This index will help actors (planners, designers, builders, users and / or operators) in the implementation of the principles of sustainable development in the construction and obtaining the environmental certification process. Model validation will be a case study: The *MagLev-Cobra* project (COPPE / UFRJ / LASUP).

# Sumário

1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	1
1.1	Introdução.....	1
1.2	Objetivo .....	6
1.2.1	Objetivo principal.....	6
1.2.2	Objetivos específicos.....	6
1.3	Justificativas .....	6
1.4	Metodologia.....	8
1.5	Estrutura da Dissertação .....	9
2	O DESAFIO DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL .....	11
2.1	Sustentabilidade.....	11
2.1.1	As Vertentes da Sustentabilidade .....	13
2.2	Construção Sustentável .....	14
2.2.1	O Novo Modelo da Construção Sustentável .....	17
2.2.2	Impactos Ambientais das Construções.....	19
2.2.3	Identificação e Avaliação dos Aspectos Ambientais na Construção.....	22
2.2.4	Os Atores .....	24
2.2.5	Avaliação da Construção Sustentável.....	26
2.2.5.1	Objetivos .....	27
2.2.5.2	Avaliação da Sustentabilidade .....	28
2.2.5.2.1	Indicadores da Sustentabilidade.....	29
2.2.5.2.2	Métodos de Avaliação da Sustentabilidade .....	30
2.3	Sistemas de Avaliação da Construção Sustentável.....	32
2.3.1	Certificação Ambiental da Construção.....	36
2.3.2	Implementação dos Sistemas de Certificação .....	39
2.3.2.1	Certificação AQUA / HQE - Alta Qualidade Ambiental.....	39
2.3.2.1.1	Implementação do sistema AQUA/HQE.....	43



2.3.2.2	Certificação LEED .....	44
2.3.2.2.1	Implementação do Sistema LEED .....	48
2.3.2.3	Análise Comparativa dos Sistemas LEED x AQUA/HQE .....	48
2.4	Considerações .....	56
3	O MODELO .....	57
3.1	Referencial Teórico .....	60
3.1.1	Teoria <i>Fuzzy</i> .....	60
3.1.1.1	Conjuntos <i>Fuzzy</i> .....	62
3.1.1.1.1	Variáveis Linguísticas.....	65
3.1.1.1.2	Função de Pertinência.....	66
3.1.1.1.3	Operações entre Conjuntos <i>Fuzzy</i> .....	68
3.1.1.2	Sistemas Baseados em Lógica <i>Fuzzy</i> .....	69
3.1.1.2.1	Fuzzyficação .....	70
3.1.1.2.2	Inferência <i>Fuzzy</i> - Base de Conhecimento.....	71
3.1.1.2.3	Defuzzyficação .....	75
3.1.2	Redes Neurais Artificiais.....	76
3.1.2.1	Início Histórico.....	77
3.1.2.2	Classificação dos Neurônios .....	81
3.1.2.3	Arquitetura de Rede .....	83
3.1.2.3.1	Rede Feedforward com Uma Única Camada .....	85
3.1.2.3.2	Rede Feedforward de Múltiplas Camadas .....	85
3.1.2.3.3	Redes Recorrentes.....	86
3.1.3	Rede <i>Neuro-Fuzzy</i> .....	86
3.1.4	Considerações .....	90
3.2	Modelagem .....	91
3.2.1	Caracterização dos Parâmetros de Avaliação da Sustentabilidade.....	92
3.2.1.1	Fatores de Avaliação .....	93

3.2.1.2	Áreas de Avaliação.....	94
3.2.1.3	Parâmetros e Critérios de Avaliação .....	95
3.2.2	Definição dos Indicadores e Variáveis de Entrada .....	99
3.2.2.1	Atributos Referentes a Dimensão Ambiental.....	104
3.2.2.2	Atributos Referentes a Dimensão Social.....	106
3.2.2.3	Atributos Referentes à Dimensão Econômica.....	108
3.2.3	Fuzzyficação .....	108
3.2.3.1	Definição dos Conjuntos <i>Fuzzy</i> .....	109
3.2.4	Definição das Variáveis de Saída Intermediárias .....	114
3.2.5	Estruturação do Modelo <i>Neuro-Fuzzy</i> - Arquitetura Neural .....	114
3.2.6	Inferência <i>Fuzzy</i> .....	116
3.2.7	Tratamento da Variável de Saída - Defuzzyficação .....	118
4	ESTUDO DE CASO .....	120
4.1	Objeto de Estudo: O <i>MagLev-Cobra</i> .....	122
4.2	Dados Coletados - A Obra.....	126
4.2.1	Descritivo do Projeto <i>MagLev-Cobra</i> .....	126
4.2.2	Etapas do Projeto <i>MagLev-Cobra</i> .....	128
4.2.2.1	Espaço Sustentável.....	129
4.2.2.2	Uso Racional da Água.....	134
4.2.2.3	Energia e Atmosfera.....	136
4.2.2.4	Materiais e Recursos .....	140
4.2.2.5	Qualidade do Ambiente Interno .....	144
4.2.2.6	Inovação no Projeto ( <i>Design</i> ).....	147
4.2.2.7	Prioridade Regional.....	149
4.3	Processamento do Modelo.....	149
4.3.1	Primeira Etapa: .....	150
4.3.2	Segunda Etapa: .....	151

4.3.3	Terceira Etapa:.....	153
4.3.4	Quarta Etapa: .....	153
4.3.5	Quinta Etapa: .....	156
4.3.6	Sexta Etapa: .....	157
4.4	Análise dos Resultados .....	159
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	163
5.1	Vantagens e Desvantagens .....	165
5.2	Recomendações .....	166
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	167
	APÊNDICES .....	181
I.	Perfil Ambiental do Sistema de Certificação AQUA/HQE. ....	181
II.	Checklist para Novas Construções Sistema de Certificação LEED .....	183
III.	Desenvolvimento do Modelo <i>Neuro-Fuzzy</i> .....	184

## Lista de Figuras

Figura 2.1: Objetivos da Sustentabilidade na sua dimensão tripla (Fonte: BRAGANÇA, 2008).....	13
Figura 2.2: Abordagem integrada e sustentável do Ciclo de Vida de uma construção. .	16
Figura 2.3: Construção tradicional (Fonte: Elaboração Própria).....	18
Figura 2.4: Construção eco eficiente, elaboração própria. (Adaptado de BRAGANÇA & MATEUS, 2006) .....	18
Figura 2.5: Construção sustentável, elaboração própria. (Adaptado de BRAGANÇA & MATEUS, 2006) .....	18
Figura 2.6: Impactos das atividades da construção no Brasil, elaboração própria (Fonte: FEBRABAN, 2013). .....	20
Figura 2.7: Fluxos de entradas e saídas de uma obra. ....	23
Figura 2.8: Algumas interações entre os fatores ambiental, social e econômico, elaboração própria. (Fonte: OECD, 2001).....	25
Figura 2.9: Modelo genérico de uma ferramenta de suporte para edificações sustentáveis. ....	30
Figura 2.10: Fluxos ambientais ao longo do ciclo de vida. ....	31
Figura 2.11: Principais sistemas de certificação ambiental de edificações pelo mundo.	34
Figura 2.12: Gráfico de Registros e Certificações LEED no Brasil, elaboração própria, baseada em dados da GBC Brasil (2016). ....	38
Figura 2.13: Perfil QAE, Elaboração Própria.....	41
Figura 2.14: Perfil de desempenho exigido (Fundação Vanzolini, 2014). ....	42

Figura 2.15: Processo de certificação LEED para construção sustentável (Fonte: GBC Brasil, 2014). .....	47
Figura 3.1: Dinâmicas / Abordagens dos Modelos.....	58
Figura 3.2: Figuras de pertinência. ....	63
Figura 3.3: Variável linguística Conservação de Energia. ....	65
Figura 3.4: Representação gráfica das Funções de Pertinência: (a) triangular, (b) trapezoidal, (c)gaussiana, (d) sigmoide e (e) singleton. ....	67
Figura 3.5: Estrutura geral de um sistema de inferência <i>fuzzy</i> . ....	70
Figura 3.6: inferência fuzzy.....	72
Figura 3.7: Método de MAMDANI com composição max-min. ....	73
Figura 3.8: Método de TAKAGI-SUGENO.....	74
Figura 3.9: Exemplo de arquitetura de rede neural artificial.....	76
Figura 3.10: Modelo básico de um neurônio.....	78
Figura 3.11: O perceptron.....	79
Figura 3.12: Grafo arquitetural de uma rede de Hopfield, consistindo de 4 neurônios..	81
Figura 3.13: Modelo de um neurônio fuzzy descrito por equações lógicas. ....	82
Figura 3.14: Neurônios lógicos: (a) neurônio OR e (b) neurônio AND.....	83
Figura 3.15: Conexão de neurônios à construção de RNA. ....	84
Figura 3.16: Rede Feedforward de camada única. ....	85
Figura 3.17: Rede Feedforward de múltiplas camadas.....	86
Figura 3.18: Arquitetura básica de um Sistema Neuro-fuzzy. ....	88

Figura 3.19: Rede Neuro-fuzzy AND/OR.....	88
Figura 3.20: Exemplo de arquitetura de uma perceptron multicamadas. ....	89
Figura 3.21: Estrutura da modelagem proposta.....	92
Figura 3.22: Diagrama estrutural do Indicador Ambiental.....	100
Figura 3.23: Diagrama estrutural do Indicador Econômico. ....	101
Figura 3.24: Diagrama estrutural do Indicador Social. ....	102
Figura 3.25: Diagrama estrutural do Indicador Ambiental (Fonte: Elaboração Própria). .....	106
Figura 3.26: Diagrama estrutural do Indicador Planejamento e Projeto (Fonte: Elaboração Própria). ....	108
Figura 3.27: Diagrama estrutural do Indicador Socioeconômico e Político (Fonte: Elaboração Própria). ....	108
Figura 3.28: Funções de pertinência da variável linguística Conservação de Energia - VE24.....	110
Figura 3.29: Fuzzyficação das variáveis de entrada. ....	112
Figura 3.30: Agregação dos neurônios para elaboração da Rede Neuro-Fuzzy à obtenção do ISC.....	115
Figura 3.31: Conjunto fuzzy resultante do processo de agregação das regras fuzzy. ..	117
Figura 4.1: Guiamento e Sustentação dos Sistemas Ferroviário e MagLev (Fonte: Painho, 2009).....	124
Figura 4.2: Protótipo do trem de levitação magnética, MagLev-Cobra, desenvolvido pela Coppe/UFRJ (Foto: Arquivo próprio). ....	125
Figura 4.3: Projeto 3D de implantação do protótipo operacional do MagLev-Cobra (Fonte: MATELLO, 2012). ....	125

Figura 4.4: Imagem satélite do local de implantação do MagLev-Cobra (Google maps 2016).....	129
Figura 4.5: Telha termo acústica tipo sanduíche. (Fonte: Catálogo do fornecedor). ...	132
Figura 4.6: Diagrama estrutural do Indicador Sítio Sustentável. ....	133
Figura 4.7: Situação antes da implantação do canteiro de obras (Fonte: O autor).....	133
Figura 4.8: Início da implantação do canteiro de obras (Fonte: O autor).....	134
Figura 4.9: Obra concluída (Fonte: O autor). ....	134
Figura 4.10: Drenagem das águas de reuso de chuva (Fonte: O autor).....	135
Figura 4.11: Diagrama estrutural do Indicador Uso Racional da Água. ....	136
Figura 4.12: Luz natural, iluminação externa e interna de baixo consumo a base de led, cobertura com telha termo acústica, utilização de brises, etc. (Fonte: O autor).....	138
Figura 4.13: Painéis fotovoltaicos, suprem as necessidades operacionais do MagLev-Cobra, além de injetar o excedente de energia à rede de distribuição (Fonte: O autor). ....	138
Figura 4.14: Diagrama estrutural do Indicador Energia e Atmosfera. ....	140
Figura 4.15: Materiais de descarte e reuso no canteiro de obras (Fonte: O autor).....	141
Figura 4.16: Reuso de material no canteiro de obras, forma dos blocos das fundações (Fonte: O autor). ....	141
Figura 4.17: Materiais regionais utilizados nas fundações (Fonte: O autor).....	142
Figura 4.18: Materiais regionais utilizados nas fundações (Fonte: O autor).....	143
Figura 4.19: Diagrama estrutural do Indicador Materiais e Recursos. ....	143
Figura 4.20: Brises verticais articulados, qualidade de ventilação, iluminação e integração com o exterior. ....	145

Figura 4.21: Materiais de baixa emissão (Fonte: O autor). .....	146
Figura 4.22: Iluminação natural nas estações do MagLev-Cobra (Fonte: O autor). ....	146
Figura 4.23: Diagrama estrutural do Indicador Qualidade do Ambiente Interno.....	147
Figura 4.24: MagLev-Cobra, operação Coppe/UFRJ (Fonte: O autor).....	148
Figura 4.25: Inovação tecnológica, acessibilidade, reciclagem, integração com o meio e mobilidade eficiente. ....	148
Figura 4.26: Diagrama estrutural do Indicador Projeto. ....	149
Figura 4.27: Arquitetura Neuro-Fuzzy de agregação dos neurônios.....	152
Figura 4.28: Funções de pertinência das variáveis de entrada. ....	154
Figura 4.29: Discretização fuzzy da variável de saída ISC. ....	155
Figura 4.30: Conjuntos fuzzy das variáveis de saída (Tabela 4.7). ....	160
Figura II.1: Checklis LEED NC (Fonte: GBC Brasil, 2014). ....	183
Figura III.1: Aplicação do multiplexador da 1ª camada da rede Neuro-Fuzzy. ....	185
Figura III.2: Aplicação do multiplexador da 1ª camada da rede Neuro-Fuzzy. ....	185
Figura III.3: Aplicação do multiplexador da 1ª camada da rede Neuro-Fuzzy. ....	186
Figura III.4: Aplicação do multiplexador da 1ª camada da rede Neuro-Fuzzy. ....	186
Figura III.5: Aplicação do multiplexador da 1ª camada da rede Neuro-Fuzzy. ....	187
Figura III.6: Aplicação do multiplexador da 1ª camada da rede Neuro-Fuzzy. ....	187
Figura III.7: Aplicação do multiplexador da 1ª camada da rede Neuro-Fuzzy. ....	188
Figura III.8: Aplicação do multiplexador da 1ª camada da rede Neuro-Fuzzy. ....	188
Figura III.9: Aplicação do multiplexador da 1ª camada da rede Neuro-Fuzzy. ....	189



Figura III.10: Aplicação do multiplexador da 1ª camada da rede Neuro-Fuzzy. ....	189
Figura III.11: Aplicação do multiplexador da 1ª camada da rede Neuro-Fuzzy. ....	190
Figura III.12: Aplicação do multiplexador da camada intermediária da rede Neuro-Fuzzy. .....	190
Figura III.13: Aplicação do multiplexador da camada intermediária da rede Neuro-Fuzzy. .....	191
Figura III.14: Aplicação do multiplexador da camada intermediária da rede Neuro-Fuzzy. .....	191
Figura III.15: Aplicação do multiplexador da camada intermediária da rede Neuro-Fuzzy. .....	192
Figura III.16: Aplicação do multiplexador da camada intermediária da rede Neuro-Fuzzy. .....	192
Figura III.17: Aplicação do multiplexador da camada intermediária da rede Neuro-Fuzzy. .....	193
Figura III.18: Aplicação do multiplexador da última camada da rede Neuro-Fuzzy...	193

## Lista de Tabelas

Tabela 2.1: As famílias e respectivas categorias de preocupação do Processo AQUA (Elaboração Própria).....	41
Tabela 2.2: Número mínimo de categorias à classificação AQUA. ....	43
Tabela 2.3: Níveis de classificação AQUA. ....	43
Tabela 2.4: Distribuição das Categorias para certificação LEED (Elaboração Própria).45	
Tabela 2.5: Níveis de classificação LEED (Fonte: GBC do Brasil, 2014).....	45
Tabela 3.1: Evolução histórica das pesquisas em Redes Neurais.....	78
Tabela 3.2a: Identificação das variáveis de entrada. ....	102
Tabela 3.3: Variáveis de entrada e suas características. ....	109
Tabela 3.4: Cálculo dos graus de pertinência dos vetores de entrada, típico às 39 variáveis de entrada.....	111
Tabela 3.5: Triângulos fuzzy. ....	113
Tabela 3.6: Fuzzyficação das variáveis de entrada.....	113
Tabela 3.7: Termos linguísticos atribuídos às variáveis intermediárias e saída.....	114
Tabela 3.8: Exemplo de Base de Regras. ....	118
Tabela 4.1: Variáveis de entrada, termos linguísticos e universo de discurso. ....	150
Tabela 4.2: Variáveis de saída intermediárias para o cálculo do ISC. ....	153
Tabela 4.3: Funções dos conjuntos fuzzy para os vetores de entrada. ....	154
Tabela 4.4: Conjuntos triangulares fuzzy correspondentes aos conjuntos da variável de saída ISC. ....	155

Tabela 4.5: Cálculo dos graus de pertinência dos vetores de saída da última camada neuro-fuzzy. ....	156
Tabela 4.6: Valores das variáveis de entrada para obtenção do ISC. ....	157
Tabela 4.7: Resultado das variáveis de saída para a obtenção do ISC. ....	158
Tabela 4.8: Interpretação da escala do ISC, de acordo com o sistema LEED. ....	159
Tabela I.1: Tabela guia para uso pelo empreendedor para a hierarquização das categorias de QAE em função dos desafios ambientais estabelecidos 1/2. (Fonte: Fundação Vanzolini, 2014). ....	181
Tabela I.2: Tabela guia para uso pelo empreendedor para a hierarquização das categorias de QAE em função dos desafios ambientais estabelecidos 2/2. (Fonte: Fundação Vanzolini, 2014). ....	182
Tabela III.1: Planilha Excel simulando o BI 01. ....	185
Tabela III.2: Planilha Excel simulando o BI 02. ....	185
Tabela III.3: Planilha Excel simulando o BI 03. ....	186
Tabela III.4: Planilha Excel simulando o BI 05. ....	186
Tabela III.5: Planilha Excel simulando o BI 06. ....	187
Tabela III.6: Planilha Excel simulando o BI 07. ....	187
Tabela III.7: Planilha Excel simulando o BI 09. ....	188
Tabela III.8: Planilha Excel simulando o BI 10. ....	188
Tabela III.9: Planilha Excel simulando o BI 12. ....	189
Tabela III.10: Planilha Excel simulando o BI 13. ....	189
Tabela III.11: Planilha Excel simulando o BI 15. ....	190

Tabela III.12: Planilha Excel simulando o BI 04. ....	190
Tabela III.13: Planilha Excel simulando o BI 08. ....	191
Tabela III.14: Planilha Excel simulando o BI 11. ....	191
Tabela III.15: Planilha Excel simulando o BI 16. ....	192
Tabela III.16: Planilha Excel simulando o BI 14. ....	192
Tabela III.17: Planilha Excel simulando o BI 17. ....	193
Tabela III.18: Planilha Excel simulando o BI 18. ....	193

## Lista de Quadros

Quadro 2.1: Aspectos relevantes da arquitetura e construção sustentável. ....	17
Quadro 2.2: Ciclo de vida de uma construção, elaboração própria. ....	21
Quadro 2.3: Fluxos de entradas e saídas por atividades em uma obra. ....	24
Quadro 2.4: Etapas do SGE. ....	41
Quadro 2.5: Análise comparativa dos parâmetros de cada sistema relativamente à Gestão Ambiental. ....	49
Quadro 2.6: Análise comparativa dos parâmetros de cada sistema relativamente aos Aspectos Socioeconômicos e Políticos. ....	50
Quadro 2.7: Análise comparativa dos parâmetros de cada sistema relativamente à Integração no Meio. ....	51
Quadro 2.8: Análise comparativa dos parâmetros de cada sistema relativamente às Cargas Ambientais e Impacte no Ambiente Externo. ....	52
Quadro 2.9: Análise comparativa dos parâmetros de cada sistema relativamente à Inovação. ....	52
Quadro 2.10: Análise comparativa dos parâmetros de cada sistema relativamente ao Planejamento. ....	53
Quadro 2.11: Análise comparativa dos parâmetros de cada sistema relativamente ao Ambiente Interno. ....	54
Quadro 2.12: Análise comparativa dos parâmetros de cada sistema relativamente aos Recursos. ....	55
Quadro 3.1: Funções de Pertinência da Lógica Fuzzy (Fonte: Elaboração própria). ....	67

Quadro 3.2: Vertentes, fatores, áreas e parâmetros de avaliação da sustentabilidade na construção.....	97
Quadro 4.1: Categoria LEED Espaço Sustentável. ....	130
Quadro 4.2: Categoria LEED Uso Racional da Água. ....	135
Quadro 4.3: Categoria LEED Energia e Atmosfera. ....	137
Quadro 4.4: Categoria LEED Materiais e Recursos.....	140
Quadro 4.5: Categoria LEED Qualidade do Ambiente Interno.....	144
Quadro 4.6: Categoria LEED Inovação no Projeto. ....	147
Quadro 4.7: Categoria LEED Prioridade Regional. ....	149

## Lista de Abreviaturas e Siglas

ACV:	Análise do Ciclo de Vida
AQUA:	Alta Qualidade Ambiental
BI:	Bloco de Inferência
BREEAM:	<i>Building Research Establishment Assessment Method</i>
CBCS:	Conselho Brasileiro da Construção Sustentável
CEF:	Caixa Econômica Federal
CoM:	Centro dos Máximos
CIB:	Conselho Internacional da construção
FEBRABAN:	Federação Brasileira de Bancos
FSC:	<i>Forest Stewardship Council</i>
GBC Brasil:	Green Building Council Brasil
GBTool:	<i>Green Building</i>
HQE:	<i>Haute Qualite Environnementale dès Batiments</i>
ISC:	Índice de sustentabilidade da construção
LEED:	<i>Leadership in Energy &amp; Environmental Design</i>
MagLev:	Levitação Magnética
$\mu_A(x)$ :	Grau de Pertinência
MCP:	MACcCULLOCH e PITTS
NABERS:	<i>National Australian Buildings Environmental Rating System</i>
OCO:	Organismos Certificadores de Obras
OECD:	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
ONU:	Organização das Nações Unidas
RNA:	Rede Neural Artificial
SIF:	Sistema de Inferência Fuzzy
SRI:	<i>Solar Reflectance Index</i>
TSS:	Total de Sólidos Suspensos
UFRJ:	Universidade Federal do Rio de Janeiro
USGBC:	<i>United States Green Building Council</i>
VOC:	Composto Orgânico Volátil

# 1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

## 1.1 Introdução

A preocupação com o desenvolvimento sustentável tem incentivado o estudo e a implantação, em diferentes setores, de medidas e procedimentos que contribuam para a sustentabilidade em áreas urbana.

Embora vaga, a palavra “sustentabilidade” tem sempre a pretensão de considerar simultaneamente os impactos das atividades humanas numa perspectiva ambiental, de coesão social e de desenvolvimento econômico, tanto para atual como para as gerações futuras. A avaliação de impactos é cada vez mais necessária em todos os campos de intervenções políticas para decidir sobre a utilização ótima dos recursos limitados de que se dispõe, a fim de intensificar a competitividade econômica, melhorar o ambiente e aumentar a coesão social das cidades.

Neste sentido, conceitua-se construção sustentável como uma abordagem integrada de criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, baseado na eficiência de recursos e princípios ecológicos.

Trata-se de uma forma radicalmente diferente de pensar e exige uma integração de experiências em arquitetura, design, engenharia civil, engenharia do ambiente, e outras ciências, nomeadamente as sociais, uma vez que considera aspectos ambientais, socioeconômicos e culturais.

Construção sustentável é um sistema construtivo que promove alterações conscientes no entorno, de forma a atender as necessidades da edificação e uso do homem moderno, preservando o meio ambiente e os recursos naturais, garantindo qualidade de vida para as gerações atuais e futuras.

Em 1994, o Conselho Internacional da Construção - CIB, procurou definir a construção sustentável como “a criação e manutenção responsáveis de um ambiente construído saudável, baseado na utilização eficiente de recursos e no projeto baseado em princípios ecológicos” (KIBERT, 2008).



Essa definição encontra-se de acordo com o conceito de sustentabilidade proposto pelo relatório BRUNTLAND (1987), da ONU, que lançou as bases da economia sustentável a partir do axioma: “Desenvolvimento sustentável é aquele que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações em satisfazer suas próprias necessidades”.

Desde 1973, ano da Crise do Petróleo, até o presente, a visão sobre o que é Construção sustentável vem se modificando e aprofundando, à semelhança dos organismos vivos quando submetidos a pressões para adequar-se e sobreviver.

No início, a discussão era sobre ambientes construídos energeticamente mais eficientes. O desafio era superar a Crise do Petróleo. Depois, o inimigo passou a ser o entulho gerado pela obra; depois, a água; a seguir, o lixo dos moradores e usuários; agora, o novo vilão são as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que é o gás que mais contribui para o aumento da concentração dos gases estufa na atmosfera.

Começou-se a perceber que a construção sustentável não é um modelo para resolver problemas pontuais, mas uma nova forma de pensar a própria construção e tudo que a envolve. Trata-se de um enfoque integrado da própria atividade, de uma abordagem sistêmica em busca de um novo paradigma: o de intervir no meio ambiente, preservando-o e, em escala evolutiva, recuperando-o e gerando harmonia no entorno, mitigando impactos, agregando qualidade de vida aos meios: físico, biótico e antrópico, firmando um desenvolvimento sustentável ao planeta.

A indústria da construção civil tem sido motivo de discussões quanto à necessidade de se buscar o desenvolvimento sustentável por apresentar-se como grande consumidora de recursos naturais e geradora de uma elevada quantidade de resíduos, que produz grandes impactos ambientais, desde a extração das matérias-primas necessárias à produção de materiais, passando pela execução dos serviços nos canteiros de obra até a destinação final dada aos resíduos gerados, ocasionando grandes alterações na paisagem urbana, acompanhadas de áreas degradadas.

Esta questão vem influenciando mudanças no cenário mundial, principalmente, em projetos de engenharia e de design contemporâneo, onde, iniciativas sustentáveis são desenvolvidas em diversas condições urbanas e ambientais. A introdução de programas e

selos de certificação ambiental, por organismos internacionais, auxilia e incentiva na busca pela melhor qualidade e desempenho sustentável da edificação, através de intervenções conscientes e planejadas. É recomendado buscar desde a fase de planejamento analisar o contexto do local onde se pretende inserir a nova edificação, considerando o maior número de variáveis e desdobramentos possíveis.

Com o aumento do interesse pela análise ambiental surgiram as diversas ferramentas de análise de desempenho ambiental das edificações, utilizando-se métodos de caráter integrado ou fragmentado, considerando partes do edifício ou o edifício inteiro. Duas abordagens merecem destaque na avaliação ambiental de edificações: uma quantitativa (Avaliação de Ciclo de Vida) e outra utiliza sistemas de pontuação ou conceitos para análise dos dados, qualitativa (REIJNDERS & ROEKEL, 1999). Tais ferramentas são denominadas *eco-labellings* - rotulagem ambiental.

A nova construção alterou seus rumos e mudou seus ingredientes. Não se trata de apenas gerenciar pessoas, mas também empresas fornecedoras de materiais e equipamentos tecnológicos, instaladores e supervisores, entre muitos. A par de todas essas mudanças, surgem outras, que se incorporam à cultura das pessoas e outras consagradas por lei. A proteção ao meio ambiente, ao trabalhador e a população de maneira geral, quanto à segurança, saúde, poluição, desperdício de água, ocupação de espaços, entre outras.

O sucesso dessa nova construção tem forte dependência da relação entre seus atores (WOOD, 2012). Segundo o PMBOK (2013), o gerenciamento da qualidade do projeto inclui os processos e as atividades da organização executora que determinam as políticas de qualidade, os objetivos e as responsabilidades, de modo que o projeto satisfaça às necessidades para as quais foi empreendido. Implementa o sistema da qualidade por meio de políticas e procedimentos com atividades de melhoria contínua de processos realizadas durante todo o projeto, conforme apropriado.

No entanto, nem sempre os atores do projeto compartilham dos mesmos conceitos relacionados à percepção da qualidade nos projetos. Os especialistas vêm se utilizando da análise sistemática da informação imprecisa, já que procura classificar as variedades de raciocínio subjetivo, de forma a codificar as regras de avaliação do valor dos dados

admitidos em tal raciocínio, determinar graus de possibilidade para suas conclusões e investigar a racionalidade destas regras.

Para modelar o processo cognitivo humano, a teoria das possibilidades vem sendo desenvolvida e seus resultados tem se provado de grande valor na análise de dados originários da subjetividade, pensamento e raciocínio aproximado humanos, como os encontrados na maioria dos projetos, aliado ao importante papel que a incerteza e exatidão representam no processo humano de tomada de decisão.

A incerteza, por outro lado, tem ocupado um lugar de destaque desde o século XX, onde MORIN (2002) afirma ter sido o reconhecimento das incertezas uma das maiores conquistas deste período. Realmente, questões relacionadas as incertezas podem ser vistas em diversas áreas, desde questões surgidas em relação às ações ambientais, das condições de sobrevivência do homem no planeta, às questões pertinentes aos modelos matemáticos, como a Estatística e a Lógica *Fuzzy*.

A Lógica *Fuzzy* surge como uma alternativa, uma extensão da Lógica Clássica, para trabalhar as questões vagas, incertas ou mal definidas, presentes no raciocínio humano. Ela difere do tratamento dado pela Estatística, pois enquanto a incerteza nos modelos estatísticos está relacionada à casualidade dos eventos, a incerteza nos modelos *fuzzy* está relacionada à imprecisão ou vagueza dos conceitos (CORNELISSEN *et al.*, 2001). A Lógica *Fuzzy* foi proposta inicialmente para resolver problemas de automação e controle, porém, houve uma expansão do conhecimento nesta área e atualmente, encontramos diversas aplicações em diferentes áreas tais como geoprocessamento, medicina e apoio à tomada de decisão (CHENG, 2001). O termo Lógica *Fuzzy* tem sido utilizado em dois sentidos: num sentido restrito, quando se refere aos processos de inferência tal qual a Lógica Clássica ou num sentido amplo, quando se refere a um conjunto de teorias e métodos baseados na Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* (DVORAK *et al.*, 2003).

O processo de avaliação ambiental de construções, por se tratar um processo, cujos atributos, em sua maioria, possuem características de subjetividade e onde a experiência dos tomadores de decisão, dos atores - *stakeholders*, é bastante significativa, torna-se necessária a utilização de uma ferramenta que permita a associação de variáveis quantitativas e qualitativas convergidas a um único parâmetro de avaliação.

Há alguns modelos que possibilitam a utilização de parâmetros objetivos e subjetivos para a determinação da melhor alternativa de obtenção de índices ambientais à construção (métodos de escolha discreta, métodos multicritérios etc.). Entretanto, a obtenção dos dados e a calibração de sistemas *Fuzzy* é, geralmente, mais simples do que em sistemas convencionais. Assim, um modelo que agrega a tecnologia das Redes Neurais Artificiais à Lógica *Fuzzy* (Tecnologia *Neuro-Fuzzy*) é proposto, consolidando um modelo de apoio à decisão da certificação ambiental.

Neste cenário da construção sustentável, destaca-se a busca pela mobilidade urbana inserida no contexto da sustentabilidade. Esta busca deve ter como base o conceito de desenvolvimento sustentável em que se procura de uma forma geral, definir estratégias dentro de uma visão conjunta das questões: sociais, econômicas e ambientais. Estas estratégias apontam para a necessidade de um transporte público eficaz e não poluente, cuja construção e operação tenham custos competitivos, prioridades do desenvolvimento sustentável.

Neste sentido, a mobilidade sustentável é uma questão-chave. Assim, os métodos e práticas para atingi-la devem ser delineados, experimentados e divulgados para abrir caminho à melhorias na qualidade dos transportes e da vida urbana. É nesta conjunção que a tecnologia de trens de levitação magnética (*MagLev*) se insere, pois vem demonstrando ser uma alternativa de mudança aos meios de transporte tradicionais, com uma grande pegada ambiental no seu processo construtivo e de operacionalidade.

Pelo exposto, vislumbra-se à importância do estudo de caso, a implantação do protótipo em escala real do *MagLev-Cobra* no Campus da UFRJ entre os Centros Tecnológicos 1 e 2, em que se debruça essa dissertação, enfatizando o processo construtivo: planejamento, projeto, de execução da obra e de uso/operação, da observância nesse processo das vertentes ambientais à avaliação da construção, que propiciem a certificação deste nos moldes requeridos à sustentabilidade do edificado, na aplicação da modelagem proposta, tecnologia *Neuro-Fuzzy*, objetivando o Índice de Sustentabilidade da Construção para o Projeto *MagLev-Cobra*.

## 1.2 Objetivo

### 1.2.1 Objetivo principal

No contexto apresentado esta dissertação de mestrado tem como objetivo principal o estabelecimento de uma metodologia de análise de dados para obtenção do Índice de Sustentabilidade da Construção (ISC) exigido por Organismos Certificadores de Obras (OCO), utilizando ferramentas de Lógica *Fuzzy* aliadas a Redes Neurais Artificiais, tecnologia *Neuro-Fuzzy*. Para isto, busca-se desenvolver um modelo matemático que melhor represente e manipule os dados qualitativos e quantitativos referentes à avaliação do ambiente construído. Além disso, vislumbra-se que tal metodologia auxilie os atores (planejadores, projetistas, construtores, usuários e/ou operadores) no processo de implantação dos princípios do desenvolvimento sustentável da construção e obtenção da certificação ambiental da construção.

### 1.2.2 Objetivos específicos

De forma secundária, mas não menos importante, pretende-se:

- ✓ Identificar dos aspectos da construção sustentável;
- ✓ Caracterizar os requisitos necessários para obtenção da certificação;
- ✓ Desenvolver um estudo de caso, utilizando a implementação da primeira linha de teste do *MagLev-Cobra*, para validação do modelo matemático e definição do ISC;
- ✓ Contribuir para o esclarecimento de diversos aspectos relacionados à incerteza no gerenciamento de projetos.

## 1.3 Justificativas

Nesta breve introdução nota-se que qualidade de vida, desenvolvimento sustentável e as questões relativas a indústria da construção estão relacionados de forma a compor um cenário de discussões muito amplo e bastante explorado por pesquisadores de diversas áreas. A avaliação das ações empreendidas no meio ambiente torna-se cada vez mais imprescindível e com ela a necessidade de agregar a avaliação ambiental das construções de forma ampla. Neste sentido novos modelos de sistemas de avaliação são demandados para que os resultados obtidos sejam cada vez mais consistentes.

Para GOLDBARG & LUNA (2000), a noção intuitiva de modelo se apoia no desejo do homem de entender o mundo que o cerca, nas imposições de sobrevivência e na necessidade de conquistar o domínio de seu meio ambiente. Para estes autores, o fenômeno de modelagem faz parte da busca de uma visão bem estruturada da realidade.

Neste processo de representação da realidade, diferentes abordagens têm sido propostas. Segundo TRZESNIAK (1998), podemos diferenciar estas abordagens considerando a forma como as relações entre causa e efeitos são modeladas. Pertencem à categoria das determinísticas aquelas em que causa e efeito estão ligados diretamente: a presença (ou uma variação) da primeira necessariamente implica o surgimento (ou uma alteração) no último, frequentemente obedecendo a uma lei matemática conhecida. Já no caso das estocásticas, a vinculação entre causa e efeito torna-se indireta, a presença (ou uma variação) da primeira reflete-se não no efeito, mas na probabilidade de ele surgir (ou se modificar). Dessa forma, algum tipo de incerteza é introduzido na relação.

A incerteza introduzida pela abordagem estocástica está relacionada à probabilidade de ocorrência de um determinado evento. Contudo, existem outros tipos de incerteza que não são considerados nesta abordagem. De fato, incertezas relacionadas à vagueza ou imprecisão de conceitos são modelados utilizando-se o que se convencionou chamar de Lógica *Fuzzy*.

Enquanto a abordagem estocástica trata da incerteza como aleatoriedade, avaliando se um evento ocorrerá, a Lógica *Fuzzy* trata a incerteza não avaliando se um evento ocorrerá, mas sim o quanto ele ocorre ou ocorrerá (CORNELISSEN *et al.*, 2001). É importante salientar que estas abordagens não são excludentes, pelo contrário, podem ser complementares, visto que tratam diferentes facetas do fato em análise.

Os parâmetros qualitativos são de difícil mensuração e podem apresentar elevados índices de subjetividade, justificando a aplicação de modelos que permitam a convergência destes parâmetros para um coeficiente único, viabilizando assim, a tomada de decisão considerando todos os atributos relevantes.

A Teoria *Neuro-Fuzzy* pode ser caracterizada pela associação da Lógica *Fuzzy* à arquitetura das Redes Neurais Artificiais, estruturando uma ferramenta adequada para o processamento de dados qualitativos e quantitativos; lineares ou não.

O uso da Teoria *Neuro-Fuzzy* possibilita e simplifica a reprodução do processo de decisão humana, estruturando-se a partir da combinação dos atributos da decisão em blocos de inferência que utilizam bases de regras *Fuzzy* e expressões linguísticas, a fim de traduzir, satisfatoriamente os graus de atendimento dos requisitos, possibilitando avaliar o estágio de conformidade ao quesito avaliado.

Pelo proposto a metodologia pode ser aplicada em construções novas ou de reabilitação. O modelo matemático, que suporta a metodologia, além de sua aplicabilidade em qualquer construção sustentável, visa estabelecer sua eficácia em uma obra onde a mobilidade urbana é o grande desafio nas grandes metrópoles. Neste contexto a metodologia sugerida será aplicada às etapas construtivas: de planejamento, de projeto, de execução da obra e de uso/operação, do sistema de transporte urbano por levitação magnética. O estudo de caso terá como situação pontual a implantação do protótipo em escala real do *MagLev-Cobra* no Campus da UFRJ entre os Centros Tecnológicos 1 e 2.

Assim, considera-se que a aplicação dessa metodologia permitirá aos atores do projeto *MagLev-Cobra* possam interagir nas etapas da construção, nas várias especialidades que envolvem a sua concepção, propondo procedimentos que visem maximizar a sustentabilidade do edificado, minimizando desvios e distorções dos objetivos em cada fase, viabilizando maiores oportunidades à certificação ambiental da construção.

#### **1.4 Metodologia**

Para se atingir os objetivos propostos pretende-se seguir as seguintes fases:

- ✓ Revisão bibliográfica do conceito de sustentabilidade;
- ✓ Revisão bibliográfica de estratégias tecnológicas para construções de melhor desempenho ambiental: Energia, Materiais e Água;
- ✓ Revisão bibliográfica de sistemas de avaliação de sustentabilidade de construções, onde serão levantados parâmetros exigidos por OCO;
- ✓ Definição das variáveis de entrada baseando-se nos atributos pertinentes à sustentabilidade, inseridos nos pré-requisitos e critérios de avaliação de uma certificação para construções sustentáveis;
- ✓ Adequação das variáveis de entrada aos preceitos da Teoria *Fuzzy*;

- ✓ Criação da Rede Neural que processará as variáveis de entrada;
- ✓ Definição das variáveis de saída e adequação aos preceitos da Teoria *Fuzzy*;
- ✓ Estudo de Caso – coleta de dados para subsidiar as variáveis de entrada;
- ✓ Aplicação do modelo;
- ✓ Análise dos resultados obtidos.

Nessa conjuntura esse trabalho visa apresentar um modelo de ferramenta que possibilite aos atores interagir nas etapas da construção, nas várias especialidades que envolvem a sua concepção, propondo procedimentos que possibilitem maximizar a sustentabilidade do edificado, sem propiciar desvios e distorção dos objetivos em cada fase, obtendo um valor mais próximo do grau de formalização do requisito avaliado, proporcionando, assim, melhor definição à tomada de decisão na melhoria do requisito, possibilitando, no final, maiores oportunidades à certificação ambiental da construção.

### **1.5 Estrutura da Dissertação**

Esta dissertação de mestrado está estruturada em seis capítulos, a saber:

Capítulo 1, apresentam-se considerações introdutórias sobre o tema proposto, bem como a importância, o objetivo e justificativas do trabalho e a metodologia aplicada, assim como, a estrutura do mesmo.

Capítulo 2, é apresentada uma revisão bibliográfica no sentido de coletar informações sobre a sustentabilidade. A revisão bibliográfica abrange, principalmente, a evolução do desenvolvimento sustentável, suas dimensões e objetivos, abordagem de como a indústria da construção é presente no contexto ambiental, com seus impactos e quais as principais ferramentas de mitigação desse impacto ao meio ambiente e como proceder sua avaliação, bem como o papel dos atores responsáveis pela implementação de uma obra com condicionantes ambientais. Além de conceitos e métodos mais utilizados sobre avaliação ambiental da construção, apresentando os conceitos dos indicadores de sustentabilidade, as metodologias e ferramentas avaliativas no processo construtivo de uma obra, com uma breve retrospectiva dos sistemas em uso, os mais abrangentes, além do estado da arte relacionado com os Organismos Certificadores de Obras internacionais.



Capítulo 3, apresenta-se um histórico, a conceituação e a descrição das diversas etapas da Lógica *Fuzzy* e da tecnologia *neuro-fuzzy*, a proposta do modelo matemático procedimento que proporcione a obtenção do Índice de Sustentabilidade da Construção.

Capítulo 4, com o objetivo de proporcionar uma melhor compreensão do procedimento proposto, a modelagem é aplicada ao estudo de caso, que terá como situação pontual a implantação do protótipo em escala real do *MagLev-Cobra* no Campus da UFRJ entre os Centros Tecnológicos 1 e 2.

Capítulo 5, apresentam-se as conclusões e as recomendações para estudos futuros.

Capítulo 6, as referências bibliográficas.

## **2 O DESAFIO DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL**

O conceito da construção sustentável provém da definição do Desenvolvimento Sustentável, no qual este defende que um desenvolvimento econômico, ambiental e social é capaz de atender as necessidades desta geração, sem comprometer o atendimento das necessidades das gerações futuras.

### **2.1 Sustentabilidade**

O conceito de sustentabilidade, palavra empregada abusivamente em nossos dias, vem sendo aplicada de forma inadequada em diversas ocasiões. Originariamente a palavra sustentabilidade surge associada ao desenvolvimento sustentável, cuja definição foi apresentada no relatório de BRUNDTLAND em 1987. De modo geral, por sustentabilidade se pressupõem três dimensões claramente definidas: ambiental, social e econômica, as quais devem ser devidamente tratadas nos processos de projeto e na produção da construção.

Com essa definição entende-se que a arquitetura sustentável é a busca por soluções que atendam às restrições orçamentárias, ao anseio dos usuários, às condições físicas e sociais locais, às tecnologias disponíveis, à legislação, à antevisão das necessidades durante a vida útil da edificação ou do espaço construído. Essas soluções devem atender a todos esses quesitos de modo racional e menos impactante aos meio social e ambiental, com uso responsável de recursos apresentando menores consumos de energia, água e outros insumos.

Nas últimas décadas nos transformamos em um planeta urbano. Mundialmente, a cada semana, mais de um milhão de pessoas migram para as cidades, pois mais da metade da população mundial passou a viver nas áreas urbanas. Para prover toda essa demanda, há necessidade de se economizar recursos. A urbanização dos países em desenvolvimento vem intensificando-se cada vez mais. Em grandes regiões do planeta, milhões de pessoas vivem em condições impróprias, destruindo vegetações, comprometendo mananciais e ocupando áreas de risco.

No Brasil, de acordo com o último censo do IBGE (2010), mais de 80% da população vive em espaços urbanizados. A aceleração dos processos de urbanização eleva

o consumo dos recursos naturais a níveis nunca vistos e resulta na geração de poluição e resíduos.

De acordo com o Fundo Mundial para a Natureza (WWF, na sigla em inglês): “A Terra perdeu, em pouco mais de um quarto de século, quase um terço de sua riqueza biológica e recursos. E, no ritmo atual, a humanidade necessitará de dois planetas em 2030 para manter seu estilo de vida”.

As evidências de que esse modelo de ocupação pode estar interferindo no clima é objeto de estudos e alertas de cientistas em todo planeta. As implicações dessas possíveis alterações climáticas são de magnitude imprevisível e podem estar relacionadas aos desastres ambientais que presenciamos cada vez com mais constância. De outro lado, a cidade com desenvolvimento sustentável caracteriza-se não somente pelas condições adequadas da economia, mas também pela busca da adequação ambiental e social.

As soluções a serem obtidas para essa finalidade deverão ter como base o consenso democrático dos vários atores que compõem a vida urbana e estar alicerçadas em uma visão generalista, plural e técnica das disciplinas que irão interagir na formulação desses projetos. A busca por esse objetivo cabe a todos os envolvidos no projeto e na construção do ambiente edificado.

Nesse contexto, amplia-se a importância do planejamento e do projeto para a produção e uso dos espaços construídos, apresentando-se como ferramentas imperiosas para a redução de impactos socioambientais negativos na fabricação dos materiais de construção, na produção em canteiro de obra, na implantação do empreendimento, na operação da edificação e na sua demolição e deposição dos resíduos finais.

Não se pode esquecer que, com a ocorrência de mudanças climáticas, a mitigação dos impactos dos fenômenos resultantes nos ambientes construídos será mais eficiente se precedida de avaliações em que os parâmetros de projeto incorporem essas novas realidades, pois a falta de qualidade do projeto compromete a sustentabilidade do espaço construído.

Em síntese, o desenvolvimento sustentável é um conceito muito mais amplo do que o da proteção do ambiente, abrangendo áreas diversas, assentando fundamentalmente

em um ponto de equilíbrio entre o crescimento econômico, a equidade social e a proteção do ambiente o chamado “triple bottom line”.

### 2.1.1 As Vertentes da Sustentabilidade

O desenvolvimento sustentável exibe três dimensões principais: a econômica, a social e a ambiental.

Desta forma, toda ação tomada com vistas ao desenvolvimento sustentável deve preferencialmente atuar nestas três dimensões. A Figura 2.1 ilustra os alvos a atingir em cada uma das dimensões.

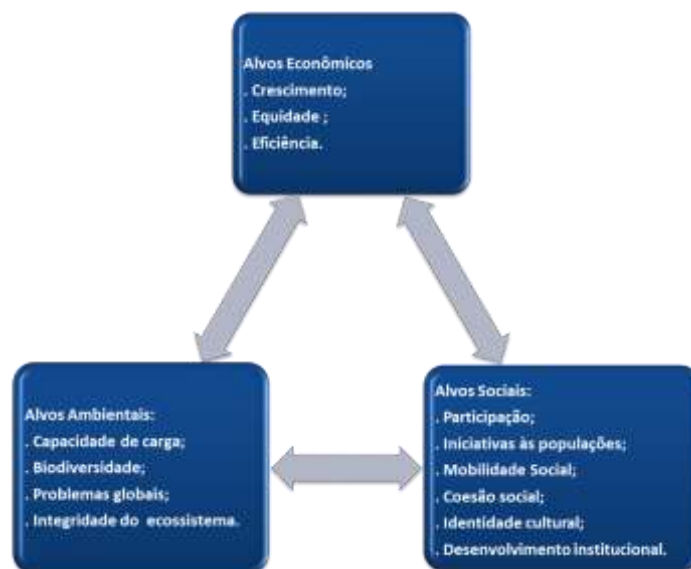


Figura 2.1: Objetivos da Sustentabilidade na sua dimensão tripla (Fonte: BRAGANÇA, 2008).

Sob a ótica ambiental, o desenvolvimento sustentável vincula-se com a manutenção da integridade ecológica por meio da prevenção das várias formas de poluição, da prudência na utilização de recursos naturais, da preservação da diversidade da vida e do respeito à capacidade de carga dos ecossistemas.

Em sua dimensão social deve-se procurar a viabilização de uma maior equidade de riquezas e de oportunidades, combatendo as práticas de exclusão, discriminação, promovendo a redução da pobreza e respeitando a diversidade em todas as suas formas de expressão.

No entanto, estas duas dimensões, ambiental e social, são frequentemente remetidas para segundo plano, sendo a dimensão econômica aquela que apresenta maior

relevância nos tempos correntes. Esta diferença, na forma como se encaram estas três dimensões do desenvolvimento sustentável colocam seriamente em risco a sobrevivência das gerações futuras.

Um desenvolvimento econômico sustentado está na contemplação prioritária da distribuição de riqueza e renda associada a uma redução das extremidades socioambientais, buscando resultados macro sociais positivos.

Esse modelo de desenvolvimento sustentável será completo e eficaz quando se considerarem em simultâneo e de forma intrínseca estas três “frentes de ação”, a econômica, a ecológica e a social, de forma a garantir-se um equilíbrio que é, sem a menor dúvida, fundamental.

Assim sendo, qualquer projeto conduzido pela sustentabilidade, deverá ter sempre presente os efeitos que causará nas gerações futuras. A par do crescimento econômico deverá impor-se a estabilidade ou melhoria da salubridade e integridade do ambiente e da qualidade de vida. É fundamental garantir a equidade entre pessoas no presente, mas também a equidade entre as gerações, para que no futuro se usufrua de uma qualidade ambiental tão boa, ou mesmo melhor, que aquela que se goza atualmente. Do mesmo modo, deverão tentar suprir as problemáticas sociais, sanitárias e éticas do bem-estar humano.

Desta forma, acresce o fato de que o desenvolvimento, quando sustentável, deverá balizar o equilíbrio dos sistemas natural e artificial dentro dos limites necessários.

## **2.2 Construção Sustentável**

A indústria da construção ocupa posição de destaque na economia mundial. É um dos setores ativos mais produtivos em todo planeta e de grande faturamento anual. No Brasil é responsável, em média, por 5,4% do Produto Interno Bruto (PIB), IBGE (2014), onde as empresas de construção realizaram incorporações, obras e serviços, porém apresenta-se como grande geradora de impactos ambientais que resultam na formação de áreas degradadas.

A construção civil é, também, uma das mais antigas e importantes atividades humanas que contribuiu para o desenvolvimento das civilizações, também as técnicas que

lhes estão inerentes se foram desenvolvendo com o decorrer dos séculos, deixando, as construções, de atender somente às necessidades básicas de abrigo. De fato, hoje se observa um extenso leque de tipologias e construções destinadas aos mais variados e especializados fins, que só se tornaram possíveis devido ao desenvolvimento desta atividade humana, a construção civil.

Contudo, como já aludido anteriormente, a indústria da construção tem sido igualmente uma das principais responsáveis pela degradação ambiental da qual advêm outro tipo de problemas, sejam eles ambientais, sociais ou econômicos, que prejudicam o Homem e todo o meio que o rodeia, pondo mesmo em risco as gerações futuras.

Vê-se então uma necessidade crescente de desenvolvimento dos processos, metodologias e operações de construção de forma a reduzir significativamente os referidos problemas ambientais e energéticos que surgem associados ao setor da construção civil. Pretende-se, assim, uma construção eficiente, que respeite as contingências locais e cujo impacto sobre o meio ambiente natural seja mínimo, por esta nova perspectiva, ou mesmo torrente de ações, se deu o nome de Construção Sustentável (BRAGANÇA, 2008).

Em 1994, acontece na Flórida, mais precisamente em Tampa, a Primeira Conferência Internacional sobre Construção Sustentável - *The First International Conference on Sustainable Construction*, patrocinada pelo CIB (*International Council for Research and Innovation in Building and Construction*), onde propostas diversas foram formuladas no sentido de se definir o conceito de construção sustentável, discutindo-se também o futuro da construção dentro da sustentabilidade. Surge aí o primeiro conceito para construção sustentável, caracterizada como a “*criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, tendo como consideração os princípios ecológicos (para evitar danos ambientais) e utilização eficiente dos recursos*” (KIBERT, 1994).

Nesta Conferência, estabeleceu-se desde logo os seis princípios básicos da construção sustentável:

1. Minimizar o consumo de recursos;
2. Maximizar a reutilização de recursos;

3. Utilizar recursos renováveis e recicláveis;
4. Proteger o ambiente natural;
5. Criar um ambiente saudável e não tóxico;
6. Fomentar a qualidade ao criar o ambiente construído.

Estes princípios se aplicam a todo o ciclo de vida de uma construção, desde a fase de projeto à demolição. Além disso, estes princípios aplicam-se aos recursos necessários para criar e explorar o ambiente construído durante o seu ciclo de vida: terra, materiais, água, energia e os ecossistemas.

Assim, sua aplicação deve ser feita através de uma abordagem integrada a todas as fases que constituem o ciclo de vida de uma construção: projeto, construção, operação/manutenção e demolição/deposição (Figura 2.2).

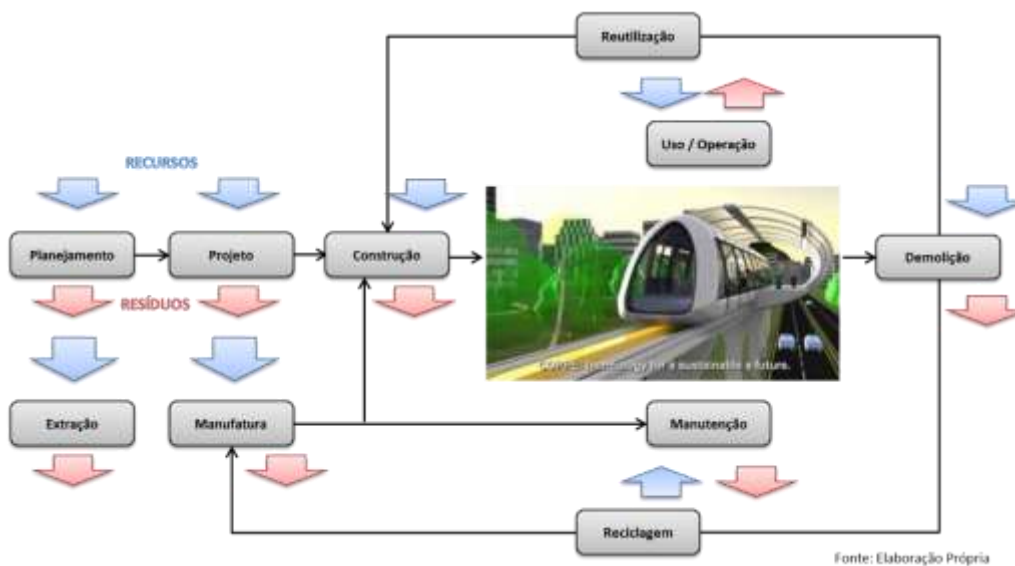


Figura 2.2: Abordagem integrada e sustentável do Ciclo de Vida de uma construção.

Nos dias atuais, além dos avanços significativos já efetivados, a construção sustentável é ainda um conceito recente na indústria da construção sofrendo atualizações constantes e existindo definições promovidas por correntes diversas.

No Quadro 2.1, apresentam-se as áreas de intervenção relevantes na obtenção de uma construção sustentável.

Quadro 2.1: Aspectos relevantes da arquitetura e construção sustentável.

Área	Problemas	Estratégias
Ocupação do solo	Uso eficiente do solo	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Aproveitamento dos edifícios existentes</li> <li>. Aumento das atividades de reabilitação e recuperação</li> <li>. Criação de edifícios multifuncionais</li> </ul>
	Escolha do local	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Consideração do contexto local: clima, topografia, impacto visual, ruído, economia local</li> </ul>
	Aumento da utilização de transportes públicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Criação de zonas de boa acessibilidade aos transportes públicos na proximidade dos edifícios</li> </ul>
	Proteção da natureza	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Proteção da flora e da vida animal</li> <li>. Criação de zonas de boa permeabilidade</li> </ul>
Energia	Otimização do consumo de energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Utilização de sistemas de gestão energética</li> <li>. Utilização de fontes de energia renovável</li> <li>. Adoção de sistemas de construção/demolição simples</li> <li>. Eficiência energética dos materiais de construção utilizados, como por exemplo, a escolha de materiais locais, que permite a diminuição das necessidades de transporte para o local</li> </ul>
	Otimização da iluminação	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Maximização da iluminação natural no interior dos edifícios</li> </ul>
	Otimização de aquecimento/arrefecimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Concepção procurando que, devido à orientação do edifício e aos materiais adoptados, não seja necessário recorrer exageradamente à utilização de sistemas de aquecimento/arrefecimento</li> </ul>
Água	Otimização do consumo de água	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Utilização de sistemas de gestão de água</li> <li>. Reutilização de águas de lavagem</li> <li>. Aproveitamento de água da chuva</li> </ul>
Materiais	Escolha dos materiais a utilizar	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Seleção de materiais com melhor desempenho ambiental</li> <li>. Seleção de materiais prevendo a reciclagem em fim de vida</li> </ul>
	Edifícios recicláveis e reutilizáveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Projeto e construção com consideração do destino final</li> </ul>
	Utilização eficiente de matérias-primas	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Utilização de materiais locais e de métodos de construção tradicionais</li> <li>. Aumento da utilização de materiais renováveis</li> <li>. Utilização de técnicas de desconstrução apropriadas de forma a otimizar a reciclagem</li> </ul>
	Materiais não tóxicos e controle climático	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Maior consideração da toxicidade ambiental e ocupacional dos materiais</li> </ul>
Resíduos	Gestão de resíduos	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Minimização da produção de resíduos, tendo em conta a política dos 3 R's - reduzir, reutilizar e reciclar</li> <li>. Sistemas integrados de recolha de resíduos</li> <li>. Realização de planos de prevenção e gestão de resíduos disponíveis no local da obra</li> </ul>
Outros	Durabilidade das construções	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Maximização da durabilidade dos edifícios através de tecnologias construtivas e materiais de construção duráveis</li> <li>. Concepção com vista à flexibilidade/adaptabilidade dos edifícios de modo a permitir o ajuste a novas utilizações</li> <li>. Planeamento da conservação e da manutenção, de forma a permitir a dilatação do ciclo de vida dos edifícios</li> </ul>

Fonte: Elaboração Própria

### 2.2.1 O Novo Modelo da Construção Sustentável

Quando se fala nas atividades que envolvem uma construção, tradicionalmente, as atenções mantinham-se focadas na qualidade do produto, nos custos associados e no tempo gasto (Figura 2.3). Entretanto, a construção sustentável aparece com rumos novos à concepção, construção, operação e demolição, de forma a admitir o aprimoramento do seu desempenho ecológico.





Figura 2.3: Construção tradicional (Fonte: Elaboração Própria)

Posteriormente, com a introdução das preocupações ambientais, o conceito de qualidade na construção evoluiu, passando a abranger os aspectos relacionados com a qualidade ambiental, através da denominada construção eco eficiente (Figura 2.4). Esta se manifesta em construir com impacto ambiental mínimo, integrando as preocupações relacionadas com o consumo de recursos, as emissões de poluentes e a biodiversidade.

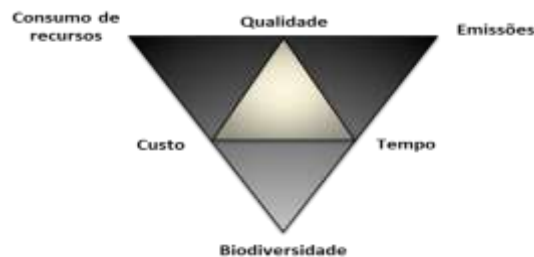


Figura 2.4: Construção eco eficiente, elaboração própria. (Adaptado de BRAGANÇA & MATEUS, 2006)

Quando se agregam aos princípios da eficiência ecológica as condicionantes econômicas, a equidade social e a herança cultural - dimensões econômica e social, se está na presença do novo modelo da construção, o qual passa a integrar as três dimensões da construção sustentável (Figura 2.5).

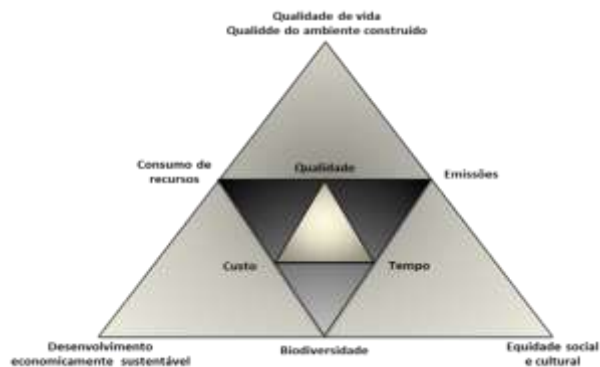


Figura 2.5: Construção sustentável, elaboração própria. (Adaptado de BRAGANÇA & MATEUS, 2006)

Desta forma, a construção sustentável consiste na especificação de um conceito global, o de desenvolvimento sustentável. Como tal, pressupõe também a interdisciplinaridade, na medida em que deverá atuar nas três dimensões: ambiental, social e econômica.

Dentro desta perspectiva, o papel dos vários agentes é fundamental, o da extração dos materiais, o da construção, dos diversos atores: os clientes das estruturas edificadas, os gestores e os responsáveis pela manutenção. Pode-se desta forma, dizer que este novo modo de arquitetar a construção procura satisfazer as necessidades humanas, protegendo e resguardando simultaneamente a qualidade ambiental e os recursos naturais.

### **2.2.2 Impactos Ambientais das Construções**

Um dos mais importantes setores da economia, a construção civil é essencial ao desenvolvimento no país, sendo responsável por mais de 3,285 milhões de empregos diretos e indiretos, de acordo com pesquisa do SindusCon-SP (Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo) e da FGV (Fundação Getúlio Vargas) em 2014. Em contrapartida, o setor se caracteriza como um dos que mais consomem recursos naturais, desde a produção dos insumos utilizados até a execução da obra e sua operação ao longo de décadas. No Brasil, apropria-se de 75% do que é extraído do meio ambiente.

Apoderando-se dos recursos naturais, o setor é também, entre todas as atividades produtivas, o maior gerador de resíduos. De acordo com o CBCS - Conselho Brasileiro da Construção Sustentável, de tudo o que extrai da natureza, apenas entre 20% e 50% das matérias-primas naturais são realmente consumidas pela construção civil. Dados revelam que o volume de resíduos gerado - entulho de construção e demolição, chega a ser duas vezes maior que o volume de lixo sólido urbano. Onde, cerca de 60% do total de resíduos produzidos nas cidades brasileiras têm origem na construção civil.

A produção de materiais de construção é, ainda, responsável por poluição que ultrapassa limites tolerados em poeira e CO<sub>2</sub>. O processo produtivo do cimento necessariamente gera o gás carbônico, um dos principais causadores do efeito estufa. Para cada tonelada de clínquer (componente básico do cimento) produzido, mais de 600 kg de CO<sub>2</sub> são lançados na atmosfera. Junte-se o sedimento ambiental da produção de outras indústrias com o crescimento mundial da fabricação de cimento, o resultado é que a

participação do insumo no CO<sub>2</sub> total mais que dobrou no período de 30 anos, entre 1950 e 1980. Outros materiais usados em grande escala têm problemas similares.

Hoje, aproximadamente 40% da energia mundial são consumidas pelas construções. O consumo energético nas edificações ocorre em dois momentos. Na etapa pré-operacional ou de energia embutida, aquela da extração e fabricação de materiais, do transporte até a obra e da construção do edifício. Porém, a etapa em que a edificação mais consome energia é durante sua ocupação, em manutenção e demolição. O consumo de energia é diferente dependendo do setor - comercial, público ou residencial. O consumo de energia elétrica do setor residencial no Brasil é o mesmo que o consumo somado do setor público e comercial.

De acordo com o comitê temático da água do CBCS, a construção civil é responsável por exorbitante parte do consumo de água potável no mundo. As atividades associadas à construção civil são responsáveis por importantes impactos no ambiente, embora se verifique uma crescente preocupação em minimizar ou compensar os impactos negativos.

De acordo com a FEBRABAN - Federação Brasileira de Bancos (2013), o ciclo completo de vida de um edifício - produção do projeto, a própria construção, operação, reformas, demolição e entulho, fazem do setor da construção civil um dos grandes consumidores de recursos naturais, como mostram os números do gráfico (Figura 2.6).



Figura 2.6: Impactos das atividades da construção no Brasil, elaboração própria (Fonte: FEBRABAN, 2013).

Por impacto ambiental entende-se o conjunto das alterações favoráveis e desfavoráveis produzidas em parâmetros ambientais e sociais, num determinado período de tempo e numa determinada área (situação de referência), resultantes da realização de um projeto, comparadas com a situação que ocorreria nesse período de tempo e nessa área, se esse projeto não viesse a existir.

Segundo BRAGANÇA & MATEUS (2006), a construção sustentável considera o ciclo de vida da construção, 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.

Considerando as fases do ciclo de vida de um edifício, segundo VALENTE (2009), a integração com o meio ambiente é necessária, uma 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.

Os impactos ambientais mais significativos, diferenciadamente, em cada uma das fases do ciclo de vida de uma construção são exibidos no Quadro 2.2.

Quadro 2.2: Ciclo de vida de uma construção, elaboração própria.

FASES	FATOS
<b>Concepção</b>	Este é o início de tudo à vida de uma construção. Estudos de viabilidades são realizados atrelados às especificações construtivas. Impactos nesta fase são muito reduzidos, relacionados com o consumo pertinente às atividades de estudo e definições de projeto por seus atores.
<b>Construção</b>	É o momento em que a teoria é transformada em execução, induz impactos ambientais importantes: Extração e consumo de matérias primas, produção de resíduos, possível descarga e contaminação de solos, consumo de água e produção de efluentes, emissão de poluentes, criação de zonas impermeabilizadas e possíveis alterações na dinâmica dos ecossistemas.
<b>Uso</b>	Nesse momento os usuários estarão validando a construção através de seu uso contínuo. Os impactos mais significativos resultam de: consumo de energia, de água, de materiais, produção de resíduos, de efluentes e de emissões atmosféricas.
<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 não mais atende as necessidades para o qual foi criado. Nesse momento, um legado de materiais de demolição não reciclável pode surgir, caso na fase inicial de concepção a questão sustentável desse produto não tenha sido considerada; desta forma, o modo de eliminação ou desconstrução se pode traduzir num importante acréscimo, do ponto de vista da produção de resíduos.

### 2.2.3 Identificação e Avaliação dos Aspectos Ambientais na Construção

É na execução de um levantamento ambiental inicial, que se realiza a identificação, avaliação e classificação dos aspectos e impactos ambientais gerados numa obra de construção civil.

Segundo a ISO 14001:2004 (Sistemas de Gestão Ambiental), *Aspecto Ambiental* é definido como um "elemento das atividades, produtos ou serviços de uma organização que possa interagir com o ambiente". *Impacto Ambiental* define-se como "qualquer alteração no ambiente, adversa ou benéfica, resultante, total ou parcialmente, dos aspectos ambientais de uma organização". Deste modo, pode-se considerar de forma simplificada que um aspecto ambiental é uma causa e um impacto ambiental o efeito.

Sendo as obras de construção civil associadas a várias atividades (em geral: montagem e desmontagem de canteiros, terraplanagens, desmatamento, escavações, pavimentações, drenagens, utilização de veículos pesados, entre outros) geradoras de diversos impactos ambientais, com o objetivo de minimizar os efeitos adversos no meio ambiente, devem ser identificados, avaliados e classificados os seus aspectos ambientais.

Apesar de não existir uma metodologia única para identificar os aspectos ambientais, pode-se considerar: emissões atmosféricas; utilização de energia; efluentes líquidos; produção de ruído, vibrações, radiações; descargas no solo; produção de resíduos e subprodutos; utilização de matérias primas e recursos naturais; impacto visual, alteração da paisagem, uso do solo.

Adicionalmente aos aspectos ambientais que podem ser controlados diretamente em obra, os atores, o dono de obra/empreiteiro, devem considerar igualmente os aspectos que podem influenciar, como por exemplo, os relativos a bens e serviços utilizados e os produtos e serviços fornecidos pela execução do seu trabalho. No entanto, em qualquer circunstância cabe a cada obra determinar o grau de controle, bem como os aspectos que pode influenciar. Assim sendo, além dos aspectos ambientais gerados nos processos/atividades/tarefas desenvolvidos durante a fase de construção, deverão ter-se em consideração também os aspectos relacionados com:

- ✓ Planejamento e preparação da obra;
- ✓ Aquisição de matérias-primas;

- ✓ Desempenho ambiental e as práticas dos subcontratados e fornecedores;
- ✓ Transporte/cargas e descargas de materiais;
- ✓ Desmontagem do canteiro;
- ✓ Fauna, flora e biodiversidade.

De forma a sistematizar o processo de identificação dos aspectos ambientais, entende-se como adequada a divisão da construção civil nas suas principais atividades. Esta abordagem permite assim a separação em várias plantas, nas quais podem ser considerados os fluxos de “entradas” (consumos) e “saídas” (poluição), numa lógica que se baseia no conceito das partes constituírem o todo (Figura 2.7).

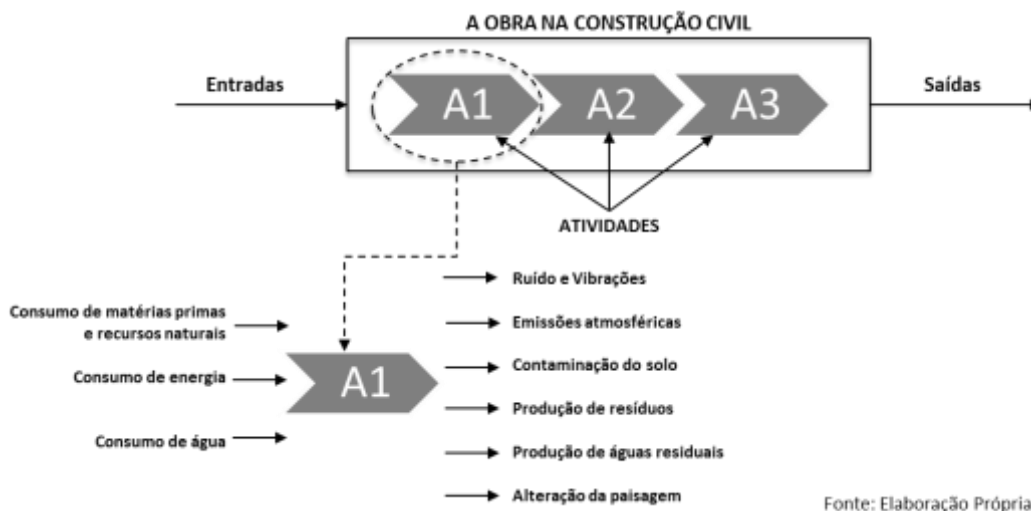


Figura 2.7: Fluxos de entradas e saídas de uma obra.

A identificação dos aspectos ambientais é uma tarefa determinante para a gestão ambiental da obra, que pode ser a mais desafiante. As decisões que forem tomadas nesta fase podem afetar vários elementos do sistema (tais como, estabelecimento de objetivos e metas, estabelecimento do controle operacional e definição das necessidades de monitoração). O planejamento e condução cuidadosa desta fase trarão dividendos em tarefas posteriores.

De modo a exemplificar a identificação de aspectos ambientais gerados na execução de obras, no Quadro 2.3 descrevem-se diversas atividades desenvolvidas em obra, com a definição de fluxos de entradas (matérias-primas e auxiliares, água, energia) e fluxos de saídas (resíduos, emissões atmosféricas, águas residuais, descargas no solo, ruído e vibrações, alterações da paisagem).

Quadro 2.3: Fluxos de entradas e saídas por atividades em uma obra.

ENTRADAS	ATIVIDADES NA CONSTRUÇÃO	SAÍDAS
Utilização de Energia >	Desmatamento e Desarborização de terrenos	> Emissões atmosféricas > Erosão do solo > Produção de resíduos > Ruído e vibrações
Utilização de Energia > Utilização de Água (lavagens) >	Implantação do Canteiro de Obras	> Ocupação do terreno/Alteração da paisagem > Emissões atmosféricas > Produção de resíduos > Ruído e vibrações > Descargas no solo > Efluentes líquidos
Utilização de Energia >	Fundações	> Arrastamento de terras/Alteração da paisagem > Emissões atmosféricas > Produção de resíduos > Ruído e vibrações > Descargas no solo (desenformantes, cimento, selantes e outros)
Utilização de Energia > Utilização de Materiais > Utilização de Água >	Concretagem	> Emissões atmosféricas > Produção de resíduos > Ruído e vibrações > Descargas no solo (derrames de cimento, desenformantes)
Utilização de Energia > Utilização de Materiais >	Transporte e Montagem de estruturas	> Ruído e vibrações > Descargas no solo > Emissões atmosféricas
Utilização de matérias primas e recursos naturais > Utilização de energia > Utilização de água (lavagem dos caminhões) >	Cargas e Descargas de Material	> Ruído e vibrações > Descargas no solo > Emissões atmosféricas > Efluentes líquidos
Utilização de Energia > Utilização de água (lavagem dos caminhões) >	Circulação, Abastecimento e Estacionamento de Veículos de Transporte	> Ocupação do território/Alteração da paisagem > Emissões atmosféricas > Desmatamento do solo > Ruído e vibrações > Descargas no solo > Efluentes líquidos
Utilização de Energia >	Utilização de Máquinas e Ferramentas	> Emissões atmosféricas > Produção de resíduos > Ruído e vibrações > Descargas no solo (derrames de óleo de lubrificação das máquinas)
Utilização de Energia > Utilização de Materiais >	Manobras com Cabos e Acessórios	> Ruído e vibrações > Descargas no solo > Produção de resíduos (embalagens)
Utilização de Materiais >	Armazenamento de Produtos Químicos (óleos, tintas, solventes)	> Descargas no solo > Produção de resíduos (embalagens)
Utilização de Energia > Utilização de Materiais (óleos de lubrificação) >	Utilização de compressores	> Ruído e vibrações > Descarga no solo (purga dos compressores)
Utilização de Energia > Utilização de Materiais (papel, detergentes) >	Utilização de Instalações Sanitárias Provisórias	> Efluentes líquidos > Produção de Resíduos
Utilização de Energia > Utilização de Materiais >	Trabalho Administrativo	> Produção de resíduos

Fonte: Elaboração Própria

## 2.2.4 Os Atores

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 atendido, criando um compromisso que começa com a definição dos grupos diretamente relacionados e estratégicos a serem envolvidos nas discussões de cada aspecto.

SEN (2000) indica o conjunto de atores que devem estar envolvidos com o desenvolvimento. Segundo o autor, para que se consiga alcançar o desenvolvimento pautado pela ideia das múltiplas liberdades inter-relacionadas, onde cada indivíduo tem o direito de obter as condições necessárias para ter a qualidade de vida que deseja ter, torna-se necessário envolver “*instituições, organizações, indivíduos e sociedade*”. Pois é no conjunto de relações que se estabelecem entre estes atores que serão criadas as condições necessárias para se alcançar o desenvolvimento individual e coletivo.

À primeira vista estas afirmativas apresentam um suporte subjetivo, mas analisando o conceito de desenvolvimento sustentável da OECD (2001), este destaca as ligações existentes entre as dimensões social, econômica e ambiental do desenvolvimento, o que permite uma base mais concreta para a distinção dos principais atores. Este documento apresenta um esquema sobre as interações, chamando atenção para aquelas que são consideradas interações chaves, que é reproduzido na Figura 2.8.

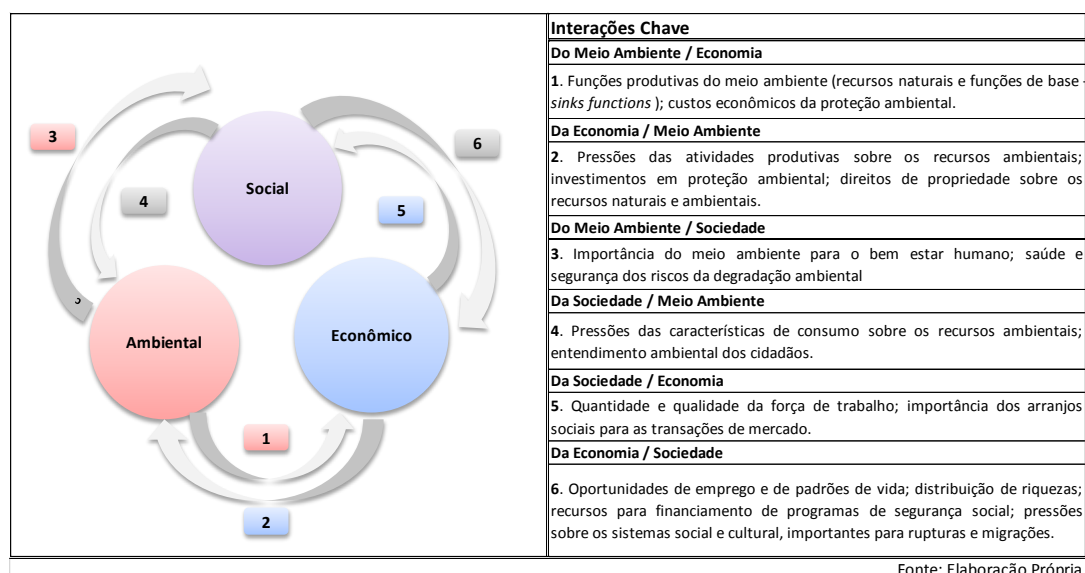


Figura 2.8: Algumas interações entre os fatores ambiental, social e econômico, elaboração própria. (Fonte: OECD, 2001)

Segundo SHRIVASTAVA (1995), em seus estudos enfatiza a importância das relações entre os indivíduos, instituições (políticas governamentais), sociedade e organizações, na construção de desenvolvimento sustentável. Para o autor, é nas interações entre estes agentes que se consegue este tipo de desenvolvimento.

De acordo com os estudos de SHARMA & VRENDENBURG (1998), as estratégias ambientais corporativas proativas e o desenvolvimento de capacidades



organizacionais competitivamente valiosas e entre estas enfatizam a capacidade de integrar os *stakeholders* da organização. Os mesmos autores indicam que esta capacidade envolve a habilidade de estabelecer confiança baseada em relacionamentos colaborativos com uma ampla variedade de *atores*, principalmente os com objetivos não econômicos.

Então, parte-se do princípio que o novo paradigma da construção sustentável envolvendo os seus atores passa pelo indivíduo, no momento em que este precisa atender as suas necessidades, assim como garantir a habilidade dos indivíduos das gerações futuras em atenderem as suas próprias necessidades; pela sociedade, que pressupõe que dentro de uma mesma geração, todos têm direito de acesso ao sustento e ao bem estar; pelas organizações, que são os agentes responsáveis pela conversão dos recursos naturais e humanos em produtos e serviços que irão atender às necessidades do indivíduo e da sociedade e por último pelas instituições, responsáveis por ditar os parâmetros que organizam as atividades humanas e as interações entre os agentes em seus vários níveis.

### **2.2.5 Avaliação da Construção Sustentável**

Esta nova abordagem a um novo e inovador processo de construção, que ambiciona ser mais sustentável, impõe *a priori* que as suas vantagens se tornem mais evidentes. Para isso, foi utilizado inicialmente um instrumento de caráter preventivo da política do ambiente designado por Avaliação de Impacto Ambiental (AIA). Este instrumento “sustentado na realização de estudos e consultas, com efetiva participação pública e análise de possíveis alternativas, tem como objetivo a recolha de informação, identificação e previsão dos efeitos ambientais de determinados projetos, bem como a identificação e proposta de medidas que evitem, minimizem ou compensem esses efeitos, tendo em vista uma decisão sobre a viabilidade da execução de tais projetos e respectiva pós-avaliação”. O processo de AIA pode ocorrer em fase de estudo prévio ou de projeto de execução. Naturalmente, quanto mais cedo ocorrer, maiores são as possibilidades de se internalizarem de forma adequada as perspectivas ambientais.

A AIA surge associada à construção no final dos anos 80. Esta avaliação tem como finalidade sistematizar medidas para reduzir os impactos ambientais negativos, compensar os irreversíveis provenientes de construções existentes e valorizar os impactos positivos, constituindo, assim, um mecanismo muito importante de internalização ambiental.

No desenvolvimento da AIA, é necessária a criação de determinados critérios com vista a reduzir e avaliar os impactos ambientais negativos e positivos, originados pela construção. Em diversos países foram desenvolvidos projetos com o objetivo de minimizar este impacto, mas verificou-se, a posteriori, que os meios utilizados eram insuficientes para cumprir os critérios estabelecidos. Em resultado, quando analisado o seu ciclo de vida, muitas construções que tinham em consideração a preservação do meio ambiente apresentavam maiores consumos de energia em comparação com as construções de solução corrente (ANINK *et al*, 1996).

Devido a esta falta de cumprimento de critérios por parte de alguns países quanto à avaliação ambiental, foi necessário evoluir e recorrer por parte de investigadores e responsáveis pelas atividades governamentais, a um sistema mais eficiente e objetivo na melhoria das construções face ao seu comportamento ambiental, tendo-se assim criado os sistemas de certificação. Os sistemas de certificação foram um avanço fundamental na orientação, criação e avaliação de processos e métodos aplicáveis à construção sustentável, conduzindo desta forma ao cumprimento de diversos modelos e sistemas para a avaliação da Construção Sustentável.

Atualmente, estes modelos e sistemas permanecem como voluntários, apresentando grandes vantagens em todas as áreas que impulsionam cada vez mais a sua utilização na construção civil.

#### **2.2.5.1 Objetivos**

A avaliação da construção sustentável tem como objetivo identificar edificações que possam contribuir para um futuro mais sustentável, através de uma adequada gestão das diversas fases do processo construtivo ou mesmo na reabilitação de edificações, tendo em consideração os aspectos económicos, ambientais e sociais.

A importância de se proceder a avaliação da construção se prende, como já mencionado, no fato de o desenvolvimento da atividade da construção se utilizar de uma elevada quantidade de recursos naturais, energia e água. Este consumo desproporcionado decorre em parte da falta de qualidade do seu processo produtivo e do remanescente ciclo de vida do edificado. Esta avaliação caracteriza-se por ser um processo contínuo de monitorização durante o ciclo de vida da edificação, sendo feita através da implementação

de sistemas e ferramentas que avaliam os processos construtivos durante a fase de construção, com a finalidade de manter o meio ambiente, aumentar a qualidade de vida habitacional, social e a nível do ambiente construído.

A aplicação destes sistemas facilita a concepção e desenvolvimento de projetos que envolvam todo o ciclo de vida da obra, bem como a organização e planejamento das obras nas suas diferentes fases de construção e execução respeitando o nível de sustentabilidade conferido, com a finalidade de atribuir um nível de certificação relativamente à sua sustentabilidade.

### **2.2.5.2 Avaliação da Sustentabilidade**

A construção sustentável tem por base o uso de uma série de indicadores e parâmetros para a gestão das diversas dimensões do desenvolvimento sustentável. A utilização de metodologias que avaliassem a sustentabilidade dos edifícios utilizando-se da análise de todos esses parâmetros constituiria um processo lento que desencorajaria a utilização dessas metodologias, o que colocaria em dificuldade a perseguição dos seus objetivos. Deste modo, as metodologias existentes abordam a sustentabilidade de forma holística, baseando a avaliação nos indicadores e parâmetros que são considerados mais representativos nos objetivos da avaliação. Um indicador permite avaliar o comportamento de uma solução cometendo a um ou mais objetivos do desenvolvimento sustentável e um parâmetro é uma propriedade mensurável ou observável que fornece informação acerca de um fenômeno, ambiente ou área.

Na avaliação da sustentabilidade da construção existem algumas dificuldades que estão relacionadas com as características particulares desta indústria, salientando-se, sobretudo, os seguintes aspectos: multidisciplinaridade; processo de produção e produto final; durabilidade muito variável; o desempenho dos seus produtos é extremamente dependente dos seus utilizadores, etc.

Adicionalmente existem outros fatores que contribuem para que o processo de avaliação seja complexo, destacando-se a variabilidade do peso de cada indicador e parâmetro na avaliação da sustentabilidade, que depende do contexto político, tecnológico, cultural, social e econômico de cada país ou de cada região. Por outro lado, a avaliação envolve diferentes tipos de parâmetros, e ou variáveis, uns quantitativos e

outros qualitativos, que nem sempre estão correlacionados entre si e que não se expressam na mesma grandeza.

#### **2.2.5.2.1 Indicadores da Sustentabilidade**

Segundo HARDI & BARG (1997), os indicadores podem ser distinguidos considerando sua função como sistemas de indicadores descritivos ou indicadores de desempenho. Os indicadores de sistemas sintetizam alternativas pontuais de medidas às diversas características dos ecossistemas, dos sistemas sociais e humanos, auxiliando com informações relevantes aos atores, partes interessadas - *stakeholders*, detentores das decisões. São em grande parte baseados em introspecções técnicas e científicas, porém proporcionado pelas incertezas intrínsecas aos ecossistemas, exige-se uma prova de dúvidas.

Desta forma, os padrões e o marcos de referência - *benchmarks* a que os indicadores estão relacionados, são verificados parcialmente pela ciência e a um grau apreciável pelo processo político. Esta limitação torna-se clara na dimensão social, onde muitas das variáveis, como a estabilidade política, aspiração cultural e equidade, são dificilmente quantificáveis e não podem mesmo ser definidas em termos físicos. Não obstante, qualquer nível de exatidão conseguido na definição dos indicadores, permanece um verdadeiro esforço para medi-los consistentemente através do tempo e do espaço, de forma a se determinar tendências.

Os indicadores de desempenho são ferramentas para a comparação, incorporando um indicador descritivo, um valor de referência ou um valor político. Disponibilizam informações para formadores de opinião de como estão levando em consideração os objetivos, a medida e os indicadores locais, nacionais ou internacionais. Estes indicadores são usados em todas as escalas espaciais e, em particular, na fase da avaliação política do processo de tomada de decisão. Têm um papel em ajustar objetivos de organização e em conectá-los às ações.

Desta forma, observa-se o potencial de transformação dos sistemas de indicadores e dos indicadores de desempenho, mecanismos importantíssimos para a melhora da qualidade dos projetos de arquitetura, assim como para criação de *benchmarks* para uma sucessiva evolução dos parâmetros estabelecidos.

### 2.2.5.2.2 Métodos de Avaliação da Sustentabilidade

Os diferentes métodos de avaliação da sustentabilidade de construções encontram-se orientados para diferentes escalas de análise: material de construção, produto de construção, elemento de construção, zona independente, edifício e local de implantação. Analisando o objetivo das diferentes metodologias e ferramentas existentes são possíveis distinguir três diferentes tipos:

- ✓ Ferramentas de suporte à concepção de construções sustentáveis;
- ✓ Sistemas de análise do ciclo de vida (ACV) dos produtos e materiais de construção;
- ✓ Sistemas de avaliação e reconhecimento da construção sustentável.

As ferramentas de suporte à concepção de edifícios sustentáveis são aplicadas às fases de planejamento e projeto dos edifícios, apoiando os diversos atores - *stakeholders* na definição do desempenho pretendido à construção. Desta forma os atores descrevem as propriedades pretendidas para a solução final de projeto através de uma hierarquia de requisitos e níveis de desempenho preestabelecidos que, sendo respeitados pela equipe de projeto, se traduzem no desenvolvimento de um edifício mais sustentável (Figura 2.9).

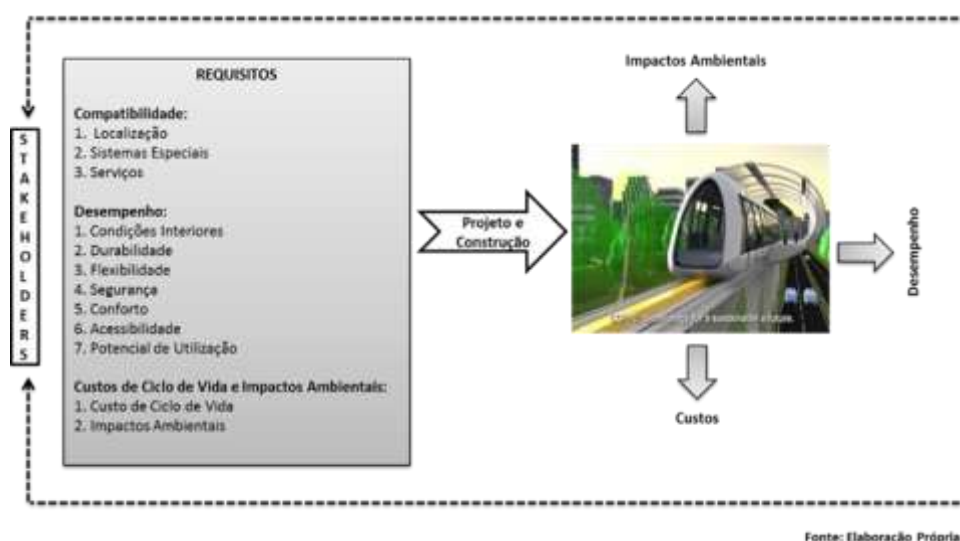


Figura 2.9: Modelo genérico de uma ferramenta de suporte para edificações sustentáveis.

Os sistemas de análise do ciclo de vida (ACV) aplicam-se às fases de planejamento e projeto. Os primeiros sistemas desenvolvidos encontravam-se orientados para a avaliação do impacto ambiental de materiais e produtos, não só da indústria da

construção, como também de outras indústrias. Atualmente, os sistemas ACV incluem o desempenho econômico na avaliação. Esta avaliação é um fator importante no sucesso comercial de qualquer edificação. Por avaliarem os impactos ambientais direta e indiretamente associados à totalidade do ciclo de vida dos materiais e produtos, estes sistemas fornecem dados importantes para a avaliação da sustentabilidade, vide Figura 2.2 (item 2.2). Desta maneira, a ACV procura descrever todos os fluxos de entrada e saída de um produto, explicitando o consumo de recursos e a saída de emissões e resíduos.

Na Figura 2.10, observa-se o controle de todos os processos, em que suas caracterizações e quantificações são de natureza complexa e exigem muitos domínios. Em se tratando de Brasil, existem muitas dificuldades na obtenção de informações que sejam confiáveis de ACV. Não há disponibilização de um banco de dados com análises dos materiais empregados na construção de forma completa e confiável, obrigando a utilização de recursos disponíveis em fontes internacionais.

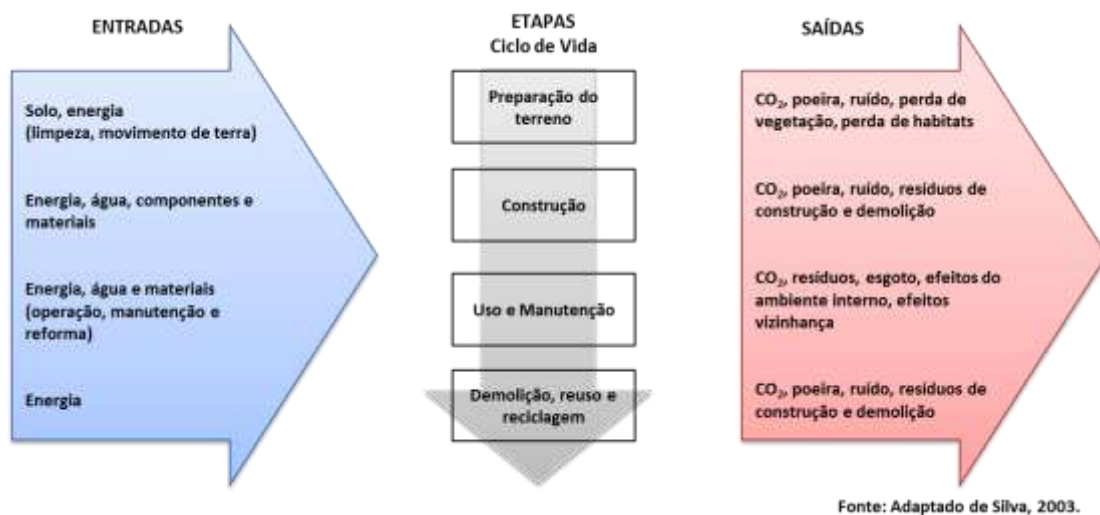


Figura 2.10: Fluxos ambientais ao longo do ciclo de vida.

Os sistemas de avaliação e reconhecimento da construção sustentável têm como objetivo garantir a sustentabilidade das edificações durante a totalidade do seu ciclo de vida (projeto, construção, operação, manutenção, demolição/desconstrução), promovendo e tornando possível uma melhor integração entre os parâmetros ambientais, sociais, funcionais, econômicos e outros critérios convencionais. Existem métodos específicos para cada tipologia de edifício e para cada fase do ciclo de vida do mesmo.

Apesar de existirem diferentes abordagens em diferentes sistemas de avaliação e reconhecimento da construção sustentável existem, no entanto, certos pontos em comum nessas abordagens. Em geral, estes sistemas e ferramentas analisam de uma maneira ou de outra as mesmas categorias de projeto e de desempenho: local, água, energia e qualidade do ambiente interior. Baseiam-se nos regulamentos e legislação local, em soluções construtivas convencionais e o peso de cada parâmetro e indicador na avaliação é predefinido de acordo com as realidades sociocultural, ambiental e econômica local.

Existem atualmente diferentes tipos de sistemas de avaliação e reconhecimento de construções sustentáveis que constituem a base de outras abordagens utilizadas internacionalmente, suas metodologias e critérios de avaliação serão abordados em capítulo consecutivo.

### **2.3 Sistemas de Avaliação da Construção Sustentável**

A partir de 1970 houve o crescimento da demanda e surgimento dos produtos eco eficientes nos países desenvolvidos, tendo início também na construção civil o impulso na construção dos edifícios verdes - *Green buildings*. No entanto, não havia uma ferramenta que classificasse o desempenho dos empreendimentos. Da mesma forma havia a necessidade de diferenciar os projetos de alto desempenho ambiental dos demais, como uma maneira de combater a prática de *Green washing*<sup>1</sup>.

Na década de 90, setores industriais, incluindo o setor da construção civil, começaram a reconhecer o impacto de suas atividades no meio ambiente, e as questões de sustentabilidade chegaram à agenda da arquitetura e do urbanismo internacional de maneira incisiva, trazendo novos paradigmas, com destaque para o contexto europeu (GONÇALVES & DUARTE, 2006).

O movimento de inserção da sustentabilidade na construção civil vem se consolidando gradativamente na comunidade científica, brasileira e internacional. Isto se deve pelo fato de o macro complexo da Construção Civil configurar-se como uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento econômico e social, e, por outro

---

<sup>1</sup> *Green washing* é a prática de mascarar produtos de baixo desempenho ambiental com alguns elementos ecológicos e vende-los como ambientalmente corretos.

lado, grande geradora de impactos ambientais, quer seja pelo consumo de recursos naturais, pela modificação da paisagem ou pela geração de resíduos (PINTO, 2005).

Seu assento produtivo (projeto, extração de materiais e fabricação de elementos, construção, manutenção, uso e desuso) carrega em seu macro complexo, a geração potencial de aspectos e impactos ambientais em diversas escalas de abrangência local, regional e global (PINTO, 2005).

Na lógica da sustentabilidade e do desenvolvimento sustentável, diversos conceitos incorporam-se na construção civil para a concepção de novos empreendimentos, com utilização de fontes de energias alternativas, menor emissão de poluentes, uso de materiais recicláveis, sistemas de reciclagem das águas, maximização da iluminação natural, preservação de áreas verdes ou nativas e qualidade do ar interno.

A performance do ambiente construído torna-se o centro das atenções dos profissionais da indústria da construção civil e a avaliação ambiental da edificação emerge como o ponto chave da construção sustentável.

Dentre os resultados destas preocupações tem-se as metodologias de planejamento e de desenvolvimento de projeto (*Lean Construction* - Construção Enxuta, *Lean Design* - Projeto Enxuto, Engenharia Reversa, Eco eficiência, Análise do Ciclo de Vida, etc.), os sistemas construtivos (racionalização, construção modular, uso de materiais locais e renováveis, Análise do Ciclo de Vida, etc.), avaliação de impacto ambiental (PCA's<sup>2</sup>, AIA's<sup>3</sup>, etc.) e os sistemas de avaliação do desempenho e de certificação ambiental de edificações (ISO 14000, BREEAM, LEED, HQE - AQUA no Brasil ...).

Então, em 1990, surge na Inglaterra (Reino Unido) um dos primeiros sistemas de avaliação de edificações, o BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*), dentro dos propósitos estipulados na Agenda 21. Através da imensa

---

<sup>2</sup> O **Plano de Controle Ambiental (PCA)** é o instrumento que tem por objetivo apresentar o detalhamento dos planos e programas ambientais a serem executados no momento da implantação do empreendimento.

<sup>3</sup> A **Avaliação de Impacto Ambiental (AIA)**, instituída pela Resolução CONAMA 001/86, é um importante instrumento de avaliação da viabilidade ambiental de instalação de um empreendimento em uma determinada região.



difusão deste sistema pioneiro, emerge o sistema LEED (*Leadership in Energy & Environmental Design*), desenvolvido pelos Estados Unidos da América. Neste âmbito, vários países do mundo adaptaram e criaram sistemas de avaliação de edificações condizentes a sua realidade, como Canadá, Japão, França, Austrália e Alemanha (Figura 2.11).



Figura 2.11: Principais sistemas de certificação ambiental de edificações pelo mundo.

Estes sistemas surgem com o intuito de instigar o desenvolvimento de tecnologias com menor consumo energético, com o fito de identificar edificações de menor impacto ambiental. Introduziu o incentivo às práticas ambientais no projeto, gestão e manutenção; a definição de critérios e padrões além dos exigidos; e a conscientização dos *stakeholders* (proprietários, projetistas, usuários e operadores) quanto aos benefícios das construções de menor impacto ambiental.

As certificações ambientais de construções são conferidas a empreendimentos que se submetem a métodos de avaliação de desempenho e, por meio destes, comprovam bons níveis de eficiência em termos de sustentabilidade. São várias as metodologias de avaliação de desempenho ambiental aplicadas às edificações nos diversos países, com abordagens distintas e variam de acordo como objetivo pretendido.

Há metodologias cujo objetivo é a validação de soluções de projeto que garantam melhor desempenho ambiental das edificações por meio de respostas a referenciais técnicos. Estes são auditados ou verificados por organismo de terceira parte e que,

constatado o atendimento às suas exigências mínimas, culminam com a certificação desses empreendimentos.

As diversas metodologias podem ser aplicadas em diferentes etapas, podendo ser avaliado o desempenho previsto ou o desempenho real e medido durante o uso e a operação do empreendimento.

De modo geral, as metodologias possuem em comum o fato de seus requisitos estarem estruturados em grandes temas, indo além das questões puramente ambientais, abordando aspectos sociais e econômicos. A avaliação é feita por meio de critérios prescritivos (orientados a dispositivos ou estratégias, indicando os meios que precisam ser disponibilizados) e também de especificações de desempenho (obtidos a partir da realização de medições e cálculos específicos, indicando o fim a ser alcançado). Todas as metodologias fixam os parâmetros e os níveis de desempenho a serem demonstrados.

Em sua maioria, as metodologias de certificação consistem na submissão das informações de projeto à instituição certificadora, que corrobora a solução apresentada e a pontuação dos requisitos e critérios de desempenho.

Nos sistemas onde são inferidos pontos à classificação é baseada em créditos que geram um índice. É feita uma ponderação por categorias, podendo a edificação ser classificada em níveis de ambientalmente correto. Nestes sistemas são fornecidos padrões e diretrizes de projetos para poder medir a eficiência e se está em sintonia com o meio ambiente (Exemplo: BREEAM e LEED).

Já em sistemas baseados em desempenho é direcionado à gestão e no processo. Todas as categorias devem apresentar um desempenho pelo menos igual ao normalizado. A edificação é ou não é ambientalmente correta, não há escalas de atribuição à certificação (Exemplo: HQE).

O Brasil não possui um sistema de avaliação ambiental de construções de âmbito nacional. No entanto, com a necessidade de desenvolver a construção de edificações sustentáveis, são atuantes no território brasileiro dois sistemas de avaliação, cuja conformidade é concedida por Organismos Certificadores de Obras internacionais, o LEED e o AQUA, adaptação do sistema francês HQE pela fundação Vanzolini.

### **2.3.1 Certificação Ambiental da Construção**

Uma construção só pode ser considerada sustentável quando as diversas dimensões do desenvolvimento sustentável: ambiental, social e econômica, são ponderadas durante a fase de projeto. Além de considerarem parâmetros ao nível da escala do edifício, também se podem considerar parâmetros que avaliem a interação do edifício com o meio em que é implantada a edificação. Normalmente, os parâmetros que servem de apoio à avaliação da sustentabilidade estão relacionados de uma forma ou de outra com os objetivos: de redução da utilização de energia e materiais não renováveis; de redução do consumo de água; de redução das emissões, de resíduos e outros poluentes. Nas diferentes metodologias de avaliação da sustentabilidade, normalmente é possível identificar de imediato os objetivos: de otimizar o potencial do local, de preservar a identidade regional e cultural, de minimizar o consumo de energia, de proteger e conservar os recursos de água, de utilizar materiais e produtos de baixo impacto ambiental, de qualidade do ambiente interior e otimização das fases de operação e manutenção.

Visando estabelecer uma padronização no processo de mensuração do nível de sustentabilidade dessas edificações, surgem às certificações para construções, que designam critérios específicos de avaliação relativos às atitudes ecológicas e de inovações aplicadas às edificações, pontuando e classificando-os em diversas categorias, além de diferenciadas de acordo com o uso que aquela construção deve receber. Um método de avaliação ambiental de construções reflete a significância do conceito de sustentabilidade no contexto do design do prédio e subsequente construção.

O perfil de cada sistema está relacionado às características locais. Baseia-se nas prioridades da Agenda Ambiental de cada país; nos métodos de construção, que podem ser influenciados pelo clima, entre outros fatores, além da tendência do mercado de aceitação da certificação (influenciando em qual nicho seria mais interessante implantá-lo: comercial, residencial, industrial etc.) (SILVA 2003).

As diferenças que norteiam os critérios de avaliação da sustentabilidade de construções variam de um país para outro, conforme os processos construtivos, os edifícios por si próprios, seu uso e posterior desconstrução. As edificações estão inseridas em tradições, clima e disponibilidade de recursos locais. Além disso, o impacto pelo

consumo energético nas diversas fases do ciclo de vida do edifício varia de acordo com a fonte energética predominante de cada local (REIJNDERS; ROEKEL, 1999).

As questões econômicas e sociais em países em desenvolvimento são muito mais importantes, e as preocupações com desenvolvimento ambiental são qualitativamente diferentes (COLE, 2005). Em países desenvolvidos, os padrões de necessidades humanas já estão estabelecidos e o desafio é manter um bom padrão de vida, ao mesmo tempo, reduzindo o consumo de recursos e a degradação ambiental (DETR, 1994). Nos países em desenvolvimento, as mínimas necessidades básicas para o homem muitas vezes ainda não foram atendidas. Assim, o desenvolvimento nestes países deve procurar atingir padrões mínimos de condições humanas, evitando impactos ambientais negativos (GIBBERT, 2001).

No caso de um país de vasta extensão, por mais que se valorize a regionalidade, a diversidade territorial, pode ocorrer uma generalização dos métodos e critérios de avaliação, que os resultados atingidos podem ficar aquém do esperado. Alguns sistemas internacionais já estão sendo aplicados no Brasil. São dois os principais selos de certificação existentes no mercado brasileiro, o LEED e o AQUA (Alta Qualidade Ambiental)

Em 2008, foram certificados os primeiros edifícios, em São Paulo, segundo o sistema LEED, dos Estados Unidos. No Brasil, a certificação LEED é representada pelo *Green Building Council* Brasil (GBC BRASIL), que tem trabalhado na interpretação e adaptação dessa ferramenta à realidade brasileira. De acordo com o GBC Brasil, no ano de 2016 foram registradas apenas no 1º trimestre 70 edificações com um acumulado de 1.106 construções certificadas no sistema LEED no país. A Figura 2.12 mostra a rápida evolução dos registros e certificações LEED no Brasil em treze anos.



Elaboração Própria (Fonte: GBC Brasil, 2016).

Figura 2.12: Gráfico de Registros e Certificações LEED no Brasil, elaboração própria, baseada em dados da GBC Brasil (2016).

O *Green Building Council* (USGBC), que certifica construções sustentáveis, concedeu a seis estádios que participaram da Copa do Mundo de 2014 a certificação *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) por fazerem uso de recursos sustentáveis durante a construção e manutenção das arenas.

Para viabilizar e fomentar toda essa revolução na construção civil, linhas de financiamento especiais foram desenvolvidas pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) para incentivar a construção de arenas e para a construção, reforma, ampliação e modernização de hotéis para a Copa 2014. A condição, dentre outras, foi que os empreendimentos obtivessem certificações de sustentabilidade e/ou de eficiência energética.

O comprometimento da cidade do Rio de Janeiro para a Olimpíada 2016 exige que todas as novas construções obtenham a certificação LEED. Isso envolve Vila Olímpica, Centro de Treinamento, Porto Maravilha, entre outros. Na pauta do plano de ação proposto para o Rio 2016 estão temas que abrangem várias esferas do evento com gestão e tratamento da água; educação e conscientização ambiental; reservas e conservação de energia, uso e gestão de energia renovável; qualidade do ar e transporte; proteção do ecossistema e do solo; reflorestamento, biodiversidade e proteção do meio ambiente e do legado cultural.

O grande volume de obras e requisitos de acessibilidade para atletas paraolímpicos determinou a logística da obra e do projeto de arquitetura da residencial Ilha Pura Vila dos Atletas, novo bairro planejado na região da Barra da Tijuca, Rio de Janeiro. O empreendimento que abrigará os atletas olímpicos e paraolímpicos em 2016 conquistou a Certificação AQUA-HQE Bairros e irá se tornar, ao término do evento, um dos mais modernos bairros planejados e sustentáveis do Rio de Janeiro.

É a primeira vez no Brasil em que bairros inteiros de tamanha importância urbanística e econômica para o País são planejados de maneira a incorporar soluções e requisitos de sustentabilidade desde a sua concepção. Exigir que os empreendedores atendam a determinados parâmetros e selos ambientais é o agente público apontando que caminho devemos seguir para o futuro de nossas cidades.

Desta forma o desenvolvimento de uma arquitetura sustentável proporciona uma redução de consumo de energia, de consumo de água, um ambiente com baixo risco de propagação de doenças, um empreendimento com valoração maior, menor geração de resíduos, mitigação no consumo de matéria prima, além de estar contribuindo para o meio ambiente. É devido a estas vantagens que o mercado de empreendimentos verdes vem crescendo com números exponenciais no Brasil. Já somos o quarto País no ranking de empreendimentos verdes certificados ficando atrás apenas dos EUA, China e Emirados Árabes.

## **2.3.2 Implementação dos Sistemas de Certificação**

### **2.3.2.1 Certificação AQUA / HQE - *Alta Qualidade Ambiental***

O referencial metodológico HQE - *Haute Qualité Environnementale* (Alta Qualidade ambiental) lançado na década de 1990 representa a abordagem francesa oficial do desenvolvimento sustentável aplicado às edificações. É uma metodologia que visa melhorar a qualidade do ciclo de vida da edificação, pela minimização dos impactos ambientais e sanitários que resultam da concepção, da construção, do uso, da exploração ou da demolição da edificação, em todas as fases de seu ciclo de vida.

A Fundação Vanzolini, baseado no sistema HQE francês, lançou um novo sistema de certificação ambiental de edifícios chamado de AQUA (Alta Qualidade Ambiental), o sistema é uma adaptação do HQE à realidade brasileira e promete ser um novo marco no

setor. Inicialmente foi lançado no mercado o referencial para edifícios comerciais e escolas, mas estão programados para breve os outros referenciais.

A certificação pode ser feita em três momentos:

- **Programa:** Fase durante a qual se elabora o programa de necessidades, documento destinado aos projetistas para a concepção arquitetônica e técnica de um empreendimento.
- **Concepção:** Fase durante a qual os projetistas, com base nas informações do programa, elaboram a concepção arquitetônica e técnica de um empreendimento.
- **Realização:** Fase durante a qual os projetos são construídos, tendo como resultado final a construção de um empreendimento.

O referencial tem entre seus princípios: reduzir os impactos ambientais negativos considerando as diversas escalas (global, regional e local); considerar todas as etapas do ciclo de vida da edificação; atender às exigências de conforto e saúde dos seus usuários; integrar as três dimensões do desenvolvimento sustentável (ambiental, social e econômico), dentre outros.

O processo de certificação traz exigências de um Sistema de Gestão do Empreendimento (SGE) que permitem o planejamento, a operacionalização e o controle de todas as etapas de seu desenvolvimento, partindo do comprometimento com um padrão de desempenho definido e traduzido na forma de um perfil de Qualidade Ambiental do Edifício (QAE).

O SGE permite definir a qualidade ambiental estipulada inicialmente para a construção e organiza o empreendimento para atingir o desempenho necessário, controlando os processos operacionais desde o início do programa, concepção, até a concretização final do empreendimento. O sistema está dividido em algumas etapas, que estão descritas no Quadro 2.4.

Quadro 2.4: Etapas do SGE.

ETAPAS	DESCRIÇÃO
<b>Comprometimento</b>	Do empreendedor e dos envolvidos no processo com o perfil de QAE desejado.
<b>Implantação e funcionamento</b>	Estrutura, competência, contratos, comunicação, planejamento, documentação para todas etapas da obra.
<b>Gestão do empreendimento</b>	Acompanhamento e análise, avaliação da QAE, correções e ações corretivas.
<b>Aprendizagem</b>	Balanço do empreendimento.

Fonte: Fundação Vanzolini, 2014

Já o QAE está baseado em um perfil, para avaliar o desempenho arquitetônico e técnico da construção, descrito na Figura 2.13.



Figura 2.13: Perfil QAE, Elaboração Própria

A QAE estrutura-se em quatorze subcategorias, que nada mais é que um conjunto de preocupações, que podem ser reunidas em quatro categorias: eco construção, eco gestão, conforto e saúde, que estão relacionadas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: As famílias e respectivas categorias de preocupação do Processo AQUA (Elaboração Própria).

Maio Ambiente	Energia e Economias	Conforto	Saúde e Segurança
<b>Categoria 1</b> Relação do edifício com seu entorno	<b>Categoria 4</b> Gestão da energia	<b>Categoria 8</b> Conforto Higrotérmico	<b>Categoria 12</b> Qualidade dos espaços
<b>Categoria 2</b> Qualidade dos componentes	<b>Categoria 5</b> Gestão da água	<b>Categoria 9</b> Conforto acústico	<b>Categoria 13</b> Qualidade sanitária do ar
<b>Categoria 3</b> Canteiro sustentável	<b>Categoria 7</b> Gestão da conservação e da manutenção	<b>Categoria 10</b> Conforto visual	<b>Categoria 14</b> Qualidade sanitária da água
<b>Categoria 6</b> Gestão dos resíduos		<b>Categoria 11</b> Conforto olfativo	

Fonte: Fundação Vanzolini, 2014

Além do estabelecimento de um sistema de gestão específico para o empreendimento, o empreendedor deve realizar a avaliação da qualidade ambiental do edifício em pelo menos três fases (construção nova e renovações): Pré-projeto, Projeto e



Execução; e na fase pré-projeto da Operação e Uso e fases Operação e Uso periódicas (edifício em operação e uso).

A avaliação da Qualidade Ambiental do Edifício é feita para cada uma das 14 categorias de preocupação ambiental e as classifica nos níveis BASE, BOAS PRATICAS ou MELHORES PRATICAS, conforme perfil ambiental definido pelo empreendedor na fase pré-projeto.

Para um empreendimento ser certificado AQUA, o empreendedor deve alcançar no mínimo um perfil de desempenho com 3 categorias no nível MELHORES PRATICAS, 4 categorias no nível BOAS PRATICAS e 7 categorias no nível BASE (Figura 2.14).

### **Perfil Mínimo de desempenho para certificação**

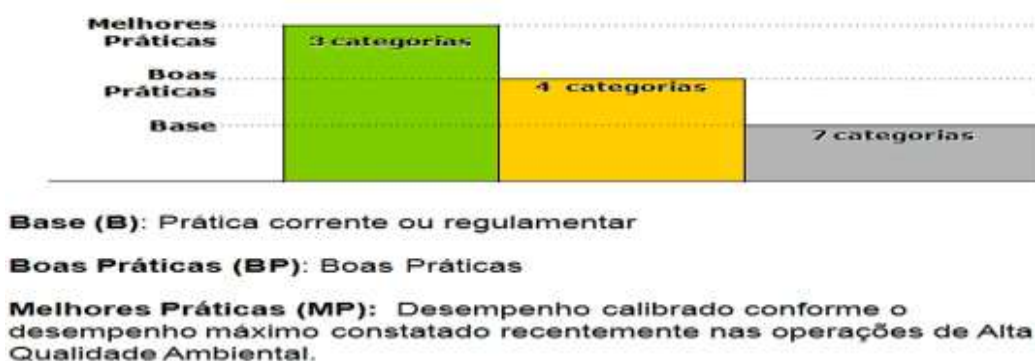


Figura 2.14: Perfil de desempenho exigido (Fundação Vanzolini, 2014).

Cálculo dos níveis alcançados para obtenção do certificado AQUA:

Cálculo do nível alcançado por tema: Cada tema é avaliado em uma escala de 0 a 4 estrelas, em função do score obtido em cada uma das categorias. Os níveis apresentados na Tabela 2.2 consistem no número mínimo de categorias a serem atendidas para validar a obtenção das estrelas.

Tabela 2.2: Número mínimo de categorias à classificação AQUA.

Temas	*	**	***	****
<b>Energia e Economias</b> Categorias: 4, 5 e 7	1 BP	1 MP + 1 BP	2 MP	2 MP + 1 BP
<b>Saúde e Segurança</b> Categorias: 8, 9, 10 e 11	2 BP	1 MP + 2 BP	2 MP + 1 BP	3 MP + 1 BP
<b>Saúde e Segurança</b> Categorias: 12, 13 e 14	1 BP	1 MP + 1 BP	1 MP + 2 BP	2 MP + 1 BP
<b>Meio Ambiente</b> Categorias: 1, 2, 3 e 6	2 BP	1 MP + 2 BP	2 MP + 1 BP	3 MP + 1 BP
<small>(B) Base: Prática corrente ou regulamentar; (BP) Boas práticas; (MP) Melhores práticas: Desempenho calibrado conforme o desempenho máximo constatado.</small>				
			Fonte: Fundação Vanzolini, 2014	

Cálculo do nível global alcançado: Há cinco classificações possíveis, dependendo do resultado obtido em cada uma das categorias, conforme Tabela 2.3.

Tabela 2.3: Níveis de classificação AQUA.

Nível Global	Níveis mínimos a serem alcançados
<b>AQUA Passa</b>	14 categorias em B
<b>AQUA Bom</b>	Entre 1 e 4 estrelas
<b>AQUA Muito Bom</b>	Entre 5 e 8 estrelas
<b>AQUA Excelente</b>	Entre 9 e 11 estrelas
<b>AQUA Excepcional</b>	12 estrelas ou mais
Fonte: Fundação Vanzolini, 2014	

### 2.3.2.1.1 Implementação do sistema AQUA/HQE

A implementação do sistema HQE é feita através da utilização de um perfil ambiental previamente definido pelo empreendedor (Apêndice I). Esse perfil é definido de acordo com as características, vantagens e desvantagens, do local onde a edificação será implementada, seguindo as exigências legais e regulamentares e os objetivos estabelecidos pelo empreendedor. Este perfil é dividido em quatro categorias, sendo que essas quatro categorias se subdividem em quatorze, atribuindo maior importância às categorias mais direcionadas com as preocupações ambientais, sanitárias e de conforto.

A equipe de avaliação verifica apenas os elementos que são fornecidos pelo empreendedor, de modo a assegurar que os objetivos da QAE são cumpridos quando da entrega da obra. A equipe intervém ao longo das várias fases da construção, com maior ênfase no final das seguintes fases: Planejamento, Projeto e Execução.

### 2.3.2.2 Certificação LEED

O selo LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) é um sistema de certificação mantido pelo USGBC (*United States Green Building Council*), uma organização sem fins lucrativos dos Estados Unidos da América, que tem o objetivo de promover a sustentabilidade ambiental de edifícios. Criado em 1998, é estruturado a partir de indicadores, chamados de créditos, com diferentes ponderações. Sob uma análise superficial, a utilização de ponderações possibilita a verificação das categorias de maior importância.

As certificações do LEED são voluntárias, baseada em consensos e orientada para o mercado. Com base existente em tecnologia comprovada, avaliam o desempenho ambiental de uma perspectiva abrangente do ciclo de vida de um projeto edificado, proporcionando um padrão definitivo para o que constitui uma edificação verde em design, construção e operação.

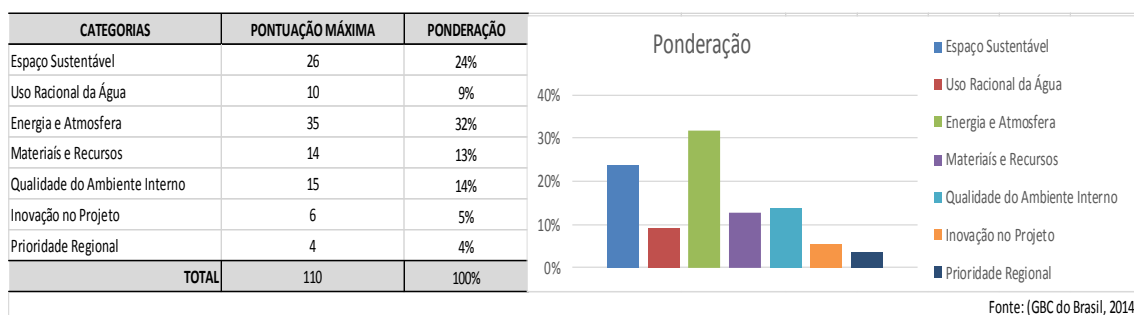
Há certa flexibilidade no LEED uma vez que este pode ser aplicado a todos os tipos de construções. Segundo o USGBC (2014), o Sistema de classificação pode ser dividido em: LEED for Core & Shell, LEED for New Construction, LEED for Schools, LEED for Neighborhood Development, LEED for Retail, LEED for Healthcare, LEED for Homes, and LEED for Commercial Interiors.

A certificação LEED, a mais recorrente entre as obtidas no Brasil, é fundamentada na avaliação do desempenho de uma edificação em nove grandes áreas, LEED *for New Construction*, modelo escolhido para o desenvolvimento dos trabalhos, em uma lista de objetivos pré-selecionados. Através da formação de comitês específicos, o USGBC desenvolveu *checklists* para cada área, com subitens relacionados ao critério correspondente, que avaliam as estratégias para melhorar o desempenho ambiental da construção, que permitem a pontuação do nível das soluções adotadas.

Conforme estabelecido pela metodologia desenvolvida pelo USGBC, para cada item há uma pontuação diferenciada e quantidade de subitens variável. Dentro de um mesmo item os critérios listados relacionam-se com diferentes fases da construção acompanhando o desenvolvimento das etapas da obra, justificando-se, assim, a importância do entendimento de todo o processo construtivo para um melhor

planejamento das estratégias a serem adotadas. O referencial técnico LEED possui 110 pontos disponíveis (Tabela 2.4).

Tabela 2.4: Distribuição das Categorias para certificação LEED (Elaboração Própria).



A soma de todos os pontos atingidos em cada categoria e pré-requisitos é que determinam a nota final do projeto. Vale ressaltar que cada categoria possui um nível de importância, sendo estas atribuídas maior número de pontos. É necessário atingir um mínimo de pontos para ser certificado, sendo concedidas as certificações de acordo com os níveis de classificação indicados na Tabela 2.5, onde cada nível possui um intervalo mínimo de créditos a serem alcançados, sendo a classificação da construção de acordo com a pontuação obtida.

Tabela 2.5: Níveis de classificação LEED (Fonte: GBC do Brasil, 2014).

NÍVEIS DE CLASSIFICAÇÃO	PONTUAÇÃO
<b>Certificado</b>	<b>40 - 49</b>
<b>Prata</b>	<b>50 - 59</b>
<b>Ouro</b>	<b>60 - 79</b>
<b>Platina</b>	<b>≥ 80</b>

O processo de certificação é aplicado a todas as etapas da obra (Figura 2.15), na aplicação dos conceitos da certificação, que segue os padrões de pré-requisitos, créditos e pontos bônus aplicável ao processo e à obra.

- Os pré-requisitos do LEED são itens de cumprimento obrigatório. Caso algum pré-requisito não seja cumprido, não haverá conformidade e a certificação não será obtida.
- A atividade de diagnóstico visa juntamente com a equipe de projetos, analisar e identificar quantos créditos do LEED o projeto atende e, depois de realizadas possíveis adequações no projeto ou no memorial, quantos créditos poderão ser atendidos.

- Realiza-se a viabilização da obtenção da certificação de sustentabilidade ambiental de empreendimento pelo sistema LEED perante o USGBC para o projeto, buscando alto desempenho ambiental e energético do empreendimento e atendimento a todos os pré-requisitos obrigatórios com obtenção do número suficiente de pontos nas categorias, conforme o objetivo do cliente.

Os tópicos (categorias), de acordo com a GBC Brasil são:

- *Sustainable Sites* (Espaço Sustentável) - Demonstra a importância da escolha do local do empreendimento e da gestão durante a construção, incentivando estratégias que reduzam o impacto no ecossistema na fase de implantação da edificação e compreende questões fundamentais de grandes centros urbanos, como redução do uso do carro e das ilhas de calor.
- *Water Efficiency* (Eficiência do uso da água) - Estimula inovações para o uso racional da água, focando na redução do consumo de água potável e busca de alternativas de tratamento e reuso dos recursos.
- *Energy & Atmosphere* (Energia e Atmosfera) - Busca da eficiência energética nos edifícios através de estratégias simples e inovadoras, como por exemplo simulações energéticas, medições, comissionamento de sistemas, design e construção eficientes, utilização de fontes renováveis e limpas de energia gerada no local ou fora dele, e utilização de equipamentos e sistemas eficientes.
- *Materials & Resources* (Materiais e Recursos) - Estimula a utilização de materiais de baixo impacto ambiental (reciclados, regionais, recicláveis, de reuso, etc.) e diminuir a geração de resíduos, além de promover o descarte consciente, afastando o volume de resíduos gerados dos aterros sanitários.
- *Indoor Environmental Quality* (Qualidade ambiental interna) – Promove a qualidade ambiental interna do ar, fundamental para ambientes com alta permanência de pessoas, focando na escolha de materiais com baixa emissão de compostos orgânicos voláteis, controle de sistemas, conforto térmico, priorização de espaços com vista externa e luz natural, e melhoria da acústica.
- *Innovation in Design or Innovation in Operations* (Inovação e Processos) - Estimula o conhecimento sobre *Green Buildings*, assim como a inovação em

características de projetos não descritas nas categorias do LEED. Esta categoria também premia projetos que incluam um LEED *Accredited Professional* (AP) na equipe, garantindo uma visão holística, integrada ao projeto e à fase de construção do empreendimento.

- *Regional Priority Credits* (Créditos de Prioridade Regional) - Promove os créditos definidos como prioridade regional para cada país, de acordo com as diferenças ambientais, sociais e econômicas existentes em cada local.

Dentro de cada tópico há pelo menos um pré-requisito que deve ser cumprido para atingir a certificação. Dentro dos tópicos existem créditos, que correspondem aos pontos referentes ao nível de certificação pretendida. A pontuação mínima para obtenção da certificação básica é de 40 pontos.

SILVA (2003) afirma que a grande disseminação do método LEED é justificada, não somente por ser um documento consensual, com aprovação da indústria da construção e apoio das associações e fabricantes de materiais e produtos, mas, acima de tudo, por tratar-se de um método de estrutura simples, de fácil assimilação e adequação, que faz uso de *checklists* para verificação de requisitos. A sequência do processo é demonstrada na Figura 2.15.

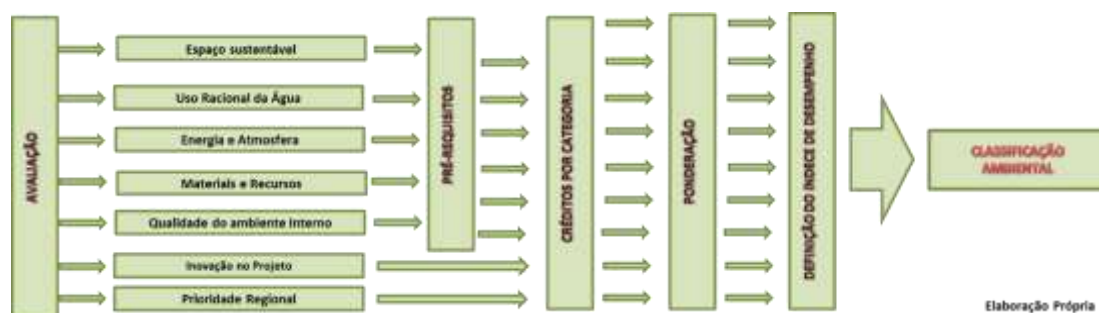


Figura 2.15: Processo de certificação LEED para construção sustentável (Fonte: GBC Brasil, 2014).

No método LEED, o desempenho ambiental da edificação é avaliada de forma integral, ao longo de todo o seu ciclo de vida, visando considerar os princípios fundamentais do que caracterizaria um *Green Building*. Sendo, necessário o cumprimento de uma série de pré-requisitos mínimos de nivelamento para que a construção esteja apta a ser analisada. Atendidos os requisitos pré-estabelecidos (práticas obrigatórias), inicia-se a fase de avaliação e categorização de desempenho da edificação, com a atribuição de créditos baseados em uma lista previamente selecionada de objetivos. Com a elaboração

de tais requisitos, o LEED oferece aos proprietários e demais *stakeholders* a possibilidade de identificar e implantar soluções práticas e mensuráveis de construção, operação e manutenção dos *Green Buildings*.

#### **2.3.2.2.1 Implementação do Sistema LEED**

Na base de implementação do sistema LEED estão presentes os *checklists* (listas de verificação) compostas pelas suas áreas mais gerais (Localização Sustentável, Eficiência da Água, Energia e Atmosfera, Materiais e Recursos, Qualidade Ambiental Interna, Inovação e Processo de Design, Prioridade Regional) que por sua vez se encontram divididas por áreas específicas, sendo que alguns casos apresentam-se também pré-requisitos. A cada uma das áreas específicas são atribuídos pontos, e os pré-requisitos de cumprimento obrigatório. A contabilização dos pontos é feita através de uma simples soma de critérios obrigatoriamente cumpridos. A soma total dos pontos leva à atribuição de diversos tipos de certificação.

Este *checklist* possibilita obter a análise da eficiência ambiental da edificação e a posterior classificação da mesma quanto ao seu nível de sustentabilidade. No Apêndice II é apresentado um *checklist* utilizado pelo sistema de certificação LEED referente a novas construções.

#### **2.3.2.3 Análise Comparativa dos Sistemas LEED x AQUA/HQE**

Para se efetuar uma análise comparativa dos sistemas de certificação ambiental da construção, fez-se um levantamento abrangendo todos os parâmetros que fazem parte de cada sistema. Deste modo, coordena-se cada parâmetro por área de avaliação, fazendo-se um estudo global para todos os sistemas, neste caso o LEED e AQUA os mais empreendidos no Brasil.

##### **1. Área de avaliação: Gestão ambiental**

Na área da gestão ambiental, podemos comprovar através da análise do Quadro 2.5 que depois de analisados todos os parâmetros, o sistema LEED é o sistema que abrange o maior número de parâmetros relativos a este campo da gestão ambiental. Neste sentido, este sistema apresenta um maior desenvolvimento quando comparado com o

outro sistema em análise, apenas não avalia e contabiliza os parâmetros de manutenção e os procedimentos ambientais.

Quadro 2.5: Análise comparativa dos parâmetros de cada sistema relativamente à Gestão Ambiental.

Parâmetros \ Sistemas	LEED	AQUA/HQE
Procedimento Ambiental		
Medição e Verificação	☐	
Acreditação Profissional	☐	
Manutenção		☐
Conteúdos Recicláveis	☐	
Controle de Resíduos	☐	☐
Reutilização de Materiais	☐	
Sistema de Climatização	☐	
Total de Parâmetros	6	2

Fonte: Elaboração Própria

## 2. Área de avaliação: **Aspectos socioeconômicos e políticos**

Os aspectos socioeconômicos e políticos, são aspectos que têm sido desenvolvidos ao longo do tempo. Atualmente, torna-se fundamental uma interação entre os órgãos políticos de cada país e a sociedade, sendo que muitos dos problemas ambientais passam pela sensibilização da participação ativa das sociedades.

A constante evolução dos países e sociedades, geram no âmbito desta área de avaliação, a integração de mais parâmetros nas novas versões dos sistemas de certificação, sendo portanto fundamental o desenvolvimento desta área que surge no âmbito da componente social, econômica e política, constituindo juntamente com a componente ambiental um papel muito importante para o desenvolvimento de um futuro cada vez mais sustentável (Quadro 2.6).



Quadro 2.6: Análise comparativa dos parâmetros de cada sistema relativamente aos Aspectos Socioeconômicos e Políticos.

Parâmetros \ Sistemas	LEED	AQUA/HQE
Aspectos Econômicos		
Aspectos Políticos		
Diversidade Econômica Local		
Amenidades e Interação Econômicas		
Desenvolvimento e Interação da Comunidade	🏠	
Acesso		
Custos no Ciclo de Vida		
Participação e Controle		
Total de Parâmetros	1	0

Fonte: Elaboração Própria

### 3. Área de avaliação: **Integração ao meio**

Na área da integração ao meio são abrangidos parâmetros mais direcionados para a construção e execução do processo de construção, tais como, características locais e culturais, paisagem e patrimônio, contexto de implantação, requalificação de terrenos devolutos, ocupação do solo, ambiente externo, transporte (localização e emissão de gás carbônico - CO<sub>2</sub>) e ecologia local. Segundo a análise ao quadro podemos afirmar que os parâmetros que fazem parte da maior parte dos sistemas são a ocupação do solo, o transporte (localização e emissão de CO<sub>2</sub>), a ocupação do solo no contexto de implantação.

Nesta análise, realça-se o fato de ambos os parâmetros acima evidenciados estarem inteiramente relacionados com o entorno da edificação e ao respectiva edificação. Podemos ainda concluir, a elevada abrangência dos sistemas quanto ao seu entorno e localização realçando a área de transportes, promovendo desta forma a utilização dos transportes públicos e a interatividade social com os serviços disponíveis.

Quanto ao número de parâmetros avaliados, destaca-se o sistema LEED que contempla seis parâmetros na sua avaliação (Quadro 2.7).

Quadro 2.7: Análise comparativa dos parâmetros de cada sistema relativamente à Integração no Meio.

Parâmetros \ Sistemas	LEED	AQUA/HQE
Características Locais e Culturais		
Paisagem e Patrimônio		
Implantação	☐	☐
Recuperação de Terrenos Devolutos	☐	
Ocupação do Solo	☐	
Ambiente Externo		
Transporte (Localização)	☐	
Transporte (Emissões de CO2)	☐	
Ecologia Local	☐	
Total de Parâmetros	6	1

Fonte: Elaboração Própria

#### 4. Área de avaliação: **Cargas ambientais e impacto no ambiente externo**

A área das cargas ambientais e impacto no ambiente externo, globalmente é uma das áreas que contêm um maior número de parâmetros analisados, demonstrando a elevada preocupação dos sistemas de avaliação para com o ambiente e o impacto das construções no ambiente externo da edificação. Esta preocupação provém do fato da construção ser um dos principais setores responsável pela poluição ambiental devido à produção de resíduos e pelo elevado consumo de recursos e energia.

Segundo esta área, são analisados os seguintes parâmetros: resíduos de construção, resíduos de uso do edifício, carga na infraestrutura, emissões atmosféricas, espaços externos, impacto no entorno, efluentes, poluição do ar, poluição da água, poluição ilumino-térmica e ruído e odores (Quadro 2.8).

O parâmetro emissões atmosféricas está presente na maioria dos sistemas de avaliação. Este parâmetro é um dos mais importantes nesta área, pois trata-se de um tema debatido, desde do Protocolo de Quioto em que vários países, incluindo o Brasil, comprometeram-se a cumprir os limites dos gases de efeito estufa, que se arrasta até a atualidade. Imediatamente temos o parâmetro de resíduos de construção, demonstrando a elevada preocupação dos sistemas para o impacto que os resíduos de construção têm no meio ambiente.

Quadro 2.8: Análise comparativa dos parâmetros de cada sistema relativamente às Cargas Ambientais e Impacte no Ambiente Externo.

Parâmetros \ Sistemas	LEED	AQUA/HQE
Resíduos da Construção	☐	☐
Resíduos de uso do Edificado		☐
Carga na Infraestrutura		
Emissões Atmosféricas	☐	☐
Espaços Externos		
Impacto no Entorno		
Efluentes	☐	
Poluição do Ar	☐	☐
Poluição da Água		☐
Poluição Ilumino-técnica	☐	
Ruído e Odores		
Total de Parâmetros	5	5

Fonte: Elaboração Própria

## 5. Avaliação da área: **Inovação**

No campo da inovação são poucos os sistemas que apostam numa avaliação a este nível, dentre estes o LEED (Quadro 2.9).

Quadro 2.9: Análise comparativa dos parâmetros de cada sistema relativamente à Inovação.

Parâmetros \ Sistemas	LEED	AQUA/HQE
Inovação e Processo de Design	☐	
Total de Parâmetros	1	0

Fonte: Elaboração Própria

Nesta área apenas surge o parâmetro de inovação e processo de design como forma de avaliação, revelando que este campo ainda não se encontra desenvolvido, sendo portanto um dos potenciais alvos para um desenvolvimento futuro.

Sendo este um parâmetro de processo mais relacionado com o aspecto da edificação, é ignorado pela maior parte dos sistemas. No entanto, a inovação e o processo de design cada vez mais se tornam numa elevada ferramenta de processo construtivo e de

minimização de energia e consumo de recursos por parte das construções, isto porque, através da arquitetura e disposição dos elementos construtivos é possível a construção de edificações cada vez mais sustentáveis.

## 6. Área de avaliação: **Planejamento**

No campo do planejamento, podemos observar uma certa heterogeneidade entre os sistemas de avaliação relativamente aos parâmetros, demonstrando a pouca relevância dada pelos sistemas a esta área. No entanto, esta área contempla parâmetros fundamentais para se garantir uma construção sustentável, tais como, durabilidade, funcionalidade e planejamento (de construção e de operação do uso da construção).

A falta de desenvolvimento segundo esta área, torna-a numa das principais áreas a atuar para uma melhoria da avaliação por parte de cada sistema em questão, fundamentalmente devido à sua grande importância nas fases de intervenção da construção pois é nesta área que se idealizam e implementam muitos dos princípios e métodos de sustentabilidade (Quadro 2.10).

Quadro 2.10: Análise comparativa dos parâmetros de cada sistema relativamente ao Planejamento.

Parâmetros \ Sistemas	LEED	AQUA/HQE
Planejamento da Construção		☐
Planejamento de Operação		☐
Adaptabilidade		
Controle de Qualidade	☐	
Funcionalidade		
Flexibilidade		
Durabilidade		
Total de Parâmetros	1	2

Fonte: Elaboração Própria

## 7. Área de avaliação: **Ambiente interno**

A área de ambiente interno relaciona na sua análise uma gama elevada de parâmetros, tais como, ventilação interna, monitorização da distribuição do ar, qualidade do ar interior, conforto térmico, conforto higrotérmico, ruído interior, conforto acústico,

luminosidade e pontos de vista, conforto iluminação, conforto visual, conforto olfativo e saúde. Nesta análise pode-se constatar que existem determinados parâmetros interiores que vão refletir no ambiente exterior, com maior ou menor impacto ambiental, como o caso do conforto térmico, sendo este o parâmetro abrangido por todos os sistemas em análise e é sem dúvida o parâmetro mais relevante ao nível do ambiente interno de um edifício.

Os parâmetros com menos grau de importância por parte dos sistemas são a monitorização da distribuição de ar, a luminosidade e o ruído interior. No entanto, estes parâmetros deveriam ter uma maior expressão na análise por parte dos sistemas pois ambos contribuem para uma maior qualidade do ambiente no interior de uma habitação (Quadro 2.11).

Quadro 2.11: Análise comparativa dos parâmetros de cada sistema relativamente ao Ambiente Interno.

Parâmetros \ Sistemas	LEED	AQUA/HQE
Ventilação Interna	☐	
Monitoramento e Distribuição do Ar	☐	
Qualidade do Ar Interior	☐	☐
Conforto Térmico	☐	☐
Conforto Higrotérmico		☐
Ruído Interior		
Conforto Acústico		☐
Luminosidade	☐	
Controle Iluminação	☐	
Conforto Visual		☐
Conforto Olfativo		☐
Saúde		☐
Total de Parâmetros	6	7

Fonte: Elaboração Própria

## 8. Área de avaliação: Recursos

O campo dos recursos é uma das áreas mais importantes na análise e avaliação do processo de certificação presente nos sistemas. No âmbito da área dos recursos são analisados os parâmetros, materiais, materiais ecológicos, prioridade regional,

conservação da água e energia, aproveitamento de águas residuais e pluviais, eficiência da água existente no entorno e dos sistemas prediais, energia renovável e produção de produtos alimentares. Neste conjunto de parâmetros, os que apresentam maior consciencialização por parte dos sistemas envolvidos são os materiais, a conservação da água e de energia. Por outro lado, o parâmetro que revela menor importância a nível da avaliação por parte dos sistemas é a produção local de produtos alimentares (Quadro 2.12). O sistema que contém maior número de parâmetros na sua análise é o sistema LEED.

Quadro 2.12: Análise comparativa dos parâmetros de cada sistema relativamente aos Recursos.

Parâmetros \ Sistemas	LEED	AQUA/HQE
Materiais	☐	☐
Materiais Ecológicos	☐	
Prioridade Regional	☐	
Conservação da água	☐	☐
Conservação de Energia	☐	☐
Aproveitamento de Águas Residuais	☐	
Aproveitamento de Águas Pluviais	☐	
Eficiência da Água no Entorno	☐	
Eficiência dos sistemas Prediais	☐	
Energia Renovável	☐	
Produção de Produtos Alimentares		
<b>Total de Parâmetros</b>	<b>10</b>	<b>3</b>

Fonte: Elaboração Própria

Depois de feita uma análise comparativa dos diversos sistemas em estudo, enfatizando os sistemas estudados, pode-se concluir que o sistema mais completo e abrangente é o sistema LEED, dos Estados Unidos da América. Esta conclusão obtém-se devido ao fato deste sistema possuir na sua estrutura uma quantidade de parâmetros superior ao do outro sistema em estudo. Contudo, a envolvência de uma enorme quantidade de parâmetros torna por vezes a sua aplicação prática mais complexa. Como já mencionado no item 2.3.1 o Brasil possui até o 1º trimestre de 2016 um acumulado de 1.106 construções certificadas pelo sistema LEED no país.

## 2.4 Considerações

Na avaliação da sustentabilidade de uma construção verificou-se que podem ser abordados vários indicadores, que nem sempre estão correlacionados entre si e que não se expressam na mesma grandeza. Além de que, o modo como cada um dos indicadores e parâmetros influencia a sustentabilidade não é consensual nem imutável ao longo do tempo. Assim, é difícil expressar a sustentabilidade em termos absolutos, através de um valor que integre todos os indicadores analisados e que permita a classificação do objeto analisado, relativamente à sua sustentabilidade. Por exemplo, uma solução que apresente bom desempenho ambiental e ao mesmo tempo não cumpra as exigências funcionais mínimas, não pode ser considerada sustentável. Por outro lado, uma solução com bom desempenho ambiental e que cumpra todas as exigências funcionais, mas em que o custo de construção ultrapassa largamente o custo da solução construtiva convencional, não poderá também ser considerada sustentável, pois o seu custo proibitivo constitui uma barreira à sua implementação. Vê-se que a solução mais sustentável depende daquilo que o limite tecnológico pode proporcionar em cada momento e de todos os atributos relacionados ao *triple bottom line*.

Neste contexto, a promoção de práticas de construção sustentável busca um equilíbrio entre as vertentes ambiental, econômica e social na implantação de projetos de construção. Os sistemas de certificações para construções emergiram da crescente conscientização sobre a proteção ambiental e da implementação de práticas de construção de edificações sustentáveis, e buscam avançar no progresso da indústria da construção, minimizando o impacto no meio ambiente e buscando acessibilidade e conforto aos usuários, por meio de uma gestão sustentável do empreendimento.

As certificações estabelecem as bases para o desenvolvimento de um modelo de apoio à decisão, para ajudar a melhorar o processo de tomada de decisão na implementação de sustentabilidade em projetos de construção.

### 3 O MODELO

Para GOLDBARG & LUNA (2000), a noção intuitiva de modelo se apoia no desejo do homem de entender o mundo que o cerca, nas imposições de sobrevivência e na necessidade de conquistar o domínio de seu meio ambiente. Para estes autores, o fenômeno de modelagem faz parte da busca de uma visão bem estruturada da realidade. Afirmam ainda, que existe uma diferença entre o modelo, enquanto representação subjetiva da realidade e o processo de modelagem, que introduz uma ideia de simulação da realidade. Um modelo não é uma substituição da realidade, mas sim um veículo para uma visão bem estruturada desta realidade. Logo, todo modelo possui suas simplificações e, portanto, limitações relacionadas à sua capacidade de representação do fenômeno.

Na modelagem matemática, GOLDBARG & LUNA (2000), apresentam como características desejáveis o poder de representatividade, relacionado à equivalência entre modelo e realidade e a sua capacidade de simplificação, ou factibilidade operacional, bem como as habilidades necessárias, o tratamento eclético das dimensões da análise e a tradução adequada. O modelo em seu processo de tradução contextual deve ser capaz de identificar os elementos fundamentais da questão e transportá-los para uma representação capaz de ser manipulada por artifícios ou métodos de solução. Esta interpretação está relacionada com a capacidade de simplificação, o que encaminha à discussão sobre o conceito de complexidade.

Em sua análise da complexidade de modelos, propõem três dimensões: meio ambiente, domínio e dinâmica, onde um modelo é considerado simples se pouco influenciado pelas variações em seu meio ambiente - *meio ambiente*; é estruturalmente estável, homogêneo e possui poucas variáveis - *domínio* e; possui comportamento facilmente previsível - *dinâmica*. A dinâmica dos modelos é definida como: determinísticas, estocásticas e indeterminada, onde pode-se adicionar uma nova categoria, de abordagem *fuzzy*, que busca modelar conceitos que são vagos, incertos, ou mal definidos, presentes na linguagem humana (GOLDBARG & LUNA, 2000).

Conforme a dinâmica do modelo, em princípio, podem ser propostas duas abordagens: a determinística e a estocástica. Segundo TRZESNIAK (1998), pode-se diferenciar estas abordagens considerando a forma como as relações entre causas e efeitos



são modeladas. A abordagem determinística é aquela em que causa e efeito estão ligados diretamente: a presença (ou uma variação) da primeira necessariamente implica o surgimento (ou uma alteração) no último, frequentemente obedecendo a uma lei matemática conhecida. A visão estocástica vincula-se a causa e o efeito de forma indireta: a presença (ou uma variação) da primeira reflete-se não no efeito, mas na probabilidade dele surgir (ou se modificar). Dessa forma, algum tipo de incerteza é introduzido na relação.

A incerteza introduzida pela abordagem estocástica está relacionada à probabilidade de ocorrência de um determinado evento. Contudo, existem outros tipos de incertezas que não são considerados nesta abordagem. De fato, incertezas relacionadas à imprecisão de conceitos são modeladas de forma precisa utilizando-se o que se convencionou chamar de lógica *fuzzy*.

Enquanto a abordagem estocástica trata da incerteza como aleatoriedade, avaliando se um evento ocorrerá, a lógica *fuzzy* trata a incerteza não avaliando se um evento ocorrerá, mas sim o grau de possibilidade de ocorrer (CORNELISSEN *et al.*, 2001), Figura 3.1.



Figura 3.1: Dinâmicas / Abordagens dos Modelos.

Os algoritmos baseados na lógica *fuzzy* apresentam um conceito distinto dos métodos determinísticos e probabilísticos, considerando na verdade a natureza possibilista das variáveis envolvidas.

CHIU & PARK (1994) afirmam que conforme o grau de incerteza de um problema aumenta, a capacidade de descrição de um modelo para resolução do mesmo decresce. Assim sendo, para preencher tal lacuna, era necessário uma teoria que fornecesse subsídios para a resolução de problemas com alto grau de incerteza, sem que informações importantes se perdessem durante a manipulação dos dados, por incapacidade do modelo matemático em lidar com a incerteza inerente ao mesmo.

ROSS (2010) descreve que em processos altamente complexos, como processos orgânicos e ambientais, no qual uma descrição simplificada é o suficiente para a tomada de decisões, a aplicação da teoria *fuzzy* é altamente recomendável, pois a incerteza está descrita dentro do seu grau de filiação e o fenômeno pode ser descrito de forma satisfatória quando se analisa o processo como um todo. Essa análise é um processo contínuo, a critério do agente ou tomador de decisões, até que se atinja o estado esperado, sendo de grande valia na análise *qualitativa* ou *quantitativa* de ações ambientais.

A modelagem e o controle *fuzzy* (LEE, 1990) são técnicas para se manusear informações qualitativas de uma maneira rigorosa. Tais técnicas consideram o modo como a falta de exatidão e a incerteza são descritas e, fazendo isso, tornam-se suficientemente poderosas para manipular de maneira conveniente o conhecimento.

A modelagem *fuzzy* trata do relacionamento entre entradas e saídas, agregando vários parâmetros de processo e controle. Isso permite a consideração de processos complexos, de modo que os sistemas de controle resultantes proporcionam um resultado mais acurado, além de um desempenho estável e robusto. A grande simplicidade de implementação pode reduzir a complexidade de um projeto a um ponto em que problemas anteriormente intratáveis passam agora a ser solúveis.

Um dos problemas de um sistema *fuzzy* é sua dificuldade em tratar muitos fatores, funções de pertinência e/ou regras. Por sua vez as redes neurais já são altamente adequadas no tratamento de grande quantidade de informações e/ou dados, categorizados ou não.

A associação dessas duas ferramentas, lógica *fuzzy* e redes neurais artificiais, resultam no sistema *neuro-fuzzy*, onde é representado o processo decisório humano, processado conforme a estrutura de trabalho humana (VON ALTROCK, 1996).

Desta forma, as duas técnicas se completam e a fusão de ambas tornou-se uma grande tendência de pesquisa, dando origem, em consequência, à tecnologia *neuro-fuzzy* utilizada nesta dissertação.

### 3.1 Referencial Teórico

#### 3.1.1 Teoria *Fuzzy*

Em 1870, filósofo e matemático Charles Sanders Peirce, dá os primeiros passos à vagueza: “As pessoas funcionam de modo **vago**, ao invés do modo **verdadeiro-falso**”.

As primeiras noções da lógica dos conceitos “vagos” foi desenvolvida por um lógico polonês JAN LUKASIEWICZ (1878-1956) em 1920 que introduziu conjuntos com graus de pertinência sendo 0,  $\frac{1}{2}$  e 1 e, mais tarde, expandiu para um número infinito de valores entre 0 e 1.

A primeira publicação sobre lógica “*fuzzy*” data de 1965, quando recebeu este nome. Seu autor foi LOTFI ASKER ZADEH, professor em Berkeley, Universidade da Califórnia. ZADEH elaborou uma teoria à qual deu o nome de Lógica não-Formal ou Lógica Nebulosa (*Fuzzy Logic* - Lógica *Fuzzy*). Em artigo, publicado na Revista *Information and Control*, o matemático introduz as bases da *Lógica Fuzzy*, entre elas o princípio da incompatibilidade:

*“A medida que a complexidade de um sistema aumenta, nossa habilidade para fazer afirmações precisas e que sejam significativas acerca deste sistema diminui até que um limiar é atingido além do qual precisão e significância (ou relevância) tornam-se quase que características mutuamente exclusivas”* (ZADEH, 1965).

Este princípio evidencia certa fragilidade da Lógica Formal.

ZADEH criou a lógica “*fuzzy*” combinando os conceitos da lógica clássica e os conjuntos de LUKASIEWICZ, definindo graus de pertinência. Ele observou que recursos tecnológicos, baseados na lógica booleana, não eram suficientes para automatizar atividades relacionadas a problemas de natureza industrial, biológica ou química.

Entre 1970 e 1980 as aplicações industriais da lógica “*fuzzy*” aconteceram com maior importância na Europa. Especificamente em 1974, o Prof. EBRAHIM MAMDANI

conseguiu controlar uma máquina a vapor com tipos diferentes de controladores aplicando o raciocínio *fuzzy*.

E após 1980, o Japão iniciou seu uso com aplicações na indústria. Algumas das primeiras aplicações foram em um tratamento de água feito pela Fuji Electric em 1983 e pela Hitachi em um sistema de metrô inaugurado em 1987. Por volta de 1990 é que a lógica “*fuzzy*” despertou um maior interesse em empresas dos Estados Unidos.

Devido ao desenvolvimento e as inúmeras possibilidades práticas dos sistemas “*fuzzy*” e o grande sucesso comercial de suas aplicações, a lógica “*fuzzy*” é considerada hoje uma técnica “*standard*” e tem uma ampla aceitação na área de controle de processos industriais.

Com o passar dos anos, a lógica *fuzzy* encontrou aplicação em uma infinidade de áreas, através das quais tem mostrado sua capacidade de adaptação e facilidade de interface com o ser humano. Conforme VON ALTROCK (1996) pode-se encontrar aplicação para tal em: sistemas controlados por especialistas (humanos); sistemas com entradas e saídas complexas e contínuas; sistemas que se utilizam da observação humana como entradas ou como base para regras; sistemas que são naturalmente *vagos*, como os que envolvem ciências sociais e comportamentais, bem como as da diversidade ambiental, cuja descrição é extremamente complexa e mutável, conforme a necessidade local.

Segundo a definição dada por BRAGA *et al.* (1995), a lógica *fuzzy* é uma tentativa de se aproximar a precisão característica da matemática à inerente imprecisão do mundo real, nascida no desejo profundo de se conhecer melhor os processos mentais do raciocínio.

Referenciado por PINHO (1999), como um novo ramo da matemática, a lógica *fuzzy* tem como ponto fundamental, segundo VON ALTROCK (1996), a representação da lógica e da racionalidade humana na resolução de problemas complexos.

Ainda, de acordo com VON ALTROCK (1996), este enfatiza que lógica *fuzzy* permite o desenvolvimento de sistemas que representam decisões humanas, onde a lógica e a matemática convencional (booleana) se mostram insuficientes ou ineficientes. Portanto nota-se a preocupação ao definir o conceito de lógica *fuzzy*, em demonstrar seu

objetivo principal que é aproximar a maneira tal qual o ser humano relaciona dados, para gerar uma resposta aproximada ao problema relacionado. Assim, espera-se com o uso de modelo matemático baseado no conhecimento intuitivo humano, resolver problemas complexos e compostos por variáveis cuja informação contida é incerta, de uma maneira organizada e com a máxima confiabilidade possível.

De acordo com ORTEGA (2001), uma das principais vantagens da teoria de conjuntos *fuzzy* em relação a outras abordagens de modelagem matemática é a facilidade de compreensão de seus conceitos por parte de profissionais, cuja formação não é na área de ciências exatas. A possibilidade de trabalhar com variáveis linguísticas, próximas à linguagem natural, faz com que se sintam à vontade para expressar os seus conhecimentos. Essas características da lógica *fuzzy* facilitam o aperfeiçoamento dos modelos criados, mediante o ajuste da descrição de cada variável e suas relações fruto do aporte da experiência de distintos especialistas, viabilizando a interdisciplinaridade de trabalhos com o intuito de abordar problemas complexos em forma mais realista.

Ao utilizar modos de raciocínio aproximados, ao invés de exatos, a lógica *fuzzy* reporta muito mais informações quando comparada à lógica clássica, pois permite a descrição de um determinado fato com maior riqueza de detalhes - devido às gradações apresentadas - favorecendo menor perda de informações e maior coerência com a realidade em questão. Além disso, viabiliza a solução de problemas até então intratáveis por técnicas clássicas, pois permite redução da complexidade (MALUTTA, 2004).

O controle executado pela lógica *fuzzy* imita um comportamento baseado em regras ao invés de um controle restrito a modelos matemáticos complexos. Pode-se dizer que o objetivo da lógica difusa é gerar uma saída lógica a partir de um conjunto de entradas não precisas, com faltantes ou até mesmo ruídos (OLIVEIRA Jr, 1999).

### **3.1.1.1 Conjuntos Fuzzy**

Na abordagem natural da teoria dos conjuntos, conjunto, elemento e pertinência, são conceitos fundamentais, não definidos. Um elemento pertence ou não pertence a um conjunto.

Existem várias maneiras de se representar um conjunto, com a extensão, isto é, a listagem de todos os elementos, a intenção, ou o uso de uma regra que possibilite decidir

se elementos pertencem ou não pertencem, e, nosso interesse maior, sua função característica.

Na teoria clássica, um elemento ou pertence a um conjunto ou não. Dado um universo  $U$  e um elemento particular  $x \in U$ , o grau de pertinência  $\mu_A(x)$  com respeito a um conjunto  $A \subseteq U$  é dado por:

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

A função  $\mu_A(x): U \rightarrow \{0, 1\}$  é chamada de função característica na teoria clássica de conjuntos. Frequentemente, uma generalização desta ideia é utilizada, por exemplo, para manipulação de dados com erros limitados. Todos os números dentro de um erro percentual terão um fator de pertinência 1, tendo todos os demais um fator de pertinência 0 (Figura 3.2a). Para o caso preciso, o fator de pertinência é 1 somente no número exato, sendo 0 para todos os demais (Figura 3.2b).

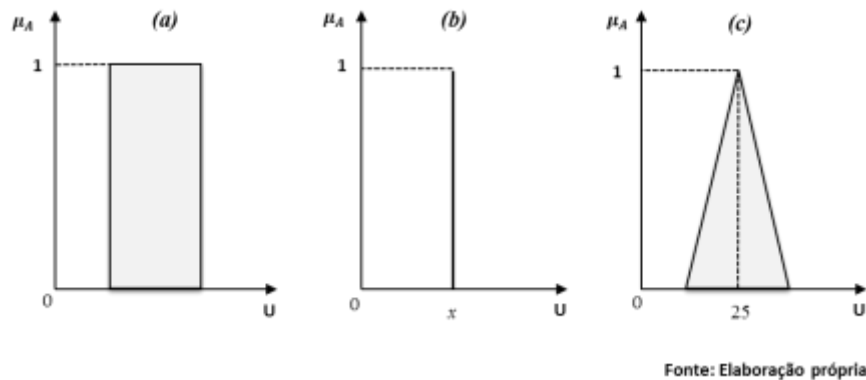


Figura 3.2: Figuras de pertinência.

ZADEH (1965) propôs uma caracterização mais ampla, na medida em que sugere que alguns elementos são mais membros de um conjunto do que outros. O fator de pertinência pode então assumir qualquer valor entre 0 e 1, sendo que o valor 0 indica uma completa exclusão e um valor 1 representa completa pertinência. Esta generalização aumenta o poder de expressão da função característica. Por exemplo, para expressar a ideia de que uma temperatura tem seu valor por volta de 25, pode-se utilizar uma função de pertinência triangular (Figura 4.2c), com o pico em 25, para sugerir a ideia de que quanto mais perto o número de 25, mais ele se identifica com o conceito representado.

Formalmente, seja  $U$  uma coleção de objetos denominados genericamente por  $\{u\}$ .  $U$  é chamado de universo de discurso, podendo ser contínuo ou discreto. Um conjunto *fuzzy*  $A$  em um universo de discurso  $U$  é definido por uma função de pertinência  $\mu_A$  que assume valores em um intervalo  $[0, 1]$ :

$$\mu_A : U \rightarrow \{0, 1\}$$

Assim, de acordo com os estudos de ZADEH, um conjunto *fuzzy* é uma extensão do conceito de conjunto clássico onde a imagem da função característica deixa de ser o conjunto  $\{0, 1\}$  e passa a ser o intervalo  $[0, 1]$ . Essa função passa a se chamar função de pertinência - *membership function*. É representada por um conjunto de pares ordenados

$$A = \{\mu_x(x)/x\}, \quad x \in A.$$

A função de pertinência  $\mu_A(x)$  indica o grau de compatibilidade entre  $x$  e o conceito expresso por  $A$ :

- ✓  $\mu_A(x) = 1$  indica que  $x$  é completamente compatível com  $A$ ;
- ✓  $\mu_A(x) = 0$  indica que  $x$  é completamente incompatível com  $A$ ;
- ✓  $0 < \mu_A(x) < 1$  indica que  $x$  é parcialmente compatível com  $A$ , com grau  $\mu_A(x)$ .

A cardinalidade de um conjunto *fuzzy*  $A$  pode ser definida em universos contínuos ou discretos. Se o universo  $U$  for *discreto* e finito, o conjunto *fuzzy*  $A$  é normalmente representado:

- ✓ Por um vetor contendo os graus de pertinência no conjunto  $A$  dos elementos correspondentes de  $U$ ;
- ✓ Por meio da seguinte notação (Equação 3.1):

$$\sum_i^n \mu_A(x_i)/x_i \quad \text{EQ. 3.1}$$

- ✓ Em que “ $\sum$ ” representa a operação união (disjunção), e a notação  $\mu_A(x_i)/x_i$  refere-se ao elemento  $x_i$  que pertence ao conjunto *fuzzy*  $A$  com grau  $\mu_A(x_i)$ .

Em geral, por simplicidade, somente são listados no conjunto  $A$  aqueles elementos cujo grau de pertinência é diferente de zero (ORTEGA, 2001).

Se o universo  $U$  for contínuo (Equação 3.2), emprega-se muitas vezes a seguinte notação (observando-se que o símbolo “ $\int$ ”, assim como o “ $\sum$ ” no caso do universo de discurso discreto, são utilizados para representar a operação de união lógica):

$$\int_X \mu_A(x) / x \quad \text{EQ. 3.2}$$

### 3.1.1.1 Variáveis Linguísticas

Para expressar conceitos é muito comum o uso de elementos qualitativos ao invés de valores quantitativos. Elementos típicos incluem "mais ou menos", "alto", "não muitos", "médio", etc. Estas ideias são capturadas pela definição de variável linguística. Uma variável linguística tem por característica assumir valores dentro de um conjunto de termos linguísticos, ou seja, palavras ou frases. Assim, ao invés de assumir instâncias numéricas, uma variável linguística assume instâncias linguísticas. Por exemplo, uma variável linguística “Conservação de Energia (E24)” poderá assumir como valor um dos membros do conjunto {não atendido, parcialmente atendido, totalmente atendido}. Para se atribuir um significado aos termos linguísticos, associa-se cada um destes a um conjunto *fuzzy* definido sobre um universo de discurso comum (Figura 3.3).

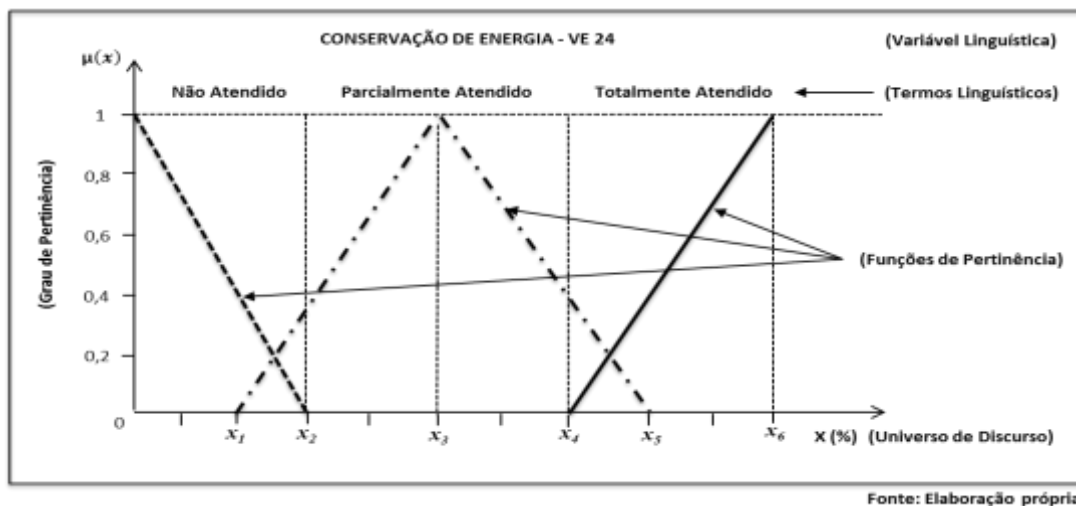


Figura 3.3: Variável linguística Conservação de Energia.

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.



As variáveis linguísticas têm a função de fornecer uma forma sistemática para as descrições aproximadas dos fenômenos complexos ou mal definidos, utilizando um tipo de descrição linguística similar ao empregado pelos seres humanos. Isto permite o tratamento de sistemas muito complexos para serem analisados através de cálculos matemáticos.

Generalizando, as variáveis linguísticas podem ser sentenças com um formato padrão ou especificada pelo usuário, construídas a partir de termos primários (alto, baixo, grande, etc.), de modificadores (muito, pouco, levemente, etc.), de delimitadores (acima, abaixo, etc.) e conectores lógicos (*NÃO*, *E*, *OU*). Uma variável linguística é formalmente caracterizada pela quintupla  $(N, T(N), U, G, M)$ , onde:

- ✓ N: Nome da variável;
- ✓  $T(N)$ : Conjunto de nomes dos valores linguísticos de N;
- ✓ U: Universo de discurso, onde os conjuntos são definidos;
- ✓ G: Regra sintática para gerar os valores de N como uma composição de termos de  $T(N)$ ;
- ✓ M: Regra semântica, para associar a cada valor gerado por G um conjunto *fuzzy* em U.

#### **3.1.1.1.2 Função de Pertinência**

Ao explicar as funções de pertinência, TANSCHKEIT (2003) lembra que estas funções podem ter diferentes formas, dependendo do conceito que se deseja representar e do contexto em que serão utilizadas. O autor exemplifica o quanto o contexto é relevante na definição de funções de pertinência e de sua distribuição ao longo de um dado universo. Considerando-se como exemplo, a variável linguística “Conservação de Energia”, Figura 3.3, esta é constituída dos termos linguísticos: (Conservação de Energia) = {não atendido (NA), parcialmente atendido (PA), totalmente atendido (TA)} correspondentes aos conjuntos *fuzzy* NA, PA e TA, e cada um definido por uma função de pertinência, que no exemplo em questão são funções triangulares.

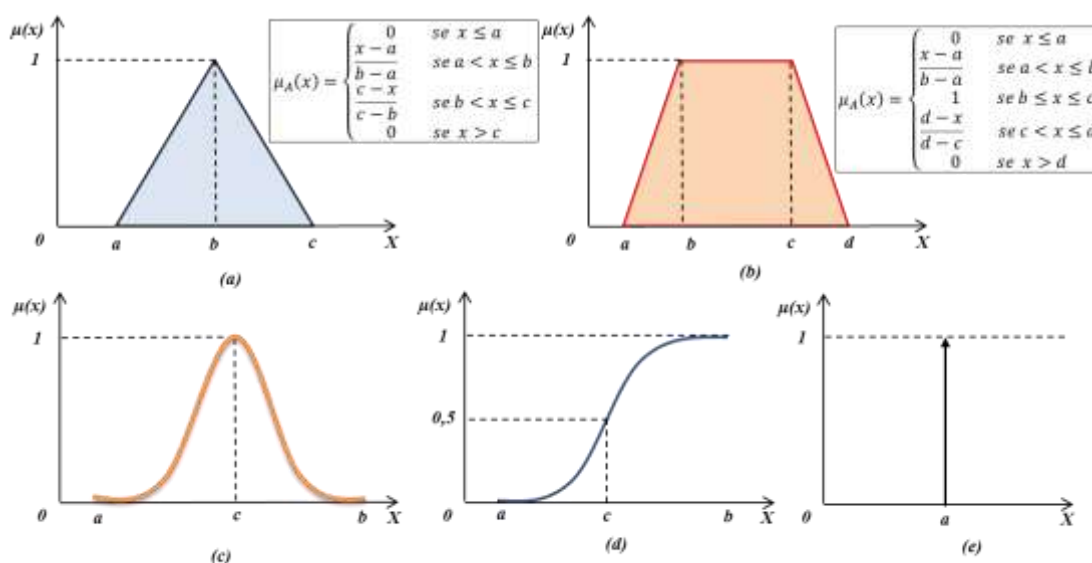
Além disso, funções de pertinência podem ser definidas baseadas na experiência e perspectivas dos especialistas, sendo comum fazer-se uso de funções de pertinência padrão, como: as de forma triangular, trapezoidal, Gaussiana, Sigmoide e Singleton. Na

prática, as formas inicialmente escolhidas podem ser adequadas em função dos resultados observados, Quadro 3.1, bem como sua representação gráfica indicada na Figura 3.4.

Quadro 3.1: Funções de Pertinência da Lógica *Fuzzy* (Fonte: Elaboração própria).

Função	Equação
Triangular	$\mu_A(x) = \max\left(0, \min\left[\frac{(x-a)}{(b-a)}, \frac{(c-x)}{(c-b)}\right]\right)$
Trapezoidal	$\mu_A(x) = \max\left(0, \min\left[\frac{(x-a)}{(b-a)}, 1, \frac{(c-x)}{(c-b)}\right]\right)$
Gaussiana	$\mu_A(x) = e^{-\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2}$ ; (sendo $\sigma$ o desvio padrão)
Sigmoidal	$\mu_A(x) = \frac{1}{1+e^{-\frac{(x-c)}{\beta}}}$ ; ( $\beta$ é a inclinação da curva sigmoide)
Singleton	$\mu_A(x) = 1$ (O universo de discurso é representado por um único valor "a".)

Fonte: Elaboração Própria



Fonte: Elaboração Própria

Figura 3.4: Representação gráfica das Funções de Pertinência: (a) triangular, (b) trapezoidal, (c) gaussiana, (d) sigmoide e (e) singleton.

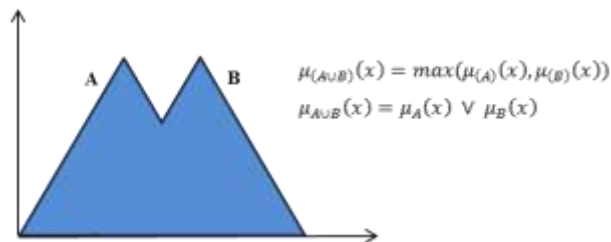
Na tomada de decisão e análise de dados quando se utiliza a teoria *fuzzy* é importante realizar o ranqueamento dos números *fuzzy*. Neste caso, é imprescindível a determinação de um valor *crisp* que represente cada número *fuzzy*. São descritos na literatura alguns métodos para se ranquear números *fuzzy*, dentre estes, os métodos pela distribuição triangular trapezoidal são os mais utilizados. Baseando-se nas Figuras 3.4a e 3.4b tem-se a Equação 3.3:

$$R(x) = \begin{cases} \frac{a + 2b + c}{4}, & \text{para número triangular} \\ \frac{a + 2\left(\frac{b+c}{2}\right) + d}{4}, & \text{para número trapezoidal} \end{cases} \quad \text{EQ. 3.3}$$

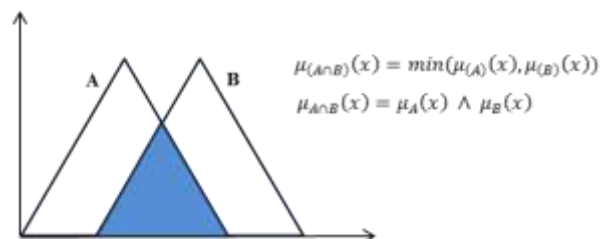
### 3.1.1.1.3 Operações entre Conjuntos *Fuzzy*

As operações que podem ser feitas pelos conjuntos *fuzzy* são baseadas na teoria clássica de conjuntos. As operações entre conjuntos são extremamente importantes para os sistemas que se utilizam dessa lógica, pois os cálculos proposicionais, por exemplo, são baseados nessas operações. As operações básicas dos conjuntos *fuzzy*, definidas por ZADEH, onde ele propõe a utilização de operadores *minimum* (*min* ou  $\wedge$ ) e *maximum* (*max* ou  $\vee$ ), para se chegar as funções características dos conjuntos resultantes (interseção e união) e que podem ser representadas de acordo com as formas seguintes, considerando *A* e *B* dois conjuntos *fuzzy* num universo *U*:

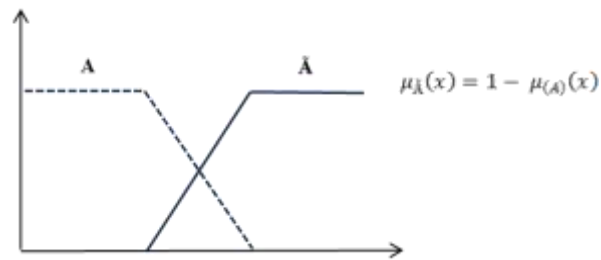
✓ União:  $\mu_{(A \cup B)}(x) = \max(\mu_{(A)}(x), \mu_{(B)}(x))$  EQ. 3.4  
 $\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x)$



✓ Interseção:  $\mu_{(A \cap B)}(x) = \min(\mu_{(A)}(x), \mu_{(B)}(x))$  EQ. 3.5  
 $\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x)$



✓ Complemento:  $\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_{(A)}(x)$  EQ. 3.6



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

### 3.1.1.2 Sistemas Baseados em Lógica *Fuzzy*

Os sistemas *fuzzy* podem produzir estimativas de um sistema não linear complexo desde que informações de especialista sejam fornecidas com entrada para esses sistemas. Alógica de tomada de decisões, incorporada na estrutura de inferência da base de regras, usa inferência *fuzzy* para simular tomada de decisão humana (PEREIRA, 2010).

Os sistemas *fuzzy* são resultados de uma generalização dos sistemas clássicos, ou seja, nessa abordagem, os conceitos *fuzzy* são incorporados a esses sistemas. Os sistemas *fuzzy* estimam funções com descrição parcial do comportamento do sistema, onde especialistas podem prover o conhecimento heurístico ou esse conhecimento pode ser inferido a partir de dados de entrada e de saída do sistema. Desta forma, pode-se dizer que os sistemas *fuzzy* são sistemas baseados em regras que utilizam variáveis linguísticas *fuzzy* para executar um processo de tomada de decisão (THÉ, 2001).

O conhecimento não é um valor ou conceito preciso, ele pode refletir ao mesmo tempo o quanto se sabe e o quanto não se sabe, sem que ambos sejam complementares. Quanto maior a quantidade de informações com qualidade, mais certo e preciso ele é, contudo continua a expressar um desconhecimento ou incerteza (PEREIRA, 2010).

Um modelo esquemático da máquina de inferência *fuzzy* é ilustrado na Figura 3.5. Um modelo linguístico *fuzzy* é um sistema baseado em regras que usa a teoria de conjuntos *fuzzy* para lidar com um fenômeno particular (COSTA, 2004). Em geral, cada entrada *fuzzy* (um número real ou par de números reais ou n-upla de números reais) tem uma saída *fuzzy* correspondente. Neste caso, um sistema *fuzzy* é uma função de  $\mathbb{R}^n$  em  $\mathbb{R}$ ,

construída de alguma maneira específica. A estrutura básica de um sistema *fuzzy* inclui quatro componentes (ou módulos) principais:

1. Um *fuzzyficador*;
2. Um mecanismo de inferência;
3. Uma base de regras;
4. Um *defuzzyficador*.



Figura 3.5: Estrutura geral de um sistema de inferência *fuzzy*.

### 3.1.1.2.1 Fuzzyficação

O módulo *fuzzyficador* é número clássico valorado, que se traduz por entradas em valores *fuzzy*. Na *fuzzyficação*, pode-se modelar matematicamente a informação das variáveis de entrada por meio de conjuntos *fuzzy*. É nesse estágio, que é mostrada a importância do especialista no processo a ser analisado, pois termos linguísticos que representam os estados das variáveis deve ser atribuído à cada variável de entrada e um conjunto *fuzzy* por uma função de pertinência deve ser associado para cada termo linguístico (seções 3.1.1.1.1, 3.1.1.1.2 e 3.1.1.1.3 deste capítulo).

Segundo SHAW & SIMÕES (1999) a *fuzzyficação* é um mapeamento do domínio de números reais (em geral discretos) para o domínio *fuzzy*, e também representa que há atribuição de valores linguísticos, descrições vagas ou qualitativas, definidas por funções de pertinência às variáveis de entrada, sendo ainda uma espécie de pré-processamento de categorias ou classes dos sinais de entrada, reduzindo grandemente o número de valores a serem processados.

É nessa etapa que se obtém o grau de pertinência, de forma que cada entrada pertence a cada conjunto *fuzzy*. Cada uma dessas entradas foi previamente limitada no universo de discurso em questão e associada a um grau de pertinência em cada conjunto

*fuzzy* através do conhecimento do especialista. Então para obter o grau de pertinência de uma determinada entrada *crisp* basta buscar esse valor na base de conhecimento do sistema *fuzzy*.

### 3.1.1.2.2 Inferência *Fuzzy* - Base de Conhecimento

A forma mais comum de expressar o conhecimento é por meio de regras do tipo “condição-ação”. Nestas, um conjunto de condições descrevendo uma parcela observável das saídas do processo é associado com uma ação de controle que irá manter ou levar o processo às condições de operação desejadas. Tipicamente, uma condição é uma proposição linguística (envolvendo variáveis linguísticas) sobre o valor de alguma das variáveis de entrada como, por exemplo, o erro é grande e positivo. De modo análogo, uma típica ação de controle é uma descrição linguística como, por exemplo, aumente um pouco a vazão. A ideia geral aqui é se representar o conhecimento por meio de um conjunto de regras nas quais as condições são dadas a partir de um conjunto de termos linguísticos associados às variáveis de saída/entrada do processo (que são entradas do controlador/modelo). As ações (de controle) ou as saídas (modelo) são expressas de modo similar para cada variável de controle (saída). Regras do tipo SE-ENTÃO são frequentemente chamadas de declarações condicionais *fuzzy* ou simplesmente regras *fuzzy*. Dependendo de o propósito ser o controle ou modelagem, podem ser chamadas ainda de regras de controle *fuzzy* ou regras de modelagem *fuzzy*. Uma regra *fuzzy* como a seguinte:

$$\text{Se } (x \text{ é } A_i \text{ E } y \text{ é } B_i) \text{ então } (z \text{ é } C_i).$$

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  $x \text{ é } A \text{ E } y \text{ é } B$  ENTÃO  $z \text{ é } C$ , em que  $A$ ,  $B$  e  $C$  são conjuntos *Fuzzy*,  $x$  e  $y$  são as variáveis de entrada,  $z$  é a variável de saída, SE  $x \text{ é } A \text{ E } y \text{ é } B$  é a parte antecedente e, ENTÃO  $z \text{ é } C$ , é a parte consequente.

As proposições podem também ser estabelecidas através de composição de proposições simples, denominadas proposições *fuzzy* compostas, utilizando conectivos lógicos “E”, “OU” e “NÃO” representando, respectivamente, a intersecção, união e complemento *fuzzy*, como mostrados abaixo:

Conectivo **E**:  $\mu(x)_{A \wedge B} = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}$

Conectivo **OU**:  $\mu(x)_{A \vee B} = \max \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}$

Conectivo **NÃO**:  $\mu(x)_{\bar{A}} = 1 - \mu(x)_A$

As relações dos conjuntos *fuzzy* mapeiam elementos de um universo de discurso com outro universo, expressando a força de relação entre os pares ordenados dos dois universos, proclamando os graus de relação no intervalo de pertinência [0,1].

JAFELICE *et al.* (2005) destacam que a relação entre conjuntos *fuzzy* pode ser obtida pela composição *max-min* (Equação 3.7):

$$\mu_{RoS}(x,z) = \{(x,z), \max [\min (\mu_R(x,y), \mu_S(y,z))]\} \quad \text{EQ. 3.7}$$

Quando os conjuntos *X*, *Y* e *Z* são finitos, a relação *RoS* dada pela composição *max-min*, é obtida como uma multiplicação de matrizes substituindo-se o produto pelo mínimo e a soma pelo máximo.

É neste momento que cada proposição *fuzzy* é traduzida matematicamente por meio das técnicas de raciocínio aproximado. Os operadores matemáticos serão selecionados para definir a relação *fuzzy* que modela a base de regras. Desta forma, a inferência *fuzzy* é de fundamental importância, já que fornece a saída a partir de cada entrada *fuzzy* e da relação definida pela base de regras (Figura 3.6).

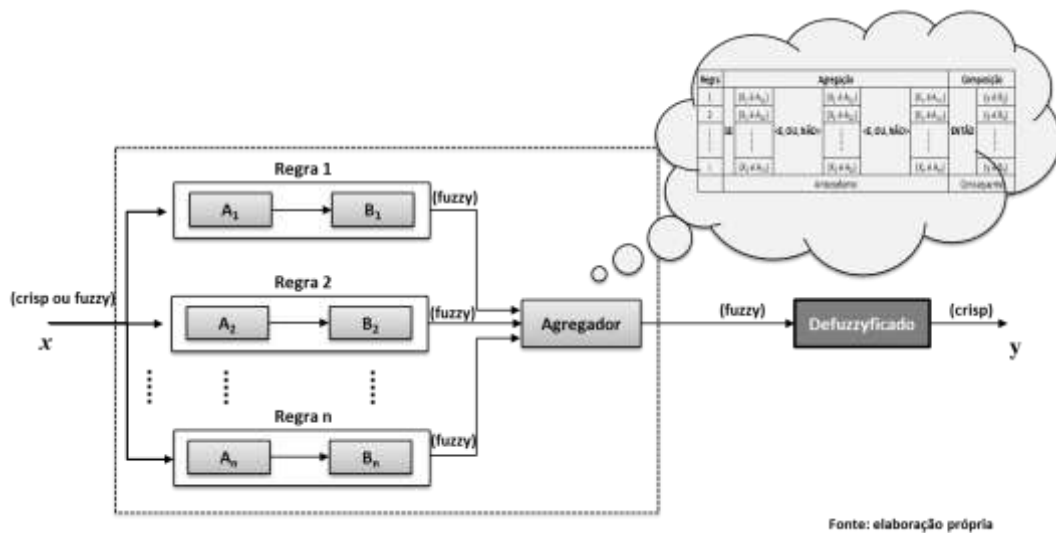


Figura 3.6: inferência fuzzy.

O resultado da inferência é um vetor linguístico com os relativos graus de pertinência determinados na agregação das regras. Podendo esse vetor ser *defuzzyficado* de acordo com métodos de inferência *fuzzy*, dentre esses métodos estão os Métodos de MAMDANI e o de TAKAGI-SUGENO. A diferença básica entre esses métodos recai no tipo de consequente e no procedimento de *defuzzyficação*. Para uma melhor ilustração dos métodos serão empregados como exemplo, modelos de regras com duas entradas e uma saída.

Uma regra SE (antecedente) ENTÃO (consequente) é definida pelo produto cartesiano *fuzzy* dos conjuntos *fuzzy* que compõem o antecedente e o consequente da regra. O método proposto por EBRAHIM MAMDANI em 1975 agrega as regras através do operador lógico OU, que é modelado pelo operador máximo e, em cada regra, o operador lógico E é modelado pelo operador mínimo:

Regra 1: SE ( $x$  é  $A_1$  e  $y$  é  $B_1$ ) ENTÃO ( $z$  é  $C_1$ ).

Regra 2: SE ( $x$  é  $A_2$  e  $y$  é  $B_2$ ) ENTÃO ( $z$  é  $C_2$ ).

A Figura 3.7 ilustra como uma saída real  $z$  de um sistema de inferência do tipo MAMDANI é gerada a partir das entradas  $x$  e  $y$  reais e a regra de composição *max-min*. A saída  $z \in R$  é obtida pela *defuzzyficação* do conjunto *fuzzy* de saída  $C = C'_1 \cup C'_2$  da Figura 3.7.

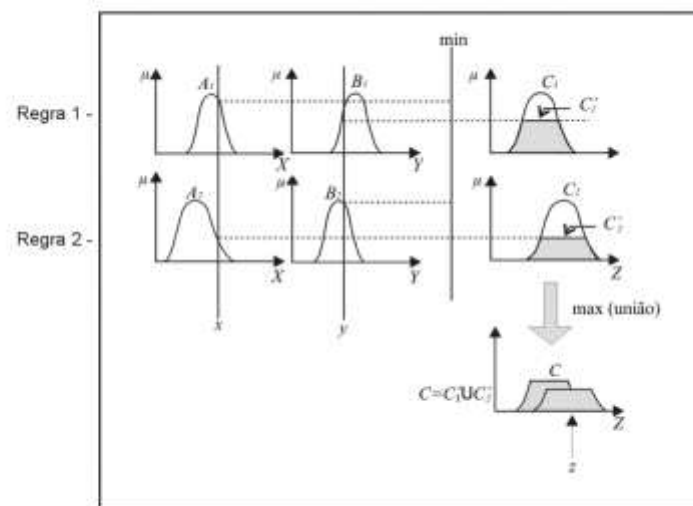


Figura 3.7: Método de MAMDANI com composição *max-min*.



No método TAKAGI-SUGENO, o consequente de cada regra é uma função das variáveis de entrada. Como exemplo, pode-se supor que a função que mapeia a entrada e saída para cada regra é uma combinação linear das entradas, isto é,  $z = px_1 + qx_2 + r$ . Veja as regras a seguir:

Regra 1: SE ( $x$  é  $A_1$  e  $y$  é  $B_1$ ) ENTÃO  $z = f_1(x; y)$ .

Regra 2: SE ( $x$  é  $A_2$  e  $y$  é  $B_2$ ) ENTÃO  $z = f_2(x; y)$ .

A Figura 4.8, ilustra como uma saída  $z$  pelo método de TAKAGI-SUGENO é gerada a partir das entradas reais  $x$  e  $y$ . Esta saída do sistema é obtida pela média ponderada das saídas de cada regra, usando-se o grau de ativação destas regras como ponderação.

No caso em que  $p = q = 0$ , então  $z = r$  (conjunto unitário *fuzzy*), os modelos de MANDANI e de TAKAGI-SUGENO produzem os mesmos valores de saída, porque a *defuzzificação* no método de MAMDANI, pelo centro de gravidade, é igual à média ponderada no método de TAKAGI-SUGENO. Como  $z_1$  e  $z_2$  são conjuntos *fuzzy* unitários então  $w_1$  e  $w_2$  são os graus de pertinências de  $z_1$  e  $z_2$ , respectivamente (Figura 3.8).

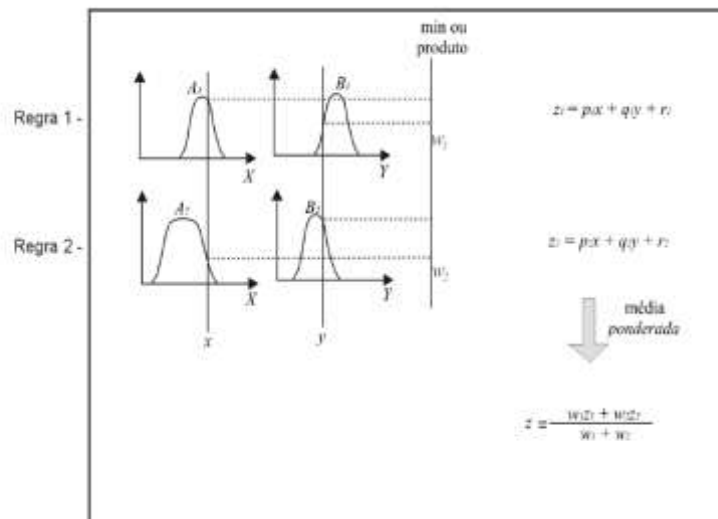


Figura 3.8: Método de TAKAGI-SUGENO.

### 3.1.1.2.3 Defuzzyficação

Na *defuzzyficação*, que ocorre após a inferência *fuzzy*, consiste na modificação de um termo linguístico em um resultado numérico muito útil quando se deseja comparar resultados entre várias opções ou simplesmente ordena-los, significa que, as variáveis de saída, tanto as intermediárias quanto a final, são geradas pelos blocos de inferência na forma de variáveis linguísticas, consegue-se assim o termo linguístico associado ao grau gerado pela função de pertinência correspondente.

Existem vários métodos de *defuzzyficação*, entre eles encontram-se: do valor máximo, da média dos máximos, do centro dos máximos e do centro de gravidade, sendo o do centro dos máximos, o mais utilizado na literatura pesquisada.

O método do Centro dos Máximos determina o valor mais típico para cada termo e então computa o valor que reflete o melhor compromisso com o resultado da inferência *fuzzy*. Para a obtenção deste valor de compromisso como um número real, os Graus de Pertinência ( $\mu(x)$ ) do resultado linguístico da inferência *fuzzy* são considerados como os “pesos” dos valores mais típicos dos termos linguísticos. Assim, o valor de melhor compromisso é aquele que equilibra os pesos, ou seja, por meio de uma média ponderada (VON ALTROCK, 1995). Este método pode ser empregado em decisões qualitativas, como definição de níveis de serviço.

Nesta dissertação será usado o método de *defuzzyficação* Centro dos Máximos que é uma das técnicas de *defuzzyficação* mais utilizadas para transformar um resultado linguístico novamente num valor numérico (CURY, 2007), sendo aplicada a Equação 3.8 para a obtenção deste valor.

$$Saída = \frac{\sum_1^n \mu(x_i)x_i}{\sum_1^n \mu(x_i)} \quad \text{EQ. 3.8}$$

Onde:

- $\mu(x_i)$ : grau de pertinência dos termos linguísticos da variável de saída;
- $x_i$ : valores da componente de entrada em análise correspondente aos máximos dos conjuntos *fuzzy*;
- $i$ : i-ésima variável de entrada;

- $n$ : quantidade de variáveis de entrada à *defuzzyficar*.

Após apresentação da conceituação sobre a lógica *fuzzy* cabe destacar, que a principal limitação desta lógica é o tratamento de muitos fatores, funções de pertinência e/ou regras simultaneamente. Em contrapartida, a estrutura das redes neurais artificiais, é adequada ao tratamento de grandes quantidades de dados e classe. Desta forma, as duas técnicas se completam e a fusão de ambas tornou-se uma grande tendência de pesquisa. Assim, a lógica *fuzzy* é usualmente combinada à Teoria das Redes Neurais Artificiais, de forma a fundamentar a tecnologia *Neuro-Fuzzy* (CURY, 1999).

### 3.1.2 Redes Neurais Artificiais

As redes neurais artificiais foram motivadas inicialmente pela grande capacidade do cérebro humano em executar tarefas de alta complexidade e de aprendizagem, que advêm do processamento paralelo e distribuído da rede de neurônios. Estas características do cérebro humano aguçaram o interesse em se estudar sua constituição e sua mimetização na elaboração de sistemas com capacidades similares a este.

Uma rede neural artificial (RNA) é interpretada como uma estrutura neural biológica de organismos inteligentes, capaz de armazenar conhecimento fundamentado na aprendizagem e na experiência. O aprendizado ocorre a partir de um processo interativo de ajustes aplicado a seus pesos, denominado treinamento, que pode ser percebido quando a rede neural alcança uma solução generalizada para uma classe de problemas. As RNA são compostas por unidades de processamento (neurônios), dispostas em uma ou mais camadas interligadas por conexões normalmente anexas a pesos numéricos, responsáveis por armazenar o conhecimento da rede (Figura 3.9).

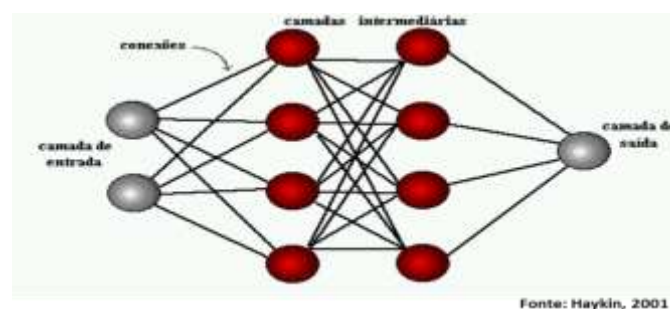


Figura 3.9: Exemplo de arquitetura de rede neural artificial.

No neurônio biológico, os sinais de entrada chegam através de canais localizados nas sinapses, permitindo a entrada e saída de íons. Um potencial de membrana aparece como resultado da integração dos sinais de entrada, que irão determinar se o neurônio irá produzir um sinal de saída (*spike*, *pulso*, ou *potencial de ação*) ou não. O potencial de ação resulta na liberação de neurotransmissores na sinapse sempre que o potencial de membrana for superior a um determinado limiar (*threshold*).

O efeito líquido de todos estes processos biológicos que ocorrem nas sinapses é representado por um peso associado.

O elemento computacional básico empregado na maioria das RNA é um integrador. Trata-se de um elemento processador de informações que é fundamental para a operação das RNA. As principais partes do neurônio artificial genérico são:

- ✓ As sinapses, caracterizadas pelos seus pesos associados;
- ✓ A junção somadora; e
- ✓ A função de ativação.

### **3.1.2.1 Início Histórico**

As redes neurais artificiais passaram por um atraente processo de evolução, caracterizado por um período de grande celeridade seguido por anos de estagnação nas pesquisas e no ressurgimento do interesse científico, motivado pelo desenvolvimento de novas tecnologias e fundamentos teóricos.

Alguns dos mais destacados pesquisadores envolvidos no estudo e aplicação de redes neurais foram relacionados na Tabela 3.1, de forma cronológica à atividade científica de cada pesquisador, sendo tomada como base no processo de sequenciamento histórico.

Tabela 3.1: Evolução histórica das pesquisas em Redes Neurais.

Período	Cientistas / Pesquisadores
1943	McCulloch e Pitts
1948	Wiener
1949	Hebb
1957	Rosenblatt
1958	Widrow e Hoff
1969	Minsky e Papert
1960 / 1980	Kohonen, Grossberg, Widrow, Anderson, Caianiello, Fukushima, Ígor Aleksander
1974	Werbos
1982	Hopfield
1983	Rumelhart e McClelland

Fonte: Elaboração própria

McCULLOCH e PITTS (1943), MCP, projetaram a estrutura conhecida como a primeira rede neural. Ambos propuseram um modelo de neurônio como uma unidade de processamento binária (Figura 3.10), e provando que estas unidades são capazes de executar muitas das operações lógicas. A saída “y” é função do somatório das entradas ponderadas pelos pesos correspondentes menos o limiar de excitação *threshold*. Apesar de simples, este modelo, foi de grande contribuição para as discussões sobre a construção dos primeiros computadores digitais, admitindo a criação dos primeiros modelos matemáticos de dispositivos artificiais que buscavam analogias biológicas.

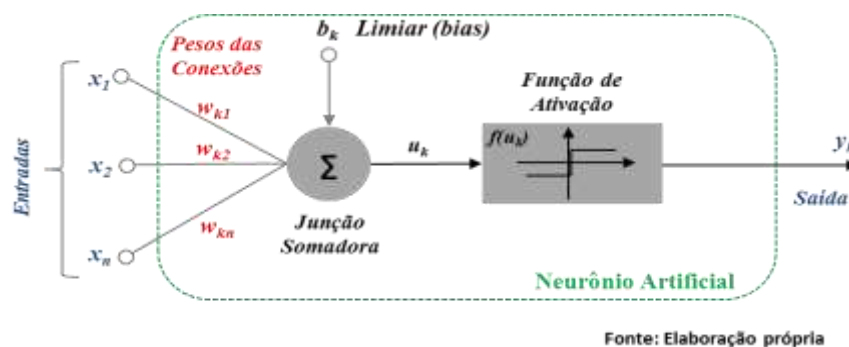
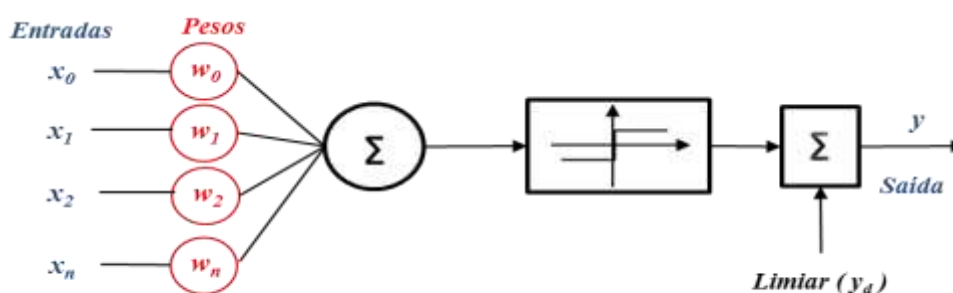


Figura 3.10: Modelo básico de um neurônio.

Em 1948, N. WIENER criou a palavra cibernética para descrever, de forma unificada, controle e comunicação nos organismos vivos e nas máquinas.

Em 1949, D. O. HEBB apresentou uma hipótese a respeito da maneira com que a força das *sinapses* no cérebro se alteram em resposta à experiência. Sugeriu que as conexões entre células que são ativadas ao mesmo tempo tendem a se fortalecer, enquanto que as outras conexões tendem a se enfraquecer. Hipótese que passou a influir decisivamente na evolução da teoria de aprendizagem em redes neurais artificiais.

Em 1957, FRANK ROSENBLATT introduziu uma nova abordagem para o problema de reconhecimento de padrões com o desenvolvimento do *perceptron* (Figura 3.11), composto por uma estrutura de rede tendo como unidades básicas nodos MCP e uma regra de aprendizado. ROSENBLATT também propôs um algoritmo para o ajuste dos pesos do *perceptron* e provou sua convergência quando os padrões são linearmente separáveis. Por volta do mesmo período, B. WIDROW (1962) e seus colaboradores desenvolveram o *adaline* (Adaptive Linear Element).



Fonte: Elaboração própria

Figura 3.11: O *perceptron*.

Apesar do sucesso do *perceptron* e do *adaline*, a pesquisa em redes neurais passou gradualmente a conviver com dois problemas fundamentais. Devido ao fato de a maior parte das pesquisas até então desenvolvidas ser de natureza heurística, o primeiro problema estava vinculado à carência de resultados teóricos que justificassem a manutenção do interesse científico pela área, o que ocasionou a redução na produção de novas ideias. A segunda dificuldade, foi a expectativa exagerada criada pelos próprios pesquisadores, não acompanhada de resultados à altura, o que acelerou a queda de financiamentos para pesquisa.

Com a publicação, em 1969, do livro “*Perceptrons*” de autoria de M. L. MINSKY & S. A. PAPER, que as pesquisas na área de redes neurais sofreram uma retração significativa. Neste livro, conceitos de matemática moderna como topologia e teoria de grupo são aplicados com o objetivo de analisar as capacidades adaptativas e computacionais de neurônios do tipo apresentado na Figura 3.11. Minsky & Papert, demonstraram que o *perceptron*, apesar de ser capaz de executar as operações booleanas AND e OR, não é capaz de executar outras operações elementares, como XOR (OU-exclusivo). Além disso, esses autores não acreditavam que uma arquitetura adequada, juntamente com um algoritmo de ajuste de pesos, pudessem ser desenvolvida para superar

esta limitação. Após a publicação destes resultados, a maior parte dos pesquisadores da área de redes neurais passou a buscar alternativas dentro do campo da engenharia e, principalmente, da lógica matemática, que encontrava-se em expansão, graças aos avanços computacionais da época.

Apesar deste êxodo generalizado, um número de pesquisadores continuou a trabalhar com redes neurais nos anos 1970. Os nomes de T. Kohonen (Finlândia), S. Grossberg, B. Widrow e J. Anderson (Estados Unidos), E. Caianiello (Itália), K. Fukushima (Japão) e Igor Aleksander (Inglaterra) estão associados a este período.

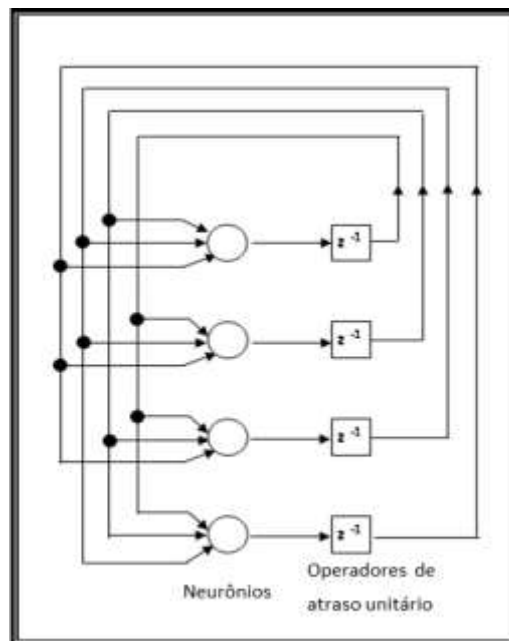
Nos anos 1980 muitos fatores contribuíram para o ressurgimento definitivo das pesquisas em redes neurais:

- ✓ Neurofisiologistas foram adquirindo um maior conhecimento sobre o processamento de informações nos organismos vivos;
- ✓ Avanços tecnológicos tornaram disponível um maior potencial computacional a baixo custo, viabilizando ou facilitando simulações e testes com modelos neurais; e
- ✓ Novas teorias para a implementação de algoritmos adaptativos foram desenvolvidas, permitindo a aplicação em sistemas reais.

Em 1982, J. HOPFIELD, do Instituto de Tecnologia da Califórnia, juntamente com D. TANK, um pesquisador da AT&T, desenvolveram grande quantidade de modelos de redes neurais baseadas em pesos fixos e ativações adaptativas. A rede de Hopfield pode ser considerada como um sistema dinâmico com um número finito de estados de equilíbrio, de forma que o sistema invariavelmente irá evoluir para um destes estados ou para uma sequência periódica de estados a partir de uma condição inicial. Concluindo Hopfield, que tais estados de equilíbrio podem ser utilizados como dispositivos de memória. Distinta da utilizada pelos computadores convencionais, onde o acesso à informação armazenada dá-se por meio de um endereço, já em uma rede Hopfield o conteúdo da memória é de forma a permitir que haja uma evolução da rede para um de seus estados de equilíbrio (Figura 3.12).

A rede simétrica recorrente de Hopfield atraiu matemáticos e engenheiros à esta área de pesquisa, sendo estudada como memórias distribuídas, além de ser utilizada como ferramenta na solução de problemas de otimização restrita.

No entanto, o fato que efetivamente colocou a área de redes neurais como uma das prioritárias na obtenção de recursos foi o desenvolvimento de um método para ajuste de parâmetros de redes não-recorrentes de múltiplas camadas. Este método, baseado em um algoritmo denominado retro propagação (*backpropagation*), tornou-se largamente conhecido após a publicação, em 1986, do livro “*Parallel Distributed Processing*”, editado por J. L.MCCLELLAND & D. E. RUMELHART, fazendo com que pesquisadores das mais diferentes áreas passassem a visualizar interessantes aplicações para Redes Neurais Artificiais.



Fonte: elaboração própria

Figura 3.12: Grafo arquitetural de uma rede de Hopfield, consistindo de 4 neurônios.

### 3.1.2.2 Classificação dos Neurônios

As operações sobre conjuntos podem ser interpretadas como conectivos lógicos. Na lógica proposicional binária, os operadores de interseção e união podem ser identificados com os conectivos conjuntivos (AND) e disjuntivos (OR), respectivamente.

Os neurônios lógicos utilizados em sistemas *neuro-fuzzy* podem ser divididos em duas categorias principais (PEDRYCZ & ROCHA, 1993): neurônios de “agregação” e



neurônios de “referência”. Dentre os neurônios de agregação, podemos citar os neurônios AND e OR (PEDRYCZ & ROCHA, 1993), OR/AND (HIROTA & PEDRYCZ, 1994) e neurônios de limiar (*threshold*) (PEDRYCZ & GOMIDE, 1998). Como exemplo de neurônios de referência, podemos citar os neurônios de comparação (*matching*), diferença, inclusão e dominância (PEDRYCZ & ROCHA, 1993). Iremos analisar apenas os neurônios de agregação do tipo AND e OR, pois a arquitetura *neuro-fuzzy* que iremos considerar utiliza apenas estes dois tipos de neurônios.

Nos sistemas baseados no conhecimento, o conjunto de expressões condicionais, SE-ENTÃO, representam o conhecimento humano extraído por pessoas. Entretanto, os antecedentes e consequentes das regras são tratados como conjuntos nebulosos. Seja a representação deste neurônio dada pela Figura 3.13, com  $n$  entradas e uma saída.

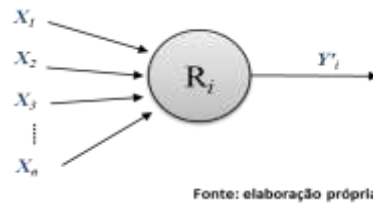


Figura 3.13: Modelo de um neurônio *fuzzy* descrito por equações lógicas.

As relações entradas-saídas podem ser representadas:

$$SE X_{1i} AND X_{2i} AND \dots AND X_{ni} ENTÃO Y_i$$

De acordo, com a teoria da lógica *fuzzy* o *i-ésimo* neurônio pode ser representado pela relação  $R_i = F(X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{ni}, Y_i)$  onde  $F$  representa uma função de implicação.

No neurônio OR, os sinais de entrada  $x_1, x_2, \dots, x_n$  são combinados sucessivamente com os pesos  $w_1, w_2, \dots, w_n$  (vetor  $w$  representa os pesos de conexão do neurônio) empregando o conectivo lógico AND para cada par  $(x_i, w_i)$ . Subsequentemente, estes resultados parciais são *agregados* pelo operador lógico OR produzindo a saída  $y$  do neurônio (Equação 3.9). A transformação pode ser descrita (Figura 3.14a):

$$y = OR(x; w) = OR\{(x_1 AND w_1), (x_2 AND w_2), \dots, (x_n AND w_n)\}. \quad EQ. 3.9$$

Já o neurônio AND constitui uma estrutura dual em relação ao neurônio OR. Os sinais de entrada são primeiro combinados através do operador OR sobre uma coleção

das conexões do neurônio. A seguir, os resultados são combinados usando o operador lógico AND (Equação 3.10), obtendo a seguinte expressão (Figura 3.14b):

$$y = AND(x; w) = AND\{(x_1 OR w_1), (x_2 OR w_2), \dots, (x_n OR w_n)\}. \quad \text{EQ. 3.10}$$

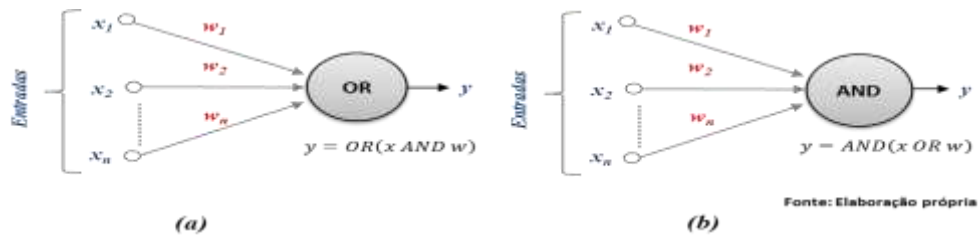


Figura 3.14: Neurônios lógicos: (a) neurônio OR e (b) neurônio AND.

Os neurônios AND e OR realizam operações lógicas “puras” sobre as entradas. O papel dos pesos é determinar o nível de impacto que uma entrada individual pode ter no resultado da agregação. Observa-se que, quanto maior o valor de uma conexão em um neurônio OR, a entrada correspondente exerce uma influência maior na saída do neurônio. O efeito oposto é observado no neurônio AND: quanto mais próximo um peso for de 1, menor será a influência da respectiva entrada na saída do neurônio.

### 3.1.2.3 Arquitetura de Rede

As redes neurais realizam o processamento de informações baseado na organização dos neurônios do cérebro, que tem a capacidade de aprender e tomar decisões baseadas na aprendizagem.

Redes neurais são classificadas de acordo com a arquitetura de implementação, topologia, características de seus nós, regras de treinamento e tipos de modelos.

Do ponto de vista estrutural, a arquitetura de redes neurais pode ser classificada como: estática, dinâmica ou *fuzzy*, e de única camada ou múltiplas camadas. Diferenças computacionais surgem quando se trata da maneira com que são feitas as conexões existentes entre os neurônios. Estas conexões podem ser estritamente no sentido de ida, no sentido de ida e volta lateralmente conectada, topologicamente ordenada ou híbrida (TATIBANA & KAETSU, 2014).

Por convenção, a camada que recebe os dados é denominada *input* (entrada), onde os padrões são apresentados à rede; a camada intermediária é denominada *hidden* (oculta),

onde é feita a maior parte do processamento, através das conexões ponderadas e a camada final, denominada camada de saída, onde o resultado final é concluído e apresentado.

A maioria das RNA utilizam arquiteturas padronizadas, projetadas especialmente para resolver algumas classes de problemas.

O processo de conexão entre neurônios artificiais leva à geração de sinapses e à construção de redes neurais artificiais (Figura 3.15).

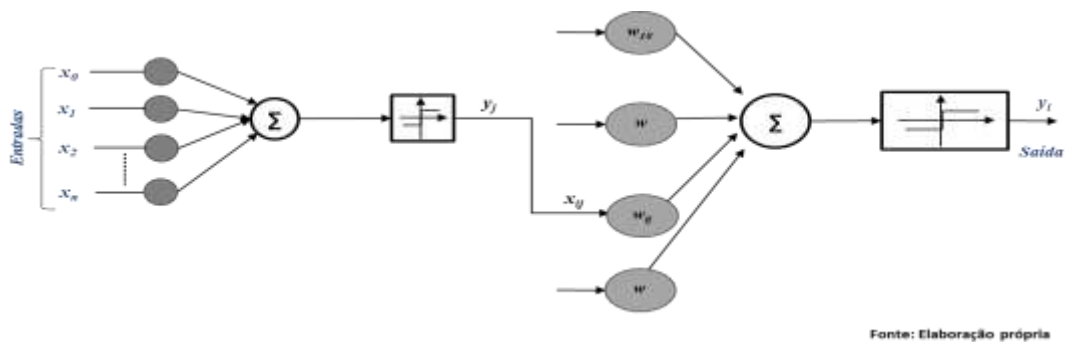


Figura 3.15: Conexão de neurônios à construção de RNA.

*A priori*, quanto mais camadas de neurônios, melhor seria o desempenho da rede neural, pois aumenta a capacidade de aprendizado, melhorando a precisão com que delimita regiões de decisão. Mas, na prática, aumentar o número de camadas intermediárias às vezes se torna inviável devido ao trabalho computacional. Pesquisadores como HECHT-NIELSEN (1989) afirmam que com apenas uma camada intermediária na rede neural já é possível calcular uma função arbitrária qualquer a partir de dados fornecidos. De acordo com esses autores, a camada oculta deve ter por volta de  $(2i+1)$  neurônios, onde  $i$  é o número de variáveis de entrada. Outros, como CYBENKO (1989), estudaram o número de camadas intermediárias necessárias à implementação de funções em RNA. Seus resultados indicam que uma camada intermediária é suficiente para aproximar qualquer função contínua e que duas camadas intermediárias aproximam qualquer função matemática. LIPPMANN (1987) afirma que, havendo uma segunda camada intermediária na rede neural, esta deve ter o dobro de neurônios da camada de saída; no caso de apenas uma camada oculta, deverá ter  $s(i+1)$  neurônios, onde  $s$  é o número de neurônios de saída e  $i$ , o número de neurônios na entrada.

Existem basicamente três camadas em uma rede neural artificial: uma camada de entrada, uma camada intermediária, e uma camada de saída. Entretanto, nem todas as RNA possuem camadas intermediárias.

A forma pela qual os neurônios estão interconectados está intimamente relacionada ao algoritmo a ser utilizado no seu treinamento.

Existem, basicamente, três tipos principais de arquitetura em RNA: redes *feedforward* de uma única camada, redes *feedforward* de múltiplas camadas, e redes *recorrentes*.

### 3.1.2.3.1 Rede Feedforward com Uma Única Camada

Este caso mais simples de rede em camadas consiste em uma camada de entrada e uma camada de saída. Geralmente os neurônios de entrada são lineares, ou seja, eles simplesmente propagam o sinal de entrada para a próxima camada. São também denominados de neurônios sensoriais (Figura 3.16).

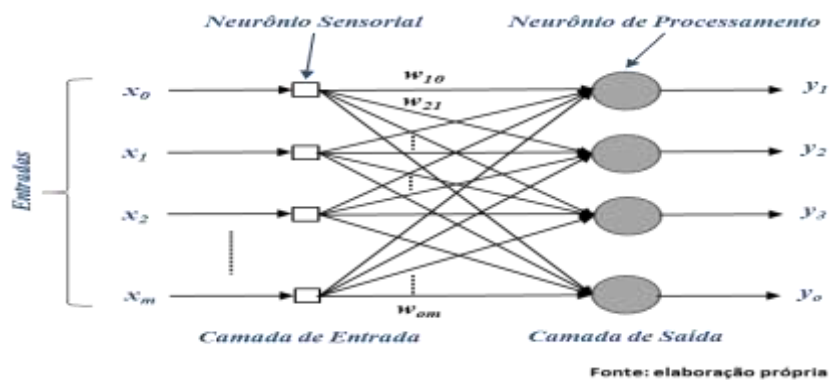


Figura 3.16: Rede *Feedforward* de camada única.

Esta rede é denominada *feedforward* porque a propagação do sinal ocorre apenas da entrada para a saída, ou seja, é apenas no sentido positivo.

### 3.1.2.3.2 Rede Feedforward de Múltiplas Camadas

As redes de múltiplas camadas possuem uma ou mais camadas intermediárias ou escondidas. Adicionando-se camadas intermediárias não-lineares é possível aumentar a capacidade de processamento de uma rede *feedforward*. A saída de cada camada intermediária é utilizada como entrada para a próxima camada (Figura 3.17).

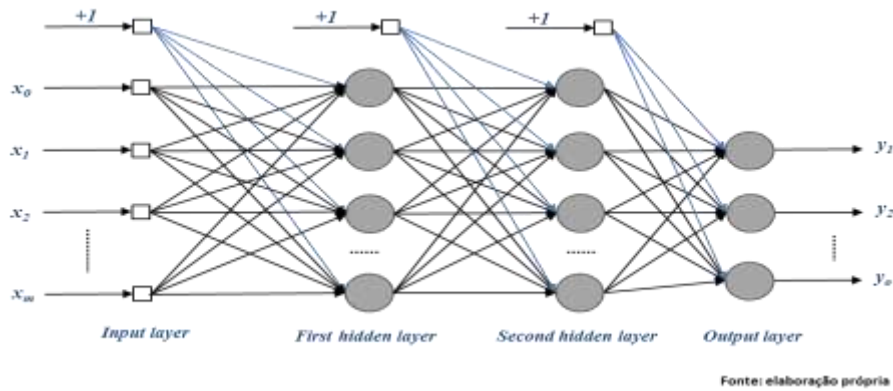


Figura 3.17: Rede *Feedforward* de múltiplas camadas.

Em geral o algoritmo de treinamento para este tipo de rede envolve a *retro propagação* do erro entre a saída da rede e uma saída desejada conhecida.

### 3.1.2.3.3 Redes Recorrentes

O terceiro principal tipo de arquitetura de RNA são as denominadas de redes recorrentes, pois elas possuem, pelo menos, um laço realimentando a saída de neurônios para outros neurônios da rede, Figura 3.12, rede Hopfield.

### 3.1.3 Rede *Neuro-Fuzzy*

Pesquisas recentes têm mostrado que sistemas inteligentes fornecem métodos eficientes para aplicações práticas. Ao se compensar as deficiências de uma técnica com os benefícios de outra, criam-se estruturas de enorme potencial, (JAIN & JAIN, 1999; RUAN, 1997).

Ao se projetar um sistema *neuro-fuzzy*, agrega-se as características de transparência de raciocínio da lógica *fuzzy* à capacidade de aprendizado e generalização das redes neurais.

De fato, atualmente já se reconhece que a lógica *fuzzy* oferece um ambiente muito poderoso para aproximar o raciocínio, num esforço para modelar o pensamento humano. Sistemas *fuzzy* adquirem o conhecimento de especialistas e o codificam em termos de regras SE...ENTÃO..., empregando tais regras num método de interpolação, simulando o raciocínio, para responder a novas questões.

Em contraste, as redes neurais artificiais oferecem uma arquitetura altamente estruturada, com capacidades de aprendizado e generalização, que tentam imitar os mecanismos neurológicos do cérebro. Uma rede neural armazena conhecimento de uma forma distribuída dentro de seus pesos, os quais são ajustados durante a fase de treinamento com amostras conhecidas.

A rede *neuro-fuzzy* é um modelo conexionista para implementação de regras *fuzzy* e inferência. Cada camada da rede está associada a um elemento de um controlador *fuzzy*. Diversas arquiteturas têm sido construídas. Elas variam em aspectos estruturais, ou seja, o modo como o conjunto de regras é usado para definir a estrutura inicial da rede, e em aspectos funcionais, relacionados ao método de inferência implementado (em geral funções de ativação dos neurônios) e modo de operação (fixação ou não das características do sistema *neuro-fuzzy*, como formato das funções de pertinência e número de regras previstas).

A ideia básica de um sistema híbrido *neuro-fuzzy* é a construção de um Sistema de Inferência *Fuzzy* (SIF), uma estrutura paralela distribuída de tal forma que os algoritmos de aprendizado das redes neurais possam ser aproveitados nestes sistemas híbridos para ajustar os parâmetros dos SIF.

A Figura 3.18 apresenta um exemplo da estrutura de um Sistema *Neuro-fuzzy* dividido em cinco etapas. A camada de entrada representa as variáveis de entrada, as quais são normalizadas e escalonadas dentro de um intervalo numérico [0,1] ou [-1,1]. A segunda camada é a etapa da *fuzzyficação*. Nesta etapa, os intervalos de cada variável de entrada são divididos em diversos níveis (não sustentável, parcialmente sustentável e sustentável), os quais indicam os pesos da rede de cada entrada. A terceira camada é definida pelas regras do SIF, a quarta camada é determinada pelos consequentes das regras, e a quinta e última camada ou camada de saída é a etapa de *defuzzyficação*, onde se calcula o valor numérico (*crisp*) de saída.

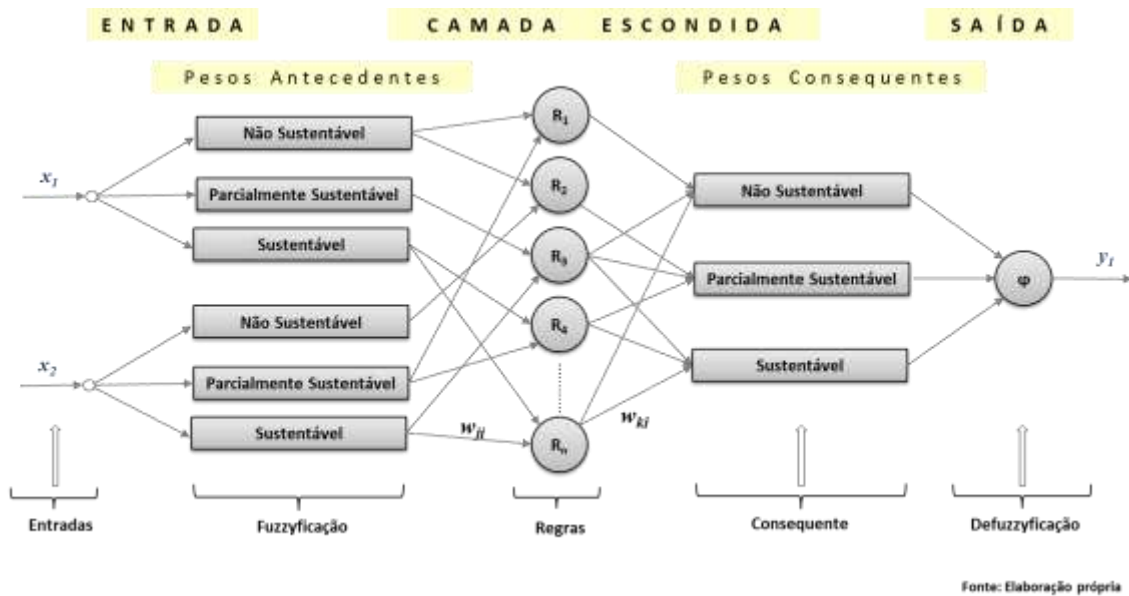


Figura 3.18: Arquitetura básica de um Sistema *Neuro-fuzzy*.

Segundo PEDRYCZ & GOMIDE (1998), as redes *neuro-fuzzy* são úteis na aproximação de relações multivariadas, estáticas e dinâmicas, entre as variáveis de entrada e saída. Essa forma de aproximação se fundamenta na natureza lógica de dependência entre as variáveis.

CAMINHAS (1999), descreve a rede *neuro-fuzzy* AND/OR, ilustrada na Figura 3.19. Esta arquitetura foi originalmente proposta para problemas de classificação de padrões, onde só há uma saída.

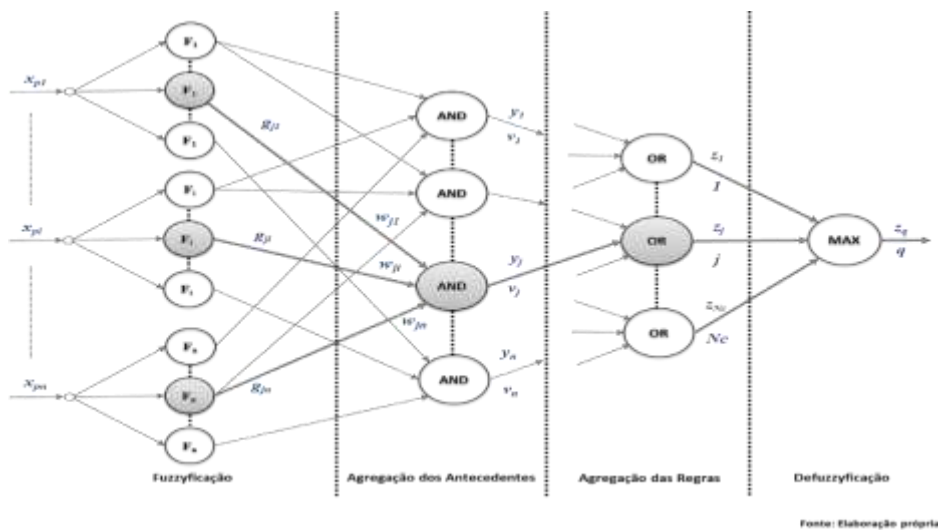


Figura 3.19: Rede *Neuro-fuzzy* AND/OR.

A rede *neuro-fuzzy* AND/OR é composta de quatro camadas de neurônios, detalhadas a seguir:

1. A primeira camada é responsável pela *fuzzyficação* das entradas, ou seja, é responsável pela transformação das coordenadas de entrada em graus de pertinência de subconjuntos *fuzzy*. Assim, cada neurônio nesta camada representa uma função de pertinência *fuzzy*.
2. A segunda camada é composta de neurônios AND, e é responsável pela agregação dos antecedentes das regras *fuzzy*.
3. A terceira camada é composta de neurônios OR, e é responsável pela agregação das regras.
4. A quarta camada é composta apenas de um neurônio, responsável pela *defuzzyficação*. O critério de *defuzzyficação* adotado é o do Centro dos Máximos (CoM).

As redes de uma camada resolvem apenas problemas linearmente separáveis. Para problemas não linearmente separáveis devem-se usar redes com uma ou mais camadas intermediárias (Figura 3.20). Com uma camada intermediária uma rede pode implementar qualquer função contínua, CYBENKO (1989). Ainda segundo CYBENKO (1988), a utilização de duas camadas intermediárias permite a aproximação de qualquer função.

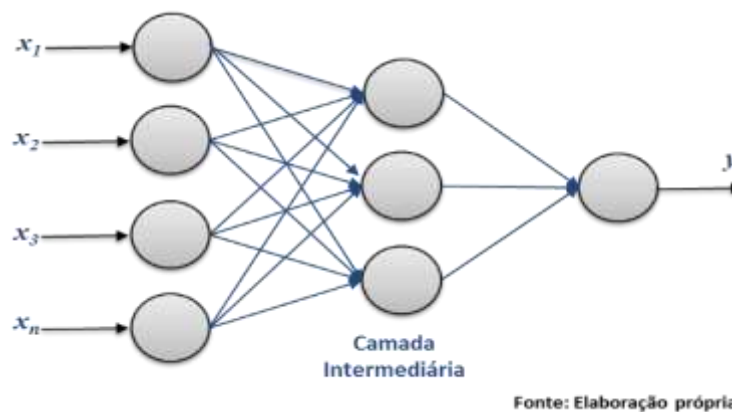


Figura 3.20: Exemplo de arquitetura de uma *perceptron* multicamadas.

Uma dos sistemas mais difundidos é o de inferência *Neuro-Fuzzy* adaptativo (*Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* - ANFIS) é uma rede Neural proposta por JANG (JANG, 1993), (JANG *et al.*, 1997) cuja ideia básica é de implementar um sistema de inferência *Fuzzy* através de uma arquitetura paralela distribuída, neste caso, a de uma RNA, de tal forma que os algoritmos de aprendizado possam ser usados para ajustar este sistema de inferência *Fuzzy*. Estando estruturada em cinco camadas, sendo:



1. A primeira camada é composta pelo grau de pertinência do padrão de entrada. Nesta camada calcula-se o grau de pertinência com que as entradas precisas satisfazem os termos linguísticos associados a estes nós (*fuzzyficação*);
2. Na segunda camada, cada nó corresponde a uma regra de inferência *fuzzy*, nesta calcula-se o grau de ativação de cada regra, ou seja, com que grau o consequente da regra está sendo atendido;
3. Na terceira camada é realizada a normalização, onde cada nó calcula a razão entre o nível de disparo da regra pela soma dos níveis de disparo de todas as regras, preparando a *defuzzyficação*;
4. Já na quarta camada as saídas do neurônio são calculadas pelo produto entre os níveis de disparo normalizados e o valor da regras do consequente da regra em si;
5. A camada cinco calcula a saída precisa (*defuzzyficação*).

Dentre as características do sistema *neuro-fuzzy* ANFIS tem-se a sua utilização em problemas de aproximação de função e identificação de sistemas.

#### **3.1.4 Considerações**

A utilização de indicadores ambientais simplificam e sintetizam dados e informações, facilitando a compreensão e a análise crítica das diferentes atividades a serem realizadas nas etapas de uma obra, produzindo assim, subsídios aos processos de tomada de decisão por seus atores. A necessidade de avaliar o desempenho ambiental da edificação, leva a agregar estes indicadores num único valor definido de índice, para assim, facilitar sua compreensão e gerenciamento. Para desenvolver o índice, processos sistemáticos de atribuição de pesos relativos, escalas de agregação de variáveis em um resultado único devem ser empregados. Verificou-se que com a lógica *fuzzy* consegue-se tratar a subjetividade e a incerteza dos possíveis conflitos ambientais negativos que podem ser gerados no processo construtivo. Esta subjetividade e incerteza podem ser tratadas tanto por processos estatísticos quanto por pesquisas com especialistas ou de campo. Observa-se que, ainda que o número de variáveis seja elevado podem-se utilizar técnicas como a *neuro-fuzzy* para o tratamento desses dados. O tratamento dos possíveis indicadores ambientais que podem ser gerados na obtenção do ISC necessita de um procedimento semelhante para os diversos sistemas certificadores, sem o qual esta

avaliação tornar-se-ia inviável. Desta forma, no próximo capítulo, desenvolve-se o modelo responsável por essa uniformização.

### 3.2 Modelagem

As atividades desenvolvidas na construção civil provocam diversos impactos ambientais negativos. Assim, há a necessidade de acompanhar e controlar essas atividades mensurando alguns parâmetros representativos da qualidade do meio ambiente, conhecidos como indicadores ambientais, posteriormente integrados num único valor chamado de índice.

Dada a subjetividade e a nebulosidade dos problemas ambientais, os especialistas ou tomadores de decisão (*stakeholders*) para avaliação dos mesmos, geralmente veem o desempenho ambiental em termos de variáveis linguísticas (Muito Alto, Alto, Baixo, Muito Baixo). Desta forma, os indicadores para o cálculo do Índice são avaliados ou medidos muitos em termos qualitativos e alguns quantitativamente, precisando-se de uma ferramenta que permita a associação destes indicadores convergindo a um único parâmetro de avaliação.

A lógica *fuzzy* permite tratar simultaneamente parâmetros quantitativos e qualitativos, isto é, permite tratar os indicadores dos diversos aspectos ambientais que podem ser afetados em todo âmbito, em particular às etapas que tangem a implementação de uma obra.

Neste capítulo será apresentado o procedimento proposto à obtenção do Índice de Sustentabilidade da Construção considerando-se atributos referentes às fases da construção. As etapas a serem desenvolvidas durante a estruturação do modelo são:

1. Caracterização dos parâmetros de avaliação da sustentabilidade;
2. Determinação dos parâmetros considerados à seleção dos indicadores e das variáveis de entrada;
3. Estruturação do modelo *Neuro-Fuzzy*;
4. *Fuzzyficação*;
5. Inferência *Fuzzy*;
6. *Defuzzyficação*;
7. Obtenção do Índice de Sustentabilidade da Construção (ISC).

Na Figura 3.21 apresenta-se o diagrama do modelo proposto.

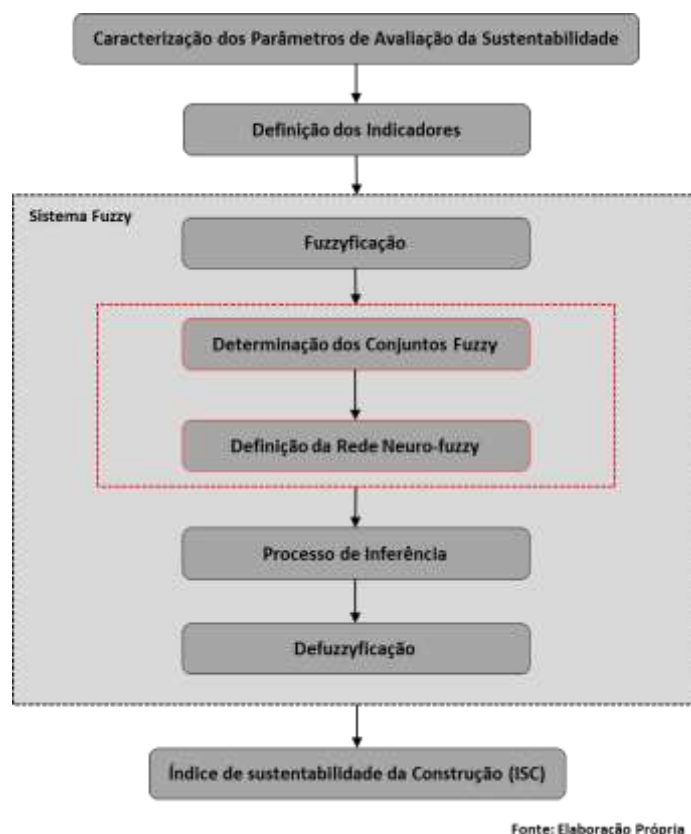


Figura 3.21: Estrutura da modelagem proposta.

### 3.2.1 Caracterização dos Parâmetros de Avaliação da Sustentabilidade

Como já se referiu anteriormente, a sustentabilidade é uma questão relativa, que deve ser avaliada comparativa e relativamente à prática corrente, a solução de referência, num determinado país ou local. Deste modo, é possível verificar se, ao nível de cada parâmetro analisado, a solução em estudo é melhor ou pior do que a solução de referência. O patamar mínimo de sustentabilidade deve corresponder, numa primeira fase, à solução com melhor procedimento já empregada, devendo ser ajustado ao longo do tempo em função do desenvolvimento tecnológico. A solução mais sustentável depende daquilo que o limite tecnológico pode proporcionar em cada momento.

A avaliação da sustentabilidade é realizada de uma forma holística, sendo de todo impossível considerar na avaliação todos os parâmetros que exprimem o comportamento de uma solução ao nível das três vertentes do desenvolvimento sustentável: ambiental, social e económica.

Estas três vertentes, de acordo com a proposta dessa dissertação, dividem-se em fatores de avaliação. Na vertente ambiental os fatores constituintes são: sítio sustentável, gestão ambiental, gestão de recursos e planejamento e projeto. A vertente social contempla o fator de avaliação e gestão social e por fim a vertente econômica, que abrange o fator de gestão e soluções econômicas. Aumentando o grau de discretização<sup>4</sup>, tem-se associado a cada fator, áreas de avaliação, parâmetros e critérios de avaliação específicos.

A definição dos parâmetros depende dos objetivos da avaliação, das características próprias das soluções construtivas, das exigências funcionais que se almeje satisfeitas, das características particulares do local e dos dados disponíveis.

A cada vertente do sistema estão associados fatores de avaliação distintos; assim sendo, temos:

- ✓ Fatores de avaliação ambiental: sítio sustentável, gestão ambiental, gestão de recursos e planejamento e projeto;
- ✓ Fator de avaliação social: avaliação e gestão social;
- ✓ Fator de avaliação econômica: gestão e soluções econômicas.

### **3.2.1.1 Fatores de Avaliação**

Particionando as vertentes do desenvolvimento sustentável, tem-se os fatores específicos de avaliação, sendo que estes fatores podem-se relacionar para diferentes dimensões.

Na vertente ambiental fazem parte os fatores de avaliação, sítio sustentável, gestão ambiental, gestão de recursos e planejamento e projeto.

O sítio sustentável abrange a fase de planejamento e construção, analisando o exterior da edificação e o local onde esta será implantada.

---

<sup>4</sup>Dividir ou particionar um todo em partes com menor complexidade, com a finalidade de facilitar cálculos. Na área de estatística e matemática o termo é utilizado para expressar a individualização (discretização) de uma unidade contínua em unidades individuais (discretas).

O fator da gestão ambiental associa o interior e exterior da edificação nas fases de planejamento, construção e uso/operação. Através da análise deste fator podemos ter uma noção da ligação entre o edifício e a área circundante, bem como a influência que este tem para o local da sua implantação.

A gestão de recursos é o fator mais importante deste sistema, abrangendo as fases de planejamento, construção e uso/operação. Este fator, através das medidas tomadas, interliga os fatores de conforto, sítio sustentável e gestão de recursos.

Por fim, temos a avaliação do planejamento e projeto. Este fator interliga todos os outros da vertente ambiental, nas diversas fases, sendo que se os fatores anteriormente referidos tiverem uma boa ponderação, este reforça as medidas anteriormente tomadas.

Na vertente social, tem-se o fator gestão social, que interliga a edificação com o meio social circundante. Este fator torna-se fundamental para que os próprios ocupantes possam usufruir de certos aspectos relacionados com as suas vivências socioeconômicas e na ligação destes com a sociedade, de modo a ter um dia-a-dia cada vez mais sustentável e amenizado.

A vertente econômica contempla o fator de avaliação da gestão e de soluções econômicas, abrangendo toda as medidas tomadas anteriormente aplicadas para cada fator das outras duas vertentes estudadas. Desta forma, a avaliação da gestão e de soluções econômicas funciona como um resultado a nível econômico dos outros fatores, podendo demonstrar os custos/benefícios das medidas anteriormente estudadas, refletindo o aditamento da sua utilização no processo de construção.

### **3.2.1.2 Áreas de Avaliação**

Para cada fator do sistema tem-se uma área de avaliação associada, de modo a particularizar a avaliação feita.

Na área de ambiente externo, podemos ter presentes as fases de planejamento e construção, com medidas tomadas em ambas as fases, que influenciam não só a própria área como as outras áreas adjacentes.

Na integração local, tem-se presente as fases de planejamento, construção e uso/operação da construção, sendo esta uma área fundamental na vertente ambiental.

A área de avaliação cargas ambientais funciona como sendo um controle das medidas anteriormente tomadas para o ambiente. A área de gestão e controle da edificação abrange essencialmente as fases de planejamento e construção, sendo esta área essencial para a gestão e controle do processo construtivo, no que diz respeito aos conteúdos e métodos utilizados na construção.

A água, energia e materiais, são as áreas de avaliação mais importantes e relevantes. Associadas ao fator de avaliação e de gestão de recursos, estas contemplam todas as medidas implementadas no processo construtivo.

A área de avaliação ambiente interno abrange as fases de planejamento e construção, com medidas que podem ser tomadas no planejamento para serem aplicadas na fase de construção para que na fase de uso/operação os ocupantes possam usufruir de um espaço interior mais saudável.

No âmbito da avaliação dos aspectos socioeconômicos e políticos, são tratados assuntos relacionados à relação entre a localização da edificação e o contorno social, habitacional e econômico.

Por fim nas áreas de construção, uso/operação e sociedade, são abrangidos os custos/benefícios que todas as áreas de avaliação acima referidas incorporam nas várias vertentes. Conclui-se assim qualitativamente, se as medidas tomadas para cada área serão ou não vantajosas quer a nível ambiental, social e econômico, demonstrando que é possível através da associação das várias áreas, obter-se um bom nível de desempenho sem um custo elevado.

### **3.2.1.3 Parâmetros e Critérios de Avaliação**

Concluindo a discretização, temos associado a cada área de avaliação vários parâmetros e critérios de avaliação, de aplicabilidade à modelagem proposta, sendo analisados os mais relevantes, aplicados por organismos internacionais e nacionais de acreditação de uma obra quanto a sua sustentabilidade.

Na formulação e adequação dos parâmetros e critérios (novos ou existentes) teve-se em consideração as vertentes, fatores e áreas de avaliação estudadas. Desta forma, as várias tipologias de utilização de edificações podem ser analisadas dentro das condicionantes da localidade do empreendimento.

Assim sendo, importa evidenciar quais os parâmetros e critérios de cada área de avaliação, realçando a finalidade de cada um deles dentro do contexto da avaliação da construção (Quadro 3.2).

Assim, através de uma abordagem integrada a todas as fases que constituem o ciclo de vida de uma construção, esta modelagem aborda os parâmetros de sustentabilidade em cada uma destas etapas, como evidenciado precedentemente.

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 agreguem qualidade e valoração à sustentabilidade da construção.

Todos os organismos certificadores da construção 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 eficiente 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.

Quadro 3.2: Vertentes, fatores, áreas e parâmetros de avaliação da sustentabilidade na construção.

VERTENTE	FATOR DE AVALIAÇÃO	ÁREA DE AVALIAÇÃO	PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO	
A M B I E N T A L	Sítio Sustentável	Ambiente Externo	Qualidade do ar exterior Área construída x Espaços verdes Ocupação do solo	
		Integração Local	Paisagismo e patrimônio Ecologia local transporte	
	Gestão Ambiental	Ambiente Interno		Conforto Acústico Conforto higrotérmico e térmico Conforto visual e de iluminação Qualidade do ar e da ventilação interior Qualidade da água Controle de fontes poluentes
			Cargas Ambientais	Controle e tratamento de efluentes Controle e tratamento de emissões atmosféricas Controle e tratamento ilumino-térmica Impactos na vizinhança e espaços externos Impactos à ecologia local
		Gestão e Controle da Construção		Segregação, reciclagem e reutilização de materiais Resíduos de construção e demolição Sistemas de refrigeração
				Conservação e eficiência da água Aproveitamento de águas Eficiência dos sistemas prediais
	Gestão de Recursos	Água		Conservação da energia Energia renovável
		Energia		Materiais Materiais de baixo impacto Prioridade local
		Materiais		Inovação e processo de projeto / design Soluções tecnológicas inovadoras (reduzir consumo de energia) Adaptabilidade, durabilidade e flexibilidade Planejamento da construção e da operação da edificação
	Planejamento e Projeto	Inovação		
		Planejamento		

Fonte: Elaboração Própria

Quadro 3.2: Vertentes, fatores, áreas e parâmetros de avaliação da sustentabilidade na construção (continuação).

VERTENTE	FATOR DE AVALIAÇÃO	ÁREA DE AVALIAÇÃO	PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO
S O C I A L	Avaliação e Gestão Social	Aspectos Socioeconômicos e Políticos	Bem-estar e interação social Acessibilidade Participação e controle Custos no ciclo de vida Diversidade econômica local Igualdade e inclusão social Segurança

Fonte: Elaboração Própria



Quadro 3.2: Vertentes, fatores, áreas e parâmetros de avaliação da sustentabilidade na construção (continuação).

VERTENTE	FATOR DE AVALIAÇÃO	ÁREA DE AVALIAÇÃO	PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO
E C O N Ô M I C A	Gestão e Soluções Econômicas	<b>Construção</b>	Qualidade do ar exterior
			Área construída x Espaços verdes
			Ocupação do solo
			Paisagismo e patrimônio
			Ecologia local
			transporte
			Controle e tratamento de efluentes
			Controle e tratamento de emissões atmosféricas
			Controle e tratamento ilumino-térmica
			Impacto na ecologia local
			Impacto à ecologia local
			Segregação, reciclagem e reutilização de materiais
			Resíduos de construção e demolição
			Sistemas de refrigeração
			Conservação e eficiência da água
			Aproveitamento de águas
			Eficiência dos sistemas prediais
			Conservação da energia
			Energia renovável
			Materiais
		Materiais de baixo impacto	
		Prioridade local	
		Conforto Acústico	
		Conforto higrotérmico e térmico	
		Conforto visual e de iluminação	
		Qualidade do ar e da ventilação interior	
		Qualidade da água	
		Controle de fontes poluentes	
		Inovação e processo de projeto / design	
		Soluções tecnológicas inovadoras (reduzir consumo de energia)	
		Adaptabilidade, durabilidade e flexibilidade	
		Planejamento da construção e da operação da edificação	
		<b>Uso / Operação</b>	Conforto higrotérmico e térmico
			Conforto visual e de iluminação
			Qualidade do ar e da ventilação interior
			Qualidade da água
Controle de fontes poluentes			
Qualidade do ar exterior			
Área construída x Espaços verdes			
Ecologia local			
Emissões atmosféricas			
Controle dos resíduos de uso da edificação			
Sistemas de refrigeração			
Conservação e eficiência da água			
Eficiência dos sistemas prediais			
Conservação da energia			
<b>Sociedade</b>	Inovação e processo de projeto / design		
	Igualdade e inclusão social		
	Custos no ciclo de vida		
	Diversidade econômica local		
	Participação e controle		
Segurança			

Fonte: Elaboração Própria

### **3.2.2 Definição dos Indicadores e Variáveis de Entrada**

Com as informações obtidas precedentemente obtém-se as variáveis de entrada que ao serem agregadas ou combinadas traduzem os indicadores de diversas naturezas (qualitativos ou quantitativos) e unidades indispensáveis para o controle da degradação ambiental possível de ser gerada nas vertentes do desenvolvimento sustentável, às etapas que envolvem uma construção. Cada uma das variáveis de entrada deve ser caracterizada e apresentar valores numéricos ou linguísticos definidos.

Assim, procurou-se definir ou sugerir indicadores suficientemente gerais para poder ser utilizados segundo as variantes nos dados de caracterização, não sendo uma lista particular de indicadores, de modo que se necessário podem-se incluir, novos indicadores pertinentes ou excluir aqueles que não se aplicam ao caso.

As variáveis foram agrupadas em indicadores de acordo com as hierarquias, sendo proposto: Indicador Ambiental, Indicador Econômico e Indicador Social. Nas Figuras 3.22, 3.23 e 3.24 são apresentados os diagramas estruturais dos diferentes indicadores.

Ao se definir as variáveis teve-se em consideração o arrazoado nos capítulos 2 e 3 dessa dissertação, onde foram avaliados o desenvolvimento histórico das metodologias de avaliação de construções existentes e aplicadas atualmente, tendo-se a considerar a consensualidade existente entre os métodos aplicados pelos Organismos Internacionais de certificação da Construção. Através da síntese das áreas e parâmetros de avaliação da sustentabilidade e das respectivas ponderações atribuídas por parte dos sistemas de avaliação, podemos efetuar dois tipos de observações:

1. Qual o sistema mais abrangente em termos de áreas de avaliação e o que abrange mais parâmetros na sua avaliação, neste sentido todos os métodos de avaliação existentes cobrem todos os campos potenciais de aplicação;
2. As ponderações atribuídas a cada área e a cada parâmetro de avaliação tem o objetivo de criar e estipular uma ponderação mais criteriosa e qualitativa para o desenvolvido do modelo à que venha a abranger todas as variáveis possíveis no âmbito da sustentabilidade na construção.

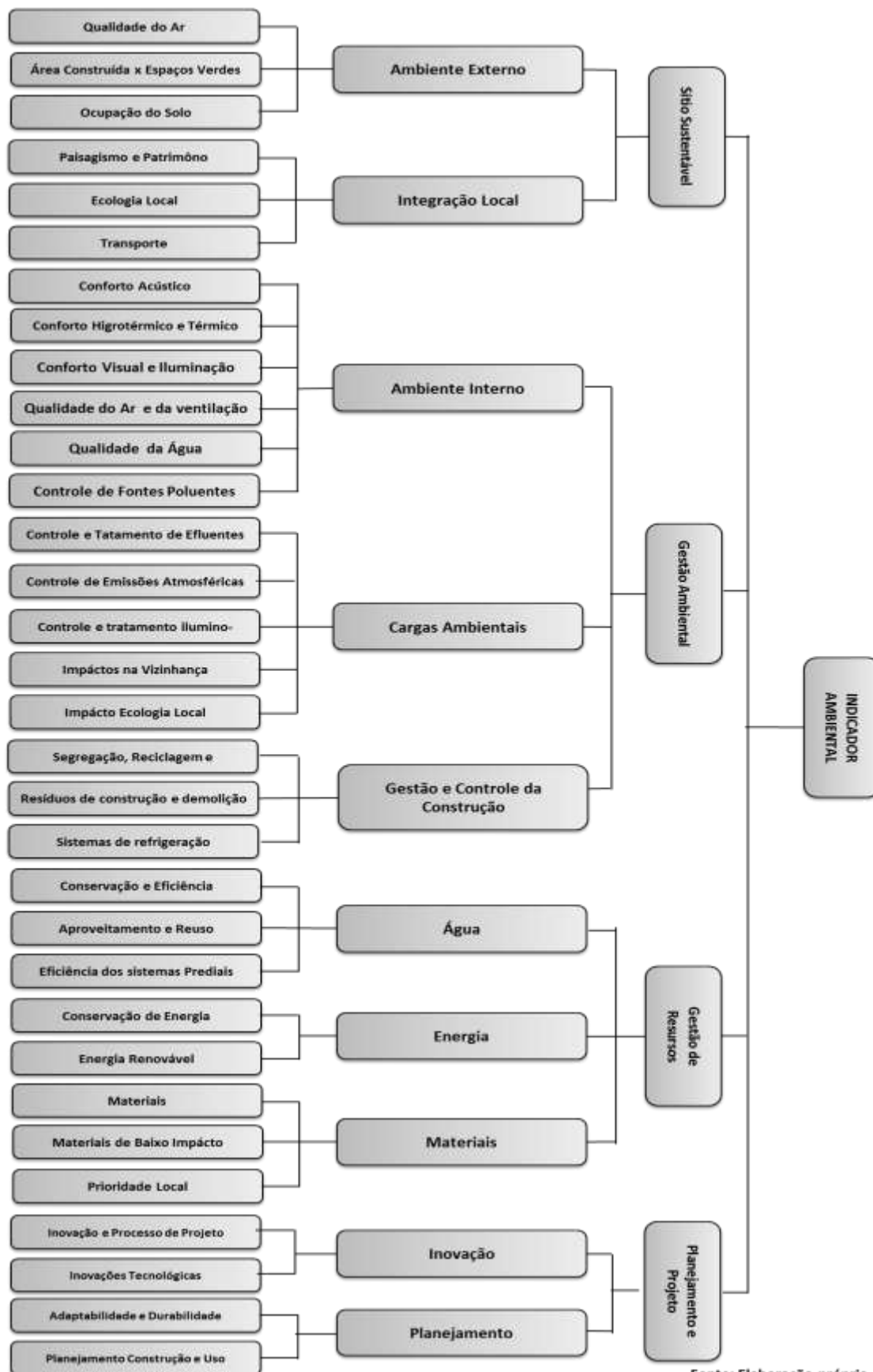
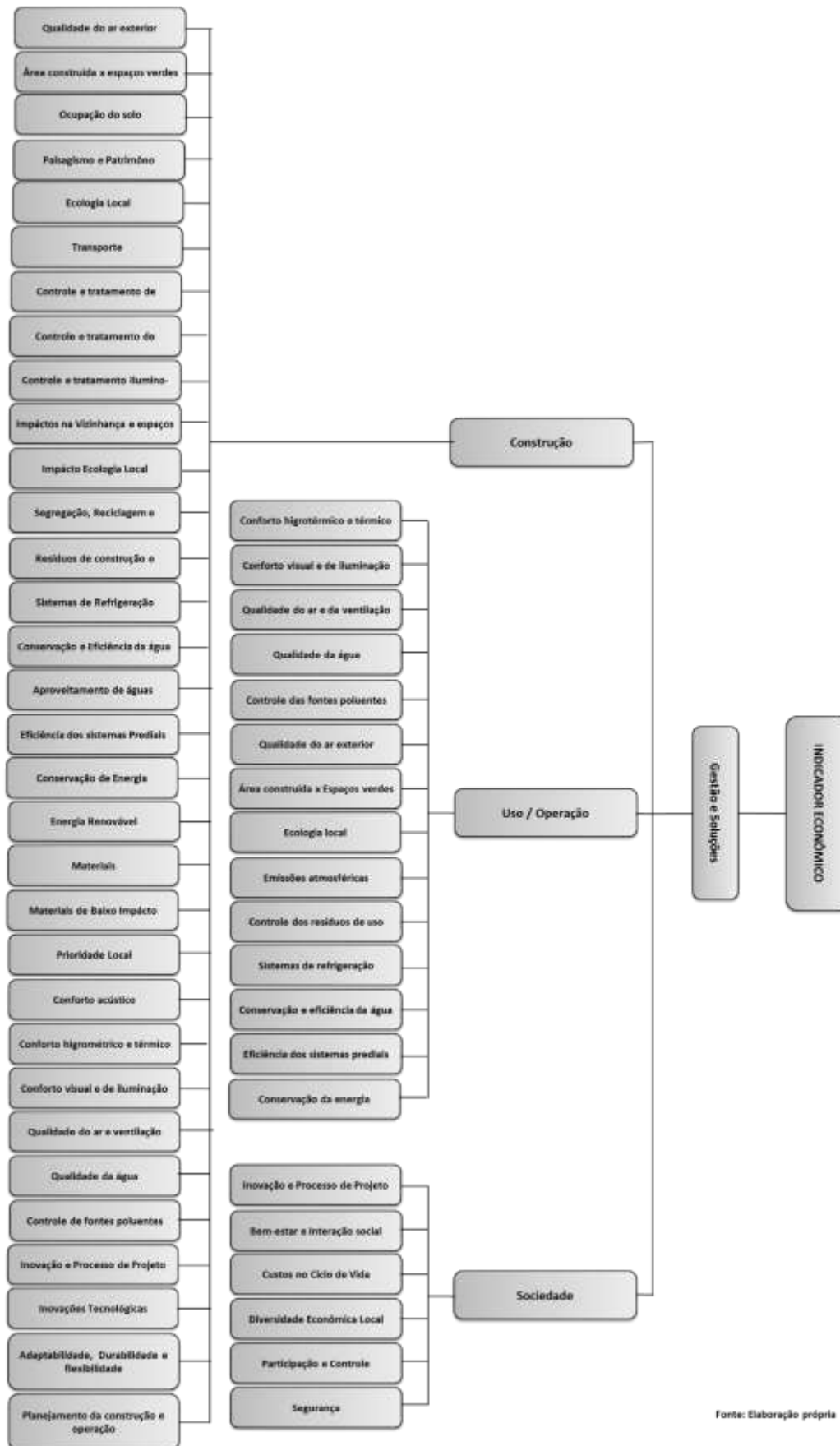
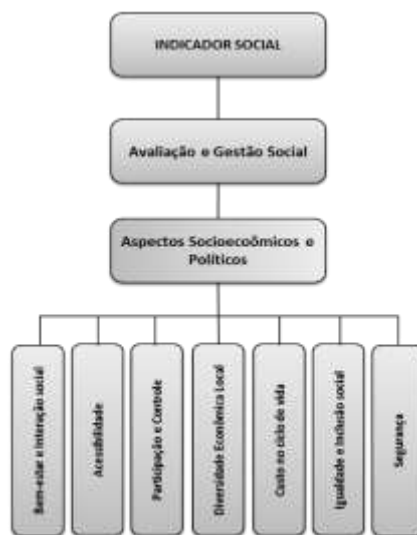


Figura 3.22: Diagrama estrutural do Indicador Ambiental



Fonte: Elaboração própria

Figura 3.23: Diagrama estrutural do Indicador Econômico.



Fonte: Elaboração própria

Figura 3.24: Diagrama estrutural do Indicador Social.

Como acentuado nos capítulos anteriores, para desenvolver o sistema *fuzzy* devem ser definidas e caracterizadas, inicialmente as variáveis de entrada em função do tipo (qualitativa ou quantitativa), dos termos linguísticos que as representam, assim como determinados os correspondentes valores ou graus de avaliação.

De acordo com GIARRATANO & RILEY (1998), os sistemas especialistas fazem parte da área de interesse da Inteligência Artificial, podendo ser considerado, inclusive, como um ramo desta. Ambos são de opinião que a base de conhecimento é externa ao algoritmo do sistema, e devem ser substituídos por variáveis.

Para ilustrar esta etapa, na Tabela 3.2b apresenta-se um exemplo de variáveis de entrada baseado nos diagramas estruturais dos indicadores apresentados. Os graus e termos linguísticos atribuídos às variáveis devem ser aferidos pelos especialistas - *stakeholders*, dentro de suas especificidades, indispensáveis ao desenvolvimento do empreendimento (Tabela 3.2a). Para o desdobramento da modelagem, de forma hipotética, as variáveis receberam um tratamento de abordagem qualitativa nesta etapa.

Tabela 3.2a: Identificação das variáveis de entrada.

Variável Linguística de Entrada	Termos Linguísticos	Unid.	Universo de Discurso	Valores Notáveis		
				Inferior	Máximo	Superior
VE 01 à 39	Não Atendido (NA)	Grau	0 - 100%	0	0	30
	Parcialmente Atendido (PA)	Grau	0 - 100%	20	50	80
	Totalmente Atendido (TA)	Grau	0 - 100%	70	100	100

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 3.2b: Identificação das variáveis de entrada.

Ident.	Variável de Entrada	Ident.	Variável de Entrada
VE 01	Qualidade do ar exterior	VE 21	Conservação e eficiência da água
VE 02	Área construída x Espaços verdes	VE 22	Aproveitamento de águas
VE 03	Ocupação do solo	VE 23	Eficiência dos sistemas prediais
VE 04	Paisagismo e patrimônio	VE 24	Conservação da energia
VE 05	Ecologia local	VE 25	Energia renovável
VE 06	transporte	VE 26	Materiais
VE 07	Conforto Acústico	VE 27	Materiais de baixo impacto
VE 08	Conforto higrotérmico e térmico	VE 28	Prioridade local
VE 09	Conforto visual e de iluminação	VE 29	Inovação e processo de projeto / design
VE 10	Qualidade do ar e da ventilação interior	VE 30	Soluções tecnológicas inovadoras (reduzir consumo de energia)
VE 11	Qualidade da água	VE 31	Adaptabilidade, durabilidade e flexibilidade
VE 12	Controle de fontes poluentes	VE 32	Planejamento da construção e da operação da edificação
VE 13	Controle e tratamento de efluentes	VE 33	Bem-estar e interação social
VE 14	Controle e tratamento de emissões atmosféricas	VE 34	Acessibilidade
VE 15	Controle e tratamento ilumino-térmica	VE 35	Participação e controle
VE 16	Impactos na vizinhança e espaços externos	VE 36	Custos no ciclo de vida
VE 17	Impactos à ecologia local	VE 37	Diversidade econômica local
VE 18	Segregação, reciclagem e reutilização de materiais	VE 38	Igualdade e inclusão social
VE 19	Resíduos de construção e demolição	VE 39	Segurança
VE 20	Sistemas de refrigeração		

Fonte: Elaboração Própria

Os termos linguísticos utilizados:

- Não Atendido: critérios referentes a variável não foram satisfeitos, ou sem possibilidade de atendimento;
- Parcialmente Atendido: critérios exigidos à variável foram atendidos de forma parcial, contemplando créditos parciais, ou tendo possibilidade de atendimento pleno; e
- Totalmente Atendido: critérios exigidos à variável foram plenamente satisfeitos em sua totalidade.

Nas seções seguintes serão descritas as variáveis propostas para o modelo, reunidas de acordo com as condicionantes do desenvolvimento sustentável:

- Variáveis referentes às características ambientais;
- Variáveis referentes às características sociais; e
- Variáveis referentes às características econômicas.

### 3.2.2.1 Atributos Referentes a Dimensão Ambiental

A dimensão ambiental refere-se aos impactos do arranjo nos sistemas naturais, incluindo ecossistemas, solos, ar e água. Os indicadores ambientais abrangem o desempenho relacionado ao consumo de matérias-primas, uso do solo, energia e água, bem como a emissões atmosféricas, o lançamento de efluentes e a disposição de resíduos. (BORBA 2009).

A ocupação do **solo** está relacionada com as consequências que o espaço construído provoca na ecologia local, não apenas pela área ocupada, mas também pela alteração dos processos que a edificação pode ocasionar e no desenvolvimento das atividades a que se destina, que geram alterações ao meio. Além de análise ao tipo de ecologia onde a edificação será implantada permite a gestão da mesma com recurso a medidas que mantenham e reforcem a ecologia existente, caso esta tenha sido afetada no decorrer da construção.

A **água** é um dos recursos essenciais à humanidade, e de maior complexidade o seu controle, sendo fundamental a adoção de técnicas e práticas que possibilitem a sua conservação e aproveitamento. Sendo seus principais atributos de avaliação a sua conservação e eficiência no uso, no aproveitamento de águas servidas e de precipitações, dos sistemas e instalações incorporados à edificação.

A **energia** é um recurso imprescindível à vida no planeta, necessária a mobilidade, a comunicação, a iluminação, ao conforto térmico, ao crescimento econômico e ao desenvolvimento sustentável. O consumo de combustíveis fósseis nas construções representa, aproximadamente, a metade de toda energia consumida no planeta, pois a relação está entre o consumo e as emissões de CO<sub>2</sub>. Neste sentido são atributos: a conservação, o controle e a eficiência no consumo, na utilização de materiais de elevado potencial de reutilização e/ou durabilidade, na aplicação de fontes renováveis (hídrica, biomassa, eólica, solar, geotérmica e energia das marés) possibilitando ser autossuficiente, diminuindo o uso de energia fóssil e conseqüentemente os impactos ambientais.

O uso de **materiais** está relacionado com a fase construtiva. Este critério diz respeito à possível reutilização de materiais que possam existir na área de construção quer

ao nível do material em si (madeira, ferragens, resíduos de pavimentação) quer ao nível dos elementos estruturais (lajes, pilares, vigas, cobertura, paredes estruturais) existentes e que possuam durabilidade e resistência suficientes para serem reutilizados durante o ciclo de vida da construção; na utilização de materiais de baixo impacto na construção, reciclados e com baixo impacto no ambiente; de materiais produzidos a menos de 100 km do local da construção, que além de reduzir os impactos ambientais associados ao transporte, também impulsiona o desenvolvimento econômico do local.

A formulação do modelo teve como ponto de partida o conceito de desenvolvimento sustentável e conforme JACOBI (1999) opina que um dos aspectos mais complexos na atualidade se refere em como estabelecer parâmetros para a participação da sociedade na busca de soluções racionais para a gestão de **resíduos**. Durante a fase de construção e de uso/operação é que estes são produzidos em quantidade, e torna-se fundamental, no âmbito da sustentabilidade ambiental, saber o que fazer com eles. Neste sentido, os resíduos que não recicláveis e aplicados na própria construção, devem ser criteriosamente armazenados em locais específicos tendo sempre em consideração o impacto que possam ter no ambiente.

O parâmetro das **emissões atmosféricas** tem como finalidade o controle das emissões em nível de gases para o ambiente, fixando as metas e princípios estabelecidos, de modo a proteger o recurso natural (ar) evitando níveis de poluição atmosférica elevados, como: das emissões de substâncias acidificantes (emissão de SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>) provenientes de trabalhos de construção; de CO<sub>2</sub>, provenientes da energia primária não renovável utilizada na extração, fabricação e transporte de materiais utilizados na construção; da adequação do planejamento da obra ao projeto, prazo e consumos previstos, de modo a reduzir a quantidade de emissões de CO<sub>2</sub>, provenientes da energia usada nas operações de construção.

O controle de **efluentes**, é indispensável para o ambiente, estando relacionado com as emissões de afluentes líquidos associados a construção e às atividades que lhes estão associadas. Neste sentido são anunciados os seguintes critérios de avaliação: Tratamento das águas residuais: litros de água residuais por pessoa /dia que são enviadas para estações de tratamento por pessoa; verificação da existência de sistemas de tratamento local de águas residuais com recurso a novas tecnologias. Na Figura 3.25 apresenta-se um exemplo do diagrama estrutural do indicador ambiental.



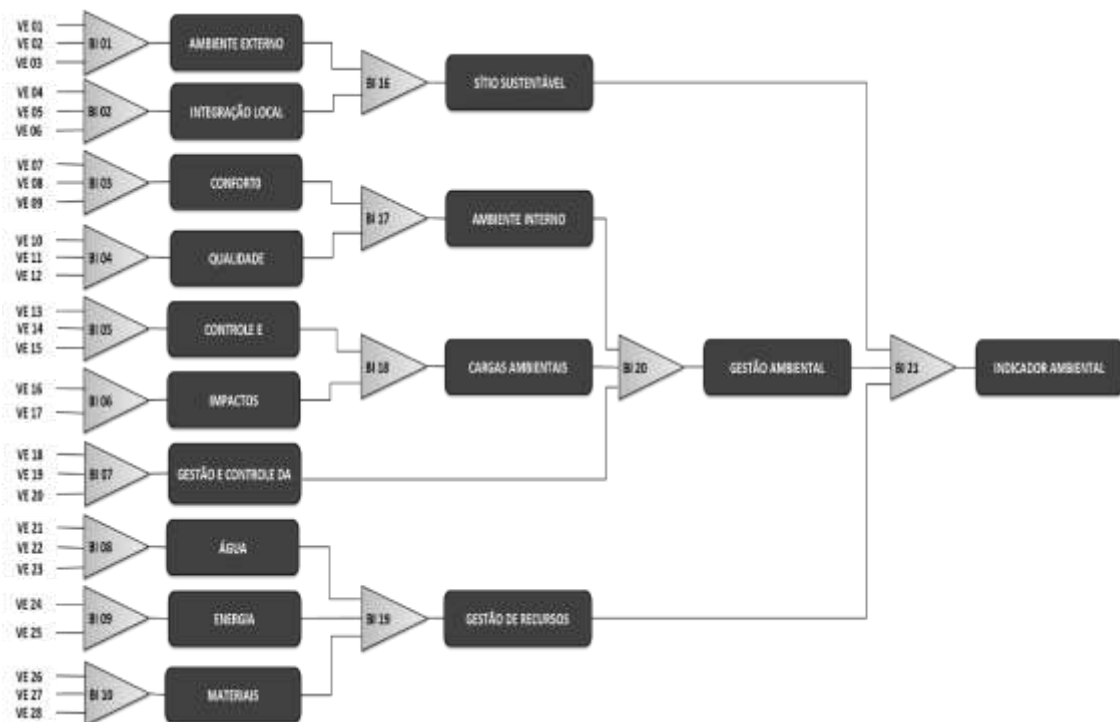


Figura 3.25: Diagrama estrutural do Indicador Ambiental (Fonte: Elaboração Própria).

### 3.2.2.2 Atributos Referentes a Dimensão Social

A introdução da dimensão social tem como finalidade englobar todos os aspectos sociais e políticos que advêm do processo de sustentabilidade. Deste modo, pode-se garantir a viabilidade do processo não só a nível construtivo mas também num contexto socioeconômico e político, impulsionando a participação proativa da sociedade para globalmente contribuir para uma melhoria da qualidade de vida da população. Esta vertente de avaliação é dimensionada por: aspectos socioeconômicos e políticos. Nas sociedades atuais, os aspectos socioeconômicos e políticos têm cada vez mais relevância e como tal torna-se fundamental englobar esta área de avaliação no processo de sustentabilidade. Estão associados os seguintes parâmetros de avaliação: bem-estar e interação social, acessibilidade, custos no ciclo de vida, diversidade econômica local, participação e controle, igualdade e inclusão social e segurança.

O **bem-estar e a interação social** é um aspecto preponderante para promover a interligação da sociedade através de locais, serviços e infraestruturas que possibilitam a concentração de pessoas das mais diversas áreas funcionais, classes sociais e etnias de modo a interagirem entre si.

A **acessibilidade** é um parâmetro que permite que os acessos a edificação sejam dimensionados considerando as pessoas com necessidades especiais de locomoção, diminuindo as possíveis barreiras que muitas vezes condicionam a acessibilidade deste tipo de pessoas.

Os **custos no ciclo de vida** da construção podem ser mitigados com um bom planejamento, utilizando materiais certificados e duráveis. Esta área é extremamente importante e determinante para o sucesso e a viabilidade de uma construção perante a sociedade. Um dos grandes objetivos da construção sustentável, é a construção de edificações com baixo impacto para o ambiente mantendo uma confiabilidade elevada ao longo do seu ciclo de vida, sem necessitar de grandes manutenções.

A **diversidade econômica local** promove o desenvolvimento da sociedade a nível econômico, social e ambiental. Na vertente ambiental este aspecto pode ser determinante para diminuir o deslocamento das pessoas da sua área de residência para outros locais, quer ao nível da procura de serviços, quer ao nível de postos de trabalho, diminuindo desta forma o impacto ambiental associado ao deslocamento. Uma concentração das pessoas no entorno, promove o desenvolvimento econômico das várias atividades e serviços, contribuindo também para uma interação social entre os habitantes.

O parâmetro de **participação e controle** pretende que os utilizadores tenham uma participação e controle mais ativo dos aspectos relacionados com a edificação, impulsionando o conhecimento mais abrangente da sua ocupação.

Em uma sociedade cada vez mais marcada pela diferença e pelas desigualdades a nível econômico e social, torna-se fundamental sensibilizar as pessoas para este tipo de problemas que afetam o seu dia-a-dia, promovendo medidas de ligação entre vários padrões sociais, promovendo a **igualdade e inclusão social**.

A **segurança** é um aspecto fundamental na estruturação e planejamento de uma edificação, contribuindo diretamente para o bem-estar dos seus utilizadores. Este parâmetro não está apenas relacionado com o exterior do edifício, mas também com o interior. Na Figura 3.26 apresenta-se um exemplo do diagrama estrutural do indicador onde se insere todos os atributos referentes a vertente social engajadas no planejamento e projeto.



Figura 3.26: Diagrama estrutural do Indicador Planejamento e Projeto (Fonte: Elaboração Própria).

### 3.2.2.3 Atributos Referentes à Dimensão Econômica

Este parâmetro de avaliação, gestão de custos e soluções econômicas, deriva da vertente econômica associada ao desenvolvimento sustentável. A **gestão de custos** está internamente associada à tomada de decisões e soluções econômicas definidas desde a fase de projeto até à fase de utilização/operação da edificação. Através da aplicação correta de soluções inovadoras no projeto é possível obter um retorno financeiro a curto, médio e longo prazo.

Este fator de avaliação é desenvolvido fazendo uma análise global dos outros fatores, das áreas associadas a este parâmetro: construção, uso e habitação e sociedade, verificando a viabilidade das soluções implementadas. Na Figura 3.27 apresenta-se um exemplo do diagrama estrutural do indicador socioeconômico e político.



Figura 3.27: Diagrama estrutural do Indicador Socioeconômico e Político (Fonte: Elaboração Própria).

### 3.2.3 Fuzzyficação

Caracterizadas as variáveis de entrada, tomam-se os parâmetros quantitativos e qualitativos dando início ao processo de *fuzzyficação*, ou seja, a determinação dos conjuntos *fuzzy* para cada variável de entrada, intermediária e de saída.

O modelo proposto possibilita o tratamento das variáveis quantitativas e qualitativas listadas na seção anterior. Considerando-se as variáveis quantitativas, os valores exatos, obtidos por meio de pesquisa - *survey*, projeções ou estimativas.

Posteriormente convertidas em expressões linguísticas (não atendido, parcialmente atendido, totalmente atendido, dentre outras) com seus respectivos graus de pertinência, utilizando-se os conjuntos *fuzzy* para essa transformação. As variáveis qualitativas pela própria natureza já são expressas linguisticamente. Na Tabela 3.3 são apresentadas as variáveis de entrada identificadas a partir dos diagramas estruturais dos indicadores apresentados na seção anterior 3.2.2.

Tabela 3.3: Variáveis de entrada e suas características.

Ident.	Variável de Entrada *	Tipo**	Termo Linguístico		
VE 01	Qualidade do ar exterior	Quantitativa/Qualitativa	NA	PA	TA
VE 02	Área construída x Espaços verdes	Quantitativa/Qualitativa	NA	PA	TA
⋮	...	...	...	...	...
VE 39	Segurança	Quantitativa/Qualitativa	NA	PA	TA
<b>* Conforme Tabelas 3.2a e 3.2b: Identificação das variáveis de entrada.</b>					
<b>** Para o incremento da modelagem, de forma hipotética, as variáveis receberam um tratamento de abordagem qualitativa nesta etapa.</b>					
<b>Fonte: Elaboração Própria</b>					

### 3.2.3.1 Definição dos Conjuntos *Fuzzy*

Segundo COX (1994) a definição dos conjuntos *fuzzy* é a parte mais crítica na construção de um sistema *fuzzy*, pois determina a correspondência entre as variáveis de entrada e os seus conceitos linguísticos correspondentes. Porém, experimentalmente já foi comprovado que sistemas *fuzzy* têm um bom desempenho, mesmo quando as formas de seus conjuntos não se encontram precisamente desenhados.

A partir desta fase obtém-se o grau de pertinência com que cada entrada pertence a cada conjunto *fuzzy*. Cada uma dessas entradas é previamente limitada no universo de discurso que lhe é próprio, e associadas a um grau de pertinência em cada conjunto *fuzzy* através do conhecimento do especialista.

As variáveis de entrada serão representadas como variáveis linguísticas, conforme exemplificado no gráfico da Figura 3.28, para a variável “Conservação de Energia (VE 24)”, sendo definidos conjuntos *fuzzy* para as variáveis, que apresentam sempre três níveis de termos linguísticos: um inferior (não atendido - NA), um intermediário e/ou máximo (parcialmente atendido - PA) e um superior (totalmente atendido - TA).

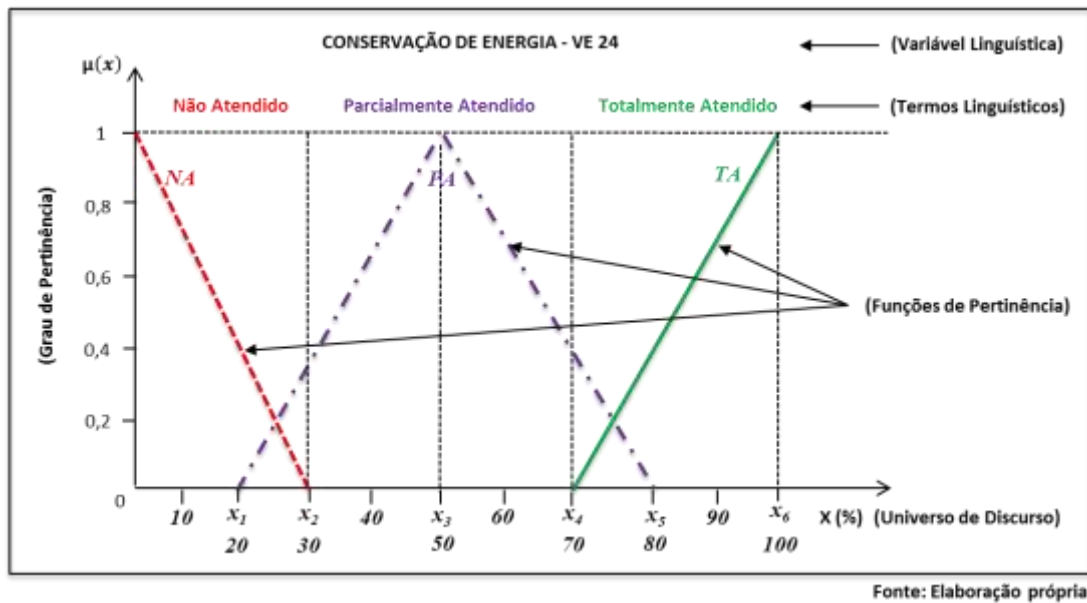


Figura 3.28: Funções de pertinência da variável linguística Conservação de Energia - VE24.

SHAW *et al* (1999) mencionam que as funções de pertinência e seus vetores devem ser obtidos baseando-se na experiência do especialista e na natureza do processo que se pretenda controlar, que o número de funções varie entre dois e sete, pois, quanto maior melhor será a precisão do resultado, em sendo menor melhora-se a demanda computacional e a compreensão por parte do especialista.

Cada variável é representada por vetores linguísticos, que fundamentado nas suas funções de pertinência, são processados pelos antecedentes das regras *fuzzy*. Utilizando-se os atributos já destacados na seção 3.2.2, estes devem ser modelados, transformados em variáveis de entrada do modelo. Neste ajuste destacam-se as funções de pertinência de forma triangular para cada vetor linguístico, aqui representadas pelas integrais *fuzzy* empregadas na etapa de *fuzzyficação* (Tabela 3.4), sendo dado a cada termo linguístico uma a abordagem qualitativa e/ou quantitativa, conforme a especificidade da variável de entrada.

Depois de caracterizadas as variáveis de entrada, tomam-se os parâmetros quantitativos e/ou qualitativos e inicia-se assim, a *fuzzyficação* ou seja, a determinação dos conjuntos *fuzzy* para cada variável de entrada, intermediária e de saída.

Tabela 3.4: Cálculo dos graus de pertinência dos vetores de entrada, típico às 39 variáveis de entrada.

Variável de Entrada		
Termo Linguístico	Função	Integral Fuzzy
Não Atendido (NA)	$\mu(x_{NA}) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \frac{x_2 - x}{x_2}, & 0 < x \leq x_2 \\ 0, & x \geq x_2 \end{cases}$	$\mu(x_{NA}) = \int_0^{x_2} \frac{x_2 - x}{x_2} / X$
Parcialmente Atendido (PA)	$\mu(x_{PA}) = \begin{cases} 0, & x \leq x_1 \\ \frac{x - x_1}{x_3 - x_1}, & x_1 < x \leq x_3 \\ \frac{x_5 - x}{x_5 - x_3}, & x_3 < x \leq x_5 \\ 0, & x > x_5 \end{cases}$	$\mu(x_{PA}) = \int_{x_1}^{x_3} \frac{x - x_1}{x_3 - x_1} / X + \int_{x_3}^{x_5} \frac{x_5 - x}{x_5 - x_3} / X$
Totalmente Atendido (TA)	$\mu(x_{TA}) = \begin{cases} 0, & x \leq x_4 \\ \frac{x - x_4}{x_6 - x_4}, & x_4 < x \leq x_6 \\ 1, & x > x_6 \end{cases}$	$\mu(x_{TA}) = \int_{x_4}^{x_6} \frac{x - x_4}{x_6 - x_4} / X + \int_{x_6}^{\infty} 1 / X$

Fonte: Elaboração Própria

Nessa etapa se obtém o grau de pertinência com que cada entrada pertence a cada conjunto *fuzzy*. Cada uma dessas entradas foi previamente limitada no universo de discurso em questão e associada a um grau de pertinência em cada conjunto *fuzzy* através do conhecimento do especialista. Então para obter o grau de pertinência de uma determinada entrada *crisp* basta buscar esse valor na base de conhecimento do sistema *fuzzy*.

Para variáveis qualitativas, a *fuzzyficação* é feita da mesma forma como das variáveis quantitativas.

Então o primeiro passo consiste em pegar as entradas e determinar o grau de pertinência delas em relação ao conjunto *fuzzy* apropriado via funções de pertinência.

A entrada é um número limitado ao universo de discurso da variável de entrada. A *fuzzyficação* da entrada consiste em avaliar uma função ou fazer um “*table lookup*” (Tabela 3.4).

Cada regra depende de resolver as entradas em um número de diferentes conjuntos linguísticos *fuzzy*: NA, PA e TA (Figura 3.28). Antes de as regras serem avaliadas, as entradas devem ser *fuzzyficadas* de acordo com cada um destes conjuntos linguísticos.

A Figura 3.29 a seguir mostra o quão a variável de entrada é qualificada, (via sua função pertinência), de acordo com a variável linguística, neste caso, avaliou-se as variáveis VE<sub>24</sub> e VE<sub>25</sub>, com base na Tabela 4.4, respectivamente  $\mu_{VE24}(x=88) = 0.6$  e  $\mu_{VE25}(x=93) = 0.8$ , ambas para a função de pertinência Totalmente Atendido.

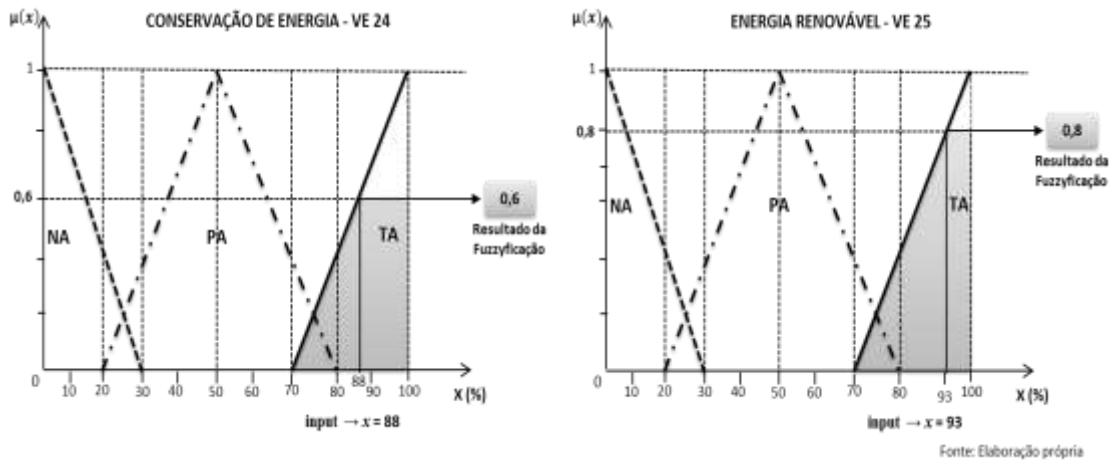


Figura 3.29: *Fuzzyficação* das variáveis de entrada.

Desta maneira, cada entrada é *fuzzyficada* sobre todas as funções pertinências necessárias para aplicar as regras.

Em resumo, com a definição das variáveis de entrada a etapa de *fuzzyficação* dá início ao processo *fuzzy*, com o contributo dos especialistas seguem-se as etapas aplicadas ao modelo através do programa Excel para obtenção das entradas *fuzzyficadas*:

Definem-se as funções de pertinência às entradas, que nesta dissertação foram definidas conforme o gráfico da Figura 3.28, típicas à todas as variáveis, sendo três funções de pertinência triangulares.

São registradas as observações dos especialistas às variáveis de entrada qualitativas/quantitativas, sendo feita uma ponderação destas para cada variável de entrada, embasadas nas funções de pertinência já definidas, que determina o grau de certeza de cada variável, cabe observar que as variáveis de entrada tiveram uma abordagem qualitativa, como já especificado anteriormente.

Feito isto, efetua-se a relação desses graus de certeza atribuídos, com os elementos dos triângulos das funções de pertinência definidos na Tabela 3.5, através do produto da frequência dos graus de certeza pelos elementos do triângulo que definem os termos linguísticos (funções de pertinência) à cada variável e entrada.

Tabela 3.5: Triângulos *fuzzy*.

Triângulo Fuzzy	Unid.	Universo de Discurso	Limites Notáveis		
			Inferior	Máximo	Superior
NA - Não Atendido	Grau	0 - 100%	0	0	30
PA - Parcialmente Atendido	Grau	0 - 100%	20	50	80
TA - Totalmente Atendido	Grau	0 - 100%	70	100	100

Fonte: Elaboração Própria

No passo seguinte é obtido o triângulo médio equivalente aos graus de certeza proferidos pelos especialistas, que representam todas as ponderações dos especialistas envolvidos no empreendimento.

Na tomada de decisão e análise de dados quando se utiliza a teoria *fuzzy* é importante realizar o ranqueamento dos números *fuzzy*. Neste caso, é imprescindível a determinação de um valor *crisp* que represente cada número *fuzzy*. Para ranquear números *fuzzy*, o método que se aplica ao modelo é o de distribuição triangular, obtido através da aplicação da Equação 3.3 (pg. 68). Definidos os limites do triângulo *fuzzy*, aplicada às variáveis de entrada VE<sub>24</sub> e VE<sub>25</sub> (Figura 3.29) são obtidos o universo de discurso e graus de pertinência respectivos (Tabela 3.6).

Tabela 3.6: *Fuzzyficação* das variáveis de entrada.

Fuzzyficação das Entradas de um Neurônio - BI <sub>09</sub>												
Avaliação dos Especialistas				Triângulo Fuzzy			(Avaliação Especialistas x Triângulo Fuzzy)					
							VE <sub>24</sub>			VE <sub>25</sub>		
Nº Especialistas	Termos	VE <sub>24</sub>	VE <sub>25</sub>	Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior
20	NA	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0
	PA	2	0	20	50	80	40	100	160	0	0	0
	TA	18	20	70	100	100	1260	1800	1800	1400	2000	2000
Triângulo Médio Equivalente = (ΣCada Limite)/(Nº Especialistas)							65.0	95.0	98.0	70.0	100.0	100.0
Universo de Discurso das VE = [Inferior+2.(Máximo)+Superior]/4							88%			93%		
Grau de Pertinência $\mu(x) = (x - x_{n-1}) / (x_n - x_{n-1})$ <sup>(1)</sup>							0.6			0.8		

<sup>(1)</sup> Tabela 4.4

Fonte: Elaboração Própria



### 3.2.4 Definição das Variáveis de Saída Intermediárias

As vinte e três variáveis de saída intermediária (VI) apresentadas na Figura 3.30, são caracterizadas como variáveis de entrada dos blocos de inferência das camadas intermediárias da rede *Neuro-Fuzzy*, que gerarão uma variável de saída final (VS) - Índice de Sustentabilidade da Construção (Tabela 3.7).

Tabela 3.7: Termos linguísticos atribuídos às variáveis de saída intermediárias.

Ident.	Descrição	Termos*			Ident.	Descrição	Termos*		
VI 01	Ambiente Externo	NA	PA	TA	VI 13	Sociais	NA	PA	TA
VI 02	Integração Local	NA	PA	TA	VI 14	Econômicas	NA	PA	TA
VI 03	Conforto	NA	PA	TA	VI 15	Políticas	NA	PA	TA
VI 04	Qualidade	NA	PA	TA	VI 16	Sítio Sustentável	NA	PA	TA
VI 05	Controle	NA	PA	TA	VI 17	Ambiente Interno	NA	PA	TA
VI 06	Impactos	NA	PA	TA	VI 18	Cargas Ambientais	NA	PA	TA
VI 07	Gestão e Controle da Construção	NA	PA	TA	VI 19	Gestão de Recursos	NA	PA	TA
VI 08	Água	NA	PA	TA	VI 20	Gestão Ambiental	NA	PA	TA
VI 09	Energia	NA	PA	TA	VI 21	Indicador Ambiental	NA	PA	TA
VI 10	Materiais	NA	PA	TA	VI 22	Planejamento e Projeto	NA	PA	TA
VI 11	Inovação	NA	PA	TA	VI 23	Socioeconômico e Político	NA	PA	TA
VI 12	Planejamento	NA	PA	TA	VS	Índice de Sustentabilidade da Construção	NS	PS	SS

(\*) Termos Linguísticos das Variáveis de Saída Intermediária: NA - Não Atendido; PA - Parcialmente Atendido e TA - Totalmente Atendido.

Termos Linguísticos da Variável de Saída Final: NS - Não Sustentável; PS - Parcialmente Sustentável e SS - Sustentável.

Fonte: Elaboração Própria

### 3.2.5 Estruturação do Modelo *Neuro-Fuzzy* - Arquitetura Neural

Com a finalidade de facilitar a determinação do ISC elaborara-se uma arquitetura de rede fundamentada no modelo de neurônio MCP, proposto por McCULLOCH e PITTS, que irá estruturar a rede *Neuro-Fuzzy* onde as entradas de cada neurônio são os indicadores já revelados na seção 3.2.2. Para elaborar esta rede VON ALTROK & KRAUSE (1994) sugerem que não se agregue mais que três variáveis em cada nó da rede, para que possa tornar a inferência mais fácil de ser executada, e no caso da construção da base de regras, permitir a melhor definição dos termos linguísticos de agregação e de composição das regras.

Desta forma, a estrutura a ser proposta é constituída por uma rede onde, em cada nó, dois ou três elementos (variáveis de entrada) são agregados a um único elemento, denominado Bloco de Inferência. Esta nova variável se agrega a outras variáveis e assim por diante até a obtenção do elemento final que representa a variável de saída, neste caso

o Índice de Sustentabilidade da Construção (ISC), conforme a estrutura que representa a agregação dessas variáveis apresentada na Figura 3.30.

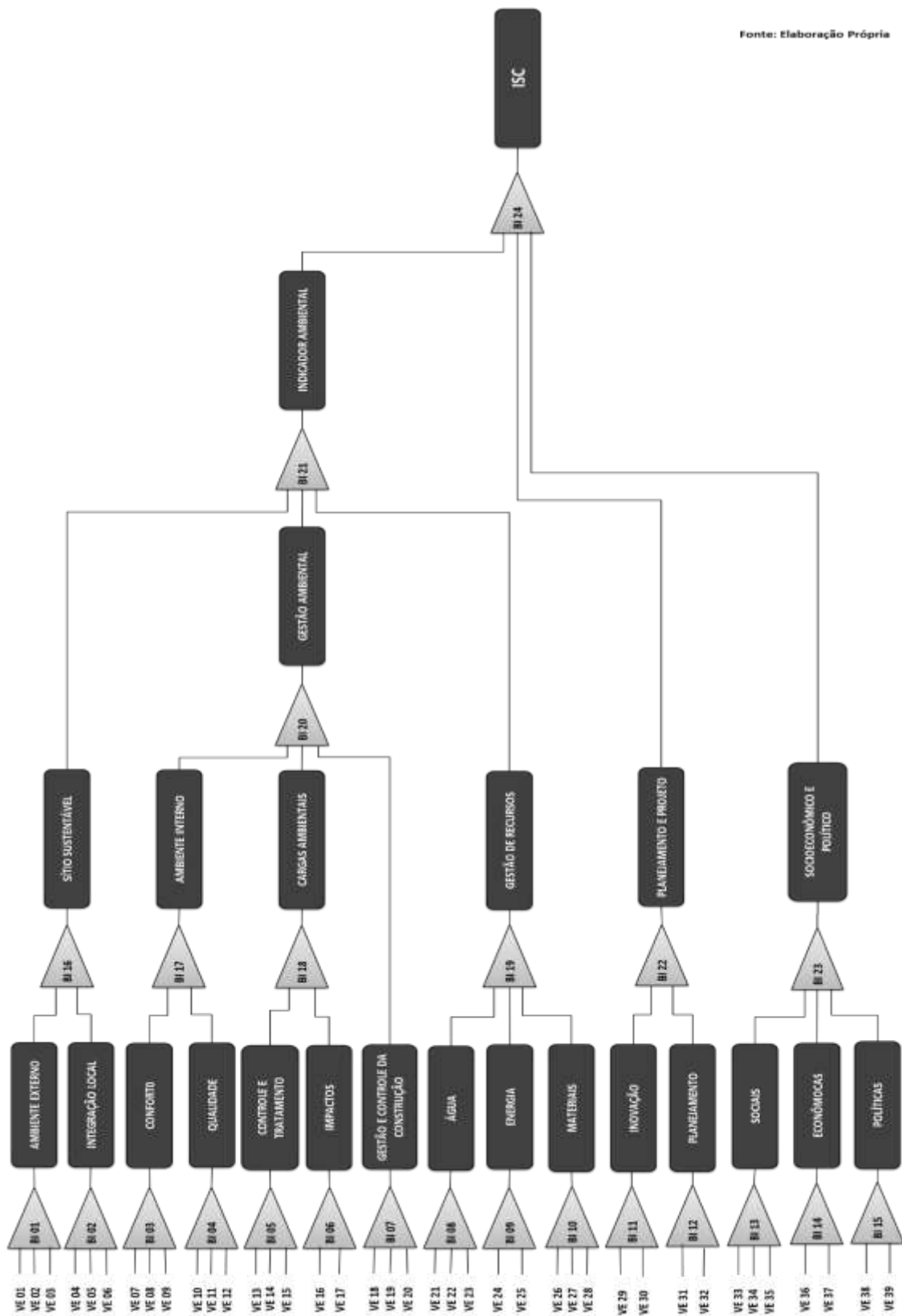


Figura 3.30: Agregação dos neurônios para elaboração da Rede *Neuro-Fuzzy* à obtenção do ISC.

### 3.2.6 Inferência Fuzzy

Uma vez que as entradas foram *fuzzyficadas*, conhecemos o grau em que cada parte do antecedente foi satisfeito por cada uma das regras. Se o antecedente de uma dada regra tiver mais de uma parte, o operador *fuzzy* é aplicado para obter um número que represente o resultado do antecedente para aquela regra. Este número será então aplicado a função de saída.

As entradas do operador *fuzzy* são dois ou mais valores de pertinência das variáveis de entrada *fuzzyficadas*. A saída é um único valor verdadeiro. Como descrito anteriormente, as operações AND e OR podem ser “substituídas” por qualquer método bem definido. Além disso, podem ser criados métodos próprios para AND e OR escrevendo qualquer função.

A base de regras deve ser construída por especialistas. Toda regra tem um peso, um valor entre 0 e 1, que é aplicado ao número fornecido pelo antecedente.

O processo de inferência Fuzzy mais comum é o desenvolvido por MAMDANI (1974) conhecido como *max-min*, que utiliza o conectivo “E” na parte antecedente da regra e o conectivo “OU” na composição entre as regras que são processadas em paralelo.

Na etapa de agregação todas as funções membro dos consequentes de cada regra são agregadas em um único conjunto *fuzzy*. Considerando os conjuntos *fuzzy* desenvolvidos para a variável intermediária VI09 e respectivos graus de pertinência, produzidos pela aplicação das regras, a agregação desses conjuntos resulta no conjunto *fuzzy* da Figura 3.31.

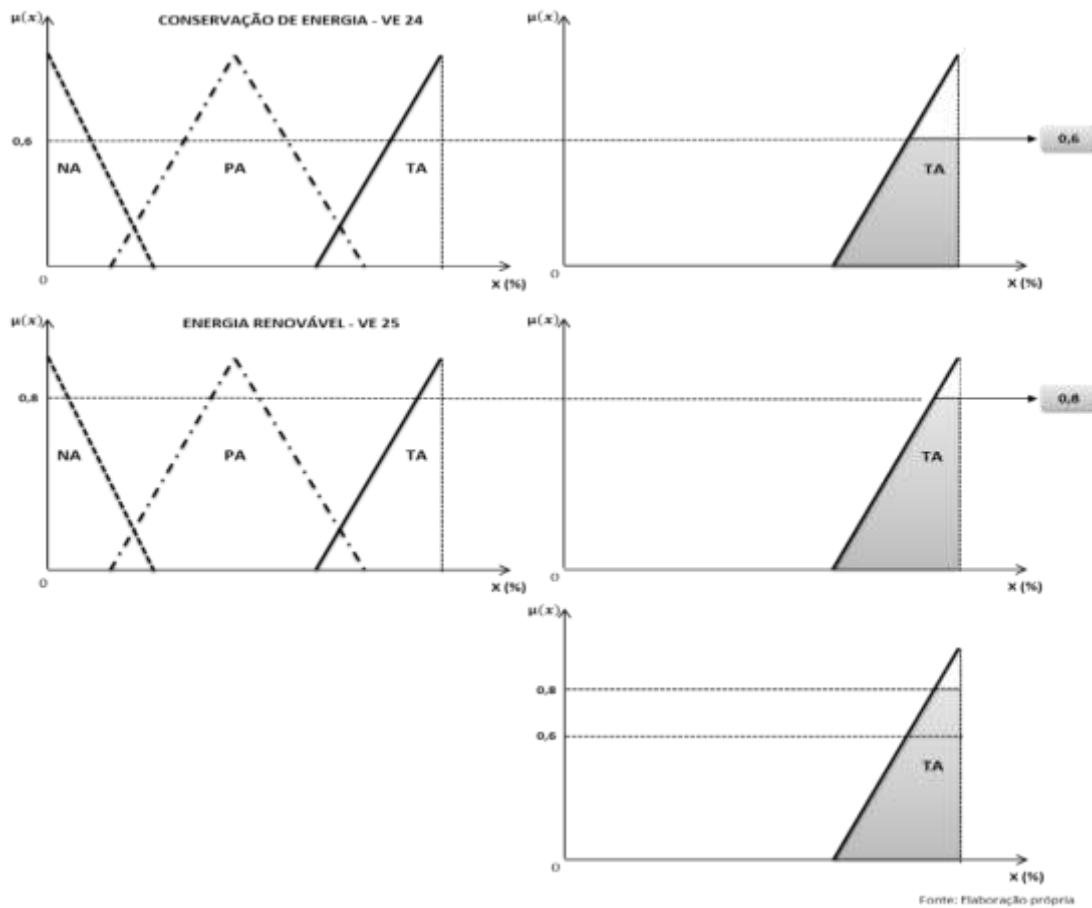


Figura 3.31: Conjunto *fuzzy* resultante do processo de agregação das regras *fuzzy*.

No processamento da inferência foi utilizado o programa Excel, para o modelo *min-max*. Para definição dos graus de pertinência das variáveis de entrada empregou-se o conectivo E (*min*) e no processo de inferência o conectivo OU (*max*), para posteriormente *defuzzificar* a saída pelo centro de gravidade.

Conforme o gráfico da Figura 3.31 é feita a agregação da regra, sendo usada a inferência OU (*máximo*), que para o exemplo em questão os respectivos graus de pertinência estão indicados na Tabela 3.6, sendo:  $VE_{24}(\mu(x)=0,6)$ ,  $VE_{25}(\mu(x)=0,8)$ .

Segundo FILIPPO (2008) este tipo de inferência é bastante utilizada em problemas de engenharia, podendo produzir boas respostas a partir da criação de uma base de regras gerada por observações e pelo conhecimento dos especialistas sobre o problema. O resultado final deste procedimento é um resultado linguístico, também denominado de termo linguístico.

Como ilustração tem-se na Tabela 3.8 um exemplo de aplicação de base de regras.

Tabela 3.8: Exemplo de Base de Regras.

Regra	Agregação						Composição		
1	SE	(X <sub>1</sub> é A <sub>11</sub> )	<E, OU, NÃO>	(X <sub>2</sub> é A <sub>21</sub> )	<E, OU, NÃO>	(X <sub>n</sub> é A <sub>n1</sub> )	ENTÃO	(y é B <sub>2</sub> )	
2		(X <sub>1</sub> é A <sub>12</sub> )		(X <sub>2</sub> é A <sub>22</sub> )		(X <sub>n</sub> é A <sub>n2</sub> )		(y é B <sub>1</sub> )	
⋮		⋮		⋮		⋮		⋮	⋮
i		(X <sub>1</sub> é A <sub>1i</sub> )		(X <sub>2</sub> é A <sub>2i</sub> )		(X <sub>n</sub> é A <sub>ni</sub> )		(y é B <sub>n</sub> )	
		Antecedente						Consequente	

### 3.2.7 Tratamento da Variável de Saída - Defuzzyficação

De modo a viabilizar a definição do ISC, torna-se necessário o processo de *defuzzyficação* do vetor linguístico do ISC, transformando-o em número *crispe*, real, cujo valor pertence ao intervalo [0, 1].

Para tal, será utilizado o método do Centro dos Máximos (CoM), também conhecido como centroide, visando o tratamento da variável de saída. Esse método é um dos mais utilizados para transformar um resultado linguístico em um resultado numérico.

O cálculo do ISC é feito a partir da aplicação da Equação 4.11:

$$ISC = \frac{\sum_{i=1}^n \mu(x_i) \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n \mu(x_i)} \quad \text{EQ. 4.11}$$

Onde  $\mu(x_i)$  são os graus de pertinência, e/ou, de certeza dos termos linguísticos da variável de saída e  $x_i$  são os valores da escala definida para o ISC que correspondem aos máximos dos conjuntos *fuzzy* da Variável de Saída.

Pode-se dizer então que o ISC é, de fato, o valor máximo dos conjuntos *fuzzy* ponderados pelos graus de pertinência de cada termo linguístico da VS.

O resultado do processo de *defuzzyficação* será um valor dentro do intervalo [0,1], representa a efetividade do ISC, onde a edificação avaliada pode ser considerada apta a certificação ambiental.

Aplicando a *defuzzyficação* ao exemplo da Variável Intermediária de energia (VI<sub>09</sub>), onde os graus de pertinência máximos obtidos foram: VE<sub>24</sub> ( $\mu(x)=0,6$ ),

$VE_{25}(\mu(x)=0,8)$ . Usando-se o conjunto *fuzzy* resultado da agregação da Figura 3.31 e a Equação 4.11 temos a *defuzzyficação* do bloco de inferência  $BI_{09}$ :

$$VI_{09} = \frac{(0,6 \times 0,88) + (0,80 \times 0,93)}{(0,6 + 0,8)} = 0,91$$

Baseado no gráfico da figura 3.28, a *defuzzyficação* indica que o valor obtido para  $VI_{09}$  corresponde a um desempenho favorável ao atendimento dos critérios requeridos dentro das características exigidas pelos especialistas, referentes a consumo e utilização de fontes renováveis de energia, sendo dentro dos critérios totalmente atendido.

## 4 ESTUDO DE CASO

As cidades têm como papel principal potencializar a troca de bens e serviços, cultura e conhecimento entre os seus habitantes. Nesse sentido a mobilidade é um atributo associado à cidade e corresponde a facilidade de deslocamento de pessoas e bens na área urbana. Esse deslocamento é influenciado por alguns fatores, tais como: dimensões do espaço urbano, complexidade das atividades nele presente, disponibilidade de serviços de transporte, a forma como a cidade é planejada e as características da população.

De acordo com MACÁRIO (2005), as condições de mobilidade afetam diretamente o desenvolvimento econômico das cidades, podendo atrair ou afastar pessoas, investidores, indústrias e empregos. O agravamento dos problemas de transporte e a necessidade de uma nova forma para o planejamento da mobilidade têm elevado o uso de conceitos de sustentabilidade pelos gestores, visando assim uma melhor utilização das características das vias urbanas e melhor utilização desses recursos. (COSTA, 2008).

O transporte urbano considerado como sustentável é aquele que permite a satisfação das necessidades básicas de acesso e mobilidade das pessoas, empresa e sociedade, de forma compatível com a saúde humana e o equilíbrio do ecossistema, possui custos aceitáveis e limita as emissões de resíduos e poluentes em função da capacidade de absorção pelo meio ambiente.

A busca pela melhoria da qualidade de vida da população está inserida na melhoria da qualidade no trânsito das cidades e a mobilidade urbana sustentável é um meio para que os gestores consigam tais resultados. Embora este ainda seja um assunto recente para a maioria dos gestores de cidades brasileiras, muitos estão se preocupando cada vez mais em preservar os recursos ambientais e fazer a integração com a infraestrutura dos locais urbanos.

Neste contexto, surge uma proposta que respeita imposições energéticas, ambientais e ecológicas e abre oportunidades para o desenvolvimento tecnológico e científico nacional, onde se apresenta um veículo de levitação magnética (*MagLev - Magnetic levitation transport*) baseado em tecnologia inovadora, como uma alternativa viável para a crise no transporte urbano.

Comum no Japão, China e Alemanha, os *MagLev* são em aparência semelhantes aos trens ou aos VLT's (veículo leve sobre trilhos) com a diferença de que são propulsionados pelas forças atrativas e repulsivas do magnetismo, que fazem os comboios levitarem pouco acima dos trilhos, seja com o uso de ímãs supercondutores (suspensão eletrodinâmica) ou por eletroímãs (suspensão eletromagnética).

Em 2016 é assinalada uma grande mudança no futuro da mobilidade urbana na cidade do Rio de Janeiro e, quem sabe, de outras grandes cidades brasileiras. Depois de quase duas décadas de pesquisa e intenso desenvolvimento, o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppe/UFRJ) começa a operar suas primeiras viagens demonstrativas do *Maglev-Cobra*, o primeiro trem de levitação magnética em funcionamento no país, empregando a propriedade diamagnética de supercondutores de elevada temperatura crítica. O projeto do veículo demonstrativo: o *MagLev-Cobra* está restrito à Cidade Universitária, fazendo um curto trajeto entre os centros de tecnologia (CT1 e CT2) do campus.

Diante da importância desse projeto experimental do *MagLev-Cobra*, que apresenta atributos de uma tecnologia denominada verde: de eficiência energética, de reduzidos níveis de emissão de gases e poluentes e de baixo nível de ruídos, de uma tecnologia capaz de revolucionar a nossa matriz de transportes, e pela oportunidade que se apresenta em se avaliar o processo o seu processo construtivo. Assim, ambiciona-se aplicar o modelo *Neuro-Fuzzy*, proposto nesta dissertação, à avaliação da construção empreendida para implantação do projeto *MagLev-Cobra*. Para tanto, o desenvolvimento da modelagem irá adequar-se às categorias e critérios indicados pelo sistema de certificação ambiental de construções LEED.

Para melhor entendimento do modelo proposto, este capítulo tem por finalidade apresentar a aplicação da metodologia proposta para a obtenção do Índice de Sustentabilidade da Construção do projeto *MagLev-Cobra*.

Pretende-se, portanto, abordar o processo de certificação LEED para a estruturação do modelo, considerado na atualidade o sistema de certificação mais empreendido no país, como demonstrado no capítulo 2. De maneira geral, entende-se que a principal vantagem das ferramentas e dos métodos de avaliação reside na orientação aos



empreendedores, projetistas e construtores quanto aos aspectos a serem considerados na produção de edificações sustentáveis.

Neste viés, e partindo da hipótese que é possível mensurar o ISC do projeto *MagLev-Cobra*, por meio da teoria dos conjuntos *fuzzy*, utilizou-se um modelo *fuzzy* que fosse capaz de realizar tal avaliação, conforme aclara o capítulo 3. Utilizou-se como base as opiniões de especialistas, cujos dados foram coletados e estruturados, devidamente tabulados em planilha do *Microsoft Excel*, para que fosse possível julgar os aspectos de qualidade pertinentes a categorização da certificação LEED aplicados ao estudo de caso.

#### **4.1 Objeto de Estudo: O *MagLev-Cobra***

Com o crescimento dos centros urbanos, o aumento dos congestionamentos de veículos e da poluição causada por eles, opções como o *MagLev-Cobra* são vistas como soluções alternativas de transporte em grandes metrópoles.

BLANA (2003) ressalta que o peso da política de transporte vai cada vez mais cair sobre a gestão da procura por novas opções tecnológicas de transporte do que propriamente na oferta de novas infraestruturas. Ele destaca ainda que todas estas mudanças visam substituir a “velha” lógica da expansão pela “nova” lógica de “gestão e integração”, impulsionado pelos indícios de pressão: capacidade rodoviária saturada; recursos públicos restritos; redução de emissão; resistência à construção de novas vias em locais adensados; orientação para visão holística de planejamento; necessidade das empresas para o uso de redes de transporte mais eficientes e eficazes e a necessidade de informação de custo e gestão em tempo real.

A ideia de usar trens que levitam no transporte urbano não é recente. Entre os primeiros que pensaram no tema estão os cientistas Gordon T. DANBY e James R. POWELL, do Laboratório Nacional de Brookhaven, em Nova York (EUA). Nos anos 1960 eles propuseram o uso de bobinas supercondutoras para produzir um campo magnético que levitasse os trens. Nos anos 1970 e 1980 foram construídos os primeiros protótipos do Transporte por Levitação Magnética (*MagLev*) na Alemanha e no Japão.

Hoje, Alemanha, Japão, China e Coreia do Sul investem em projetos como esse. Os modelos em uso trabalham com três tecnologias de levitação: a eletromagnética, que desde 2003 liga o Aeroporto Internacional de Xangai, na China, ao centro da cidade;

a eletrodinâmica, usada pelos japoneses e que detém o recorde de velocidade de trens com a marca de 581 km/h (nesse caso, o trem se movimenta nos trilhos e, após atingir determinada velocidade, passa a flutuar); e a magnética, usada no projeto da UFRJ, este tipo de levitação, promissora para aplicações em média velocidade (abaixo de 70 km/h), baseia-se na propriedade diamagnética dos supercondutores para exclusão do campo magnético do interior dos supercondutores.

A levitação supercondutora, por se tratar da tecnologia mais recente, ainda não possui linha de teste em escala real em nenhum lugar do mundo, sendo o Brasil o pioneiro nessa experiência. Os projetos do IFW (Dresden, Alemanha) e da *Southwest Jiaotong University* (Chengdu, China) são apenas laboratoriais.

O *MagLev-Cobra* foi concebido baseando-se nas características da Levitação Supercondutora e, estruturalmente, para aproveitar ao máximo a infraestrutura urbana existente, tendo como princípio a possibilidade de realizar curvas de pequeno raio mantendo a carga uniformemente distribuída ao longo da via.

Para OSTERMANN (2005) *apud* VAZ (2009) o fenômeno da supercondutividade foi observado pela primeira vez em 1911, em Leiden, na Holanda, por Heike Kamerling ONNES. Três anos antes, a equipe por ele liderada havia obtido a liquefação do gás hélio, que ocorre a 4,2K. Baseado nesta proeza tecnológica, ONNES dedicou-se ao estudo das propriedades elétricas dos metais em temperaturas muito baixas, empregando o hélio líquido como refrigerante.

Para PAINHO (2009), existem vantagens do *MagLev-Cobra* sobre os sistemas ferroviários tradicionais:

- A ausência do contato entre roda e trilho tem consequência para a redução dos custos de manutenção, redução do ruído e vibração;
- A força peso total é distribuída, em oposição aos trens tradicionais, em que o peso é concentrado nos eixos. Esta característica faz com que as estruturas não necessitem ser tão robustas, o que origina a redução nos custos de construção das linhas, nomeadamente no dimensionamento à flexão das vigas em vias elevadas, pois o momento máximo de flexão no centro da viga é substancialmente inferior.

- A ausência de contato previne o escorregamento e o deslizamento entre a roda e o trilho, pois o atrito entre eles é baixo, o que possibilita acelerações e desacelerações mais rápidas, linhas com maiores inclinações, além de ser menos susceptível às condições atmosféricas.
- Apesar de depender da estrutura do veículo (articulações), o raio mínimo de curvatura é inferior, o que facilita o acompanhamento das vias existentes, inserindo-se de forma mais integrada no ambiente, reduzindo-se a intrusão visual.

O sistema de transporte ferroviário tem como principal característica o deslocamento do trem pela simples aderência, que é propiciada pelo contato da roda com o trilho. Essa tecnologia ainda é a mesma desde o surgimento da tração a vapor, no limiar da Revolução Industrial na Inglaterra, no início do século XIX, e persiste até hoje no sistema ferroviário. As diferenças básicas entre um sistema ferroviário tradicional e o sistema baseado em levitação magnética é apresentado de forma simplificada a estrutura de ambos na Figura 4.1.

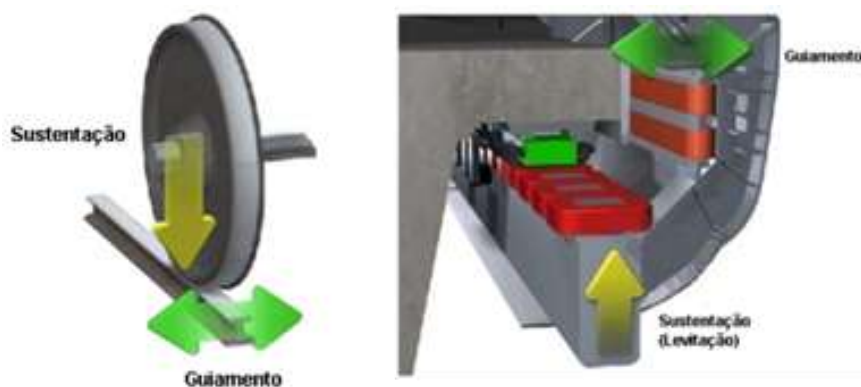


Figura 4.1: Guiamento e Sustentação dos Sistemas Ferroviário e *MagLev* (Fonte: Painho, 2009).

O *MagLev-Cobra* (Figura 4.2) possui uma capacidade de transporte, que cresce proporcionalmente com o acréscimo de anéis à composição do veículo, de acordo com a demanda. Módulos que contêm as portas podem ser montados em diversas disposições ao longo do veículo, pois cada anel representa uma estrutura independente, assim como o posicionamento dos bancos: transversal ou longitudinal. O seu acionamento é feito por motor elétrico de indução linear síncrono, de armadura longa, funciona com movimento longitudinal ao invés de rotação, que por concepção, não possui contato com a superfície de rolamento.



Figura 4.2: Protótipo do trem de levitação magnética, *MagLev-Cobra*, desenvolvido pela Coppe/UFRJ (Foto: Arquivo próprio).

Com baixo custo de implantação e manutenção, a construção de um *MagLev* pode ser 70% mais barata do que a de uma estação de metrô subterrânea, por exemplo, o que faz com que esses projetos sejam promissores é a baixa emissão de CO<sub>2</sub> e rapidez na operação.

Além disso, trens como o *MagLev-Cobra*, que é desenvolvido na UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro) apresentam um custo energético por passageiro-quilômetro equivalente a apenas 13% do consumo médio do ônibus urbano, gerando uma economia de 87% em um item que representa cerca de 30% do custo operacional.

O *MagLev* brasileiro, enfim, sai da bancada e passa a realidade física, com o projeto *MagLev-Cobra*, o primeiro trem de levitação magnética da América Latina, que passa a operar em uma linha que liga dois centros de tecnologia no próprio campus da UFRJ, numa distância de 200 metros. Após a fase de testes, o trajeto deverá ser ampliado para 4,5km dentro da Cidade Universitária (Figura 4.3).



Figura 4.3: Projeto 3D de implantação do protótipo operacional do *MagLev-Cobra* (Fonte: MATELLO, 2012).

## 4.2 Dados Coletados - A Obra

É nesta fase que são caracterizados os indicadores, que definirão as variáveis do sistema *fuzzy*. Assim, o processo de certificação é iniciado, com a participação dos especialistas de forma permanente e contínua, formatando o processo de certificação ao longo de todas as etapas do empreendimento: de projeto, de construção, de uso/operação e de tomadas de decisões.

Para se obter a certificação LEED o projeto-candidato deve satisfazer a todos os pré-requisitos e obter um número mínimo de pontos nos requisitos, de forma a atingir os índices propostos. Tendo cumprido os pré-requisitos básicos do programa, os projetos-candidatos são, então, classificados de acordo com o atendimento aos requisitos, dentro do sistema de classificação, existindo quatro níveis possíveis para a certificação.

De maneira geral, entende-se que a principal vantagem das ferramentas e dos métodos de avaliação reside na orientação aos empreendedores, projetistas e construtores quanto aos aspectos a serem considerados na produção de edificações sustentáveis.

Desta forma dá-se início a coleta de dados da obra, alimentadores do sistema, observando-se a integração projeto/execução, para obtenção dos indicadores da sustentabilidade.

### 4.2.1 Descritivo do Projeto *MagLev-Cobra*

O projeto *MagLev-Cobra*, desenvolvido pela Coppe/UFRJ terá seu protótipo implantado no Centro de Tecnologia da UFRJ. As estações de embarque/desembarque estão localizadas estrategicamente nas extremidades da reta de ligação entre o CT1 e sua expansão o CT2.

As formas curvas das coberturas das estações remetem ao formato do *MagLev-Cobra*, um veículo composto por módulos de formas curvilíneas, em contraponto com a grande plataforma retilínea por onde será feito o percurso entre as estações.

A estação do CT1 está situada no final do prolongamento do corredor do pavimento superior do bloco I. O acesso será feito por uma passarela coberta. Esta continuidade permite a integração entre o CT1 e o CT2 - uma ligação direta que será feita

através do veículo *MagLev-Cobra*. A estação do CT1 possui 110m<sup>2</sup>. É a maior das duas estações, pois abriga também a garagem/oficina do *MagLev-Cobra* e onde serão feitos testes e experimentos complementares. Nesta área também foi projetado um espaço para uma pequena cafeteria, que contribui para a formação de uma área de convivência e integração ao esperar pelo veículo na estação.

A estação do CT2 possui 57 m<sup>2</sup> é composta de elementos similares à outra estação com estruturas metálicas, formas curvas, cobertura térmica de modo a proporcionar uma identidade visual entre as estações do *MagLev-Cobra*. Nesta estação há uma escada de acesso ao térreo, permitindo a chegada ao restaurante e demais laboratórios e ainda uma ligação direta para a passarela do segundo pavimento do CT2.

A metálica foi o tipo de estrutura adotada para este projeto por sua flexibilidade de formas, por ser mais esbelta, permitir vencer grandes vãos. A agilidade de montagem também foi uma das vantagens consideradas na escolha deste tipo de estrutura. A viga treliçada invertida servirá também de guarda-corpo ao longo do percurso, para uso eventual em caso de emergência, pois nesta passarela não será permitida a circulação de pedestres enquanto o veículo estiver sendo utilizado.

Em ambas as estações estão previstas iluminação com fotocélulas para acendimento automático, bem como ao longo da via, na base dos pilares, jardins e na parte superior da passarela. E ainda a utilização de energia solar (quatro painéis fotovoltaicos), que supriram a necessidade de energia à operação do veículo e luminárias com lâmpadas do tipo Led na iluminação das estações e do paisagismo externo ao longo da via.

As estações serão cobertas, com beirais prolongados e abertas em suas laterais, de forma evitar o uso de ar condicionado. As telhas curvas serão do tipo sanduíche com alumínio e poliuretano que possuem propriedades térmicas. Nas laterais de cada estação, para a proteção do sol e ainda de chuva, serão projetados brises articulados, que são peças verticais em alumínio que permitem a movimentação pivotante, conforme a ensolação e o sentido das chuvas.

Na plataforma de ligação entre as estações serão colocados os trilhos magnéticos. Esta via tem 160 m de comprimento livre entre estações e 186m, considerando o percurso

dentro das estações; possui 4,20 m de largura, onde 3,00 m são destinados ao veículo e 1,20 está disponível para área de escape em caso de emergência. A passarela atravessa a Rua Moniz Aragão respeitando a altura mínima de 4,5m embaixo da caixa de rua. O desnível de terreno existente entre as duas estações resulta numa inclinação de 1,2%, o que está dentro dos limites previsto no funcionamento do *MagLev-Cobra*.

As estações estão projetadas com acessibilidade a portadores de necessidades especiais, situada no pavimento superior junto ao bloco I, pelo elevador do bloco H. No CT2 é possível acessar a estação pela passarela que vai ao elevador do hall da Diretoria da Coppe, no prédio do CGTEC.

Nos pilares e vigas ao longo da passarela está prevista a fixação de tubulações para infraestrutura do *MagLev-Cobra* e futuras instalações de interligação entre os Centros CT1 e CT2.

A subestação do *MagLev-Cobra* será a que supre hoje o laboratório do LASUP (Laboratório de Supercondutores da Coppe), situada no bloco H. Um painel elétrico será instalado na área da oficina da estação CT1.

O *MagLev-Cobra* chega em momento oportuno não só pelas necessidades de pesquisa nas alternativas para o sistema de transportes não poluentes da Cidade e do País, como também para promover a integração entre o CT1 e a sua expansão recém implantada o CT2 (MATELLO, 2012).

Como o *Maglev* projetado tem múltipla articulação, este grande limite técnico para projetos de engenharia é também rompido, propiciando aos arquitetos maior liberdade para projetos inovadores (STEPHAN, 2007). O veículo é formado por vários anéis interligados através de juntas flexíveis, como se fossem as articulações de uma serpente - daí a sua denominação: *Maglev-Cobra*. Nas aplicações urbanas o *Maglev* pode, portanto, acompanhar perfeitamente as vias existentes, inserindo-se de maneira integrada no ambiente com uma velocidade média aproximada de 70 Km/h (STEPHAN, 2007).

#### **4.2.2 Etapas do Projeto *MagLev-Cobra***

O procedimento para avaliação dos dados alimentadores do sistema *fuzzy* consistiu no acompanhamento da construção *in loco*, ou seja, procedendo a análise de

acordo com a execução prevista em projeto, confrontando a mesma com os requisitos creditados à certificação. As fontes de evidência para tanto foram: observação participante, documentos relacionados à construção e o grau de certeza dos especialistas - *stakeholders* envolvidos no processo.

O projeto conta com o apoio financeiro do FUNTEC/BNDES e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro - FAPERJ. A Figura 4.4 a seguir indica a localização do projeto, que interliga o Bloco I do antigo Centro Tecnológico - CT1 ao novo Complexo Tecnológico, o CT2.



Figura 4.4: Imagem satélite do local de implantação do *MagLev-Cobra* (Google maps 2016).

Os dados coletados são de conformidade com as categorizações LEED observados *in loco*, como se segue:

#### 4.2.2.1 Espaço Sustentável

O Quadro 4.1 apresenta as exigências requeridas pelo LEED à categoria Espaço Sustentável (Sítio Sustentável), com um universo de possíveis vinte e seis créditos para categoria.



Quadro 4.1: Categoria LEED Espaço Sustentável.

SÍTIO SUSTENTÁVEL		Pontos
Prereq 1	<b>Prevenção da Poluição na Atividade de Construção</b>	<b>Obrigatório</b>
Crédito 1	<b>Seleção do Terreno</b>	<b>1</b>
Crédito 2	<b>Densidade Urbana e Comunidade Local</b>	<b>5</b>
Crédito 3	<b>Remediação de Áreas Contaminadas</b>	<b>1</b>
Crédito 4.1	<b>Alternativa de Transporte:</b> Acesso a transporte público	<b>6</b>
Crédito 4.2	<b>Alternativa de Transporte:</b> Baicicletário e vestiário	<b>1</b>
Crédito 4.3	<b>Alternativa de Transporte:</b> Uso de veículos de baixa emissão	<b>3</b>
Crédito 4.4	<b>Alternativa de Transporte:</b> Redução área de estacionamento	<b>2</b>
Crédito 5.1	<b>Desenvolvimento do Espaço:</b> Proteção e restauração do habitat	<b>1</b>
Crédito 5.2	<b>Desenvolvimento do Espaço:</b> Maximizar espaços abertos	<b>1</b>
Crédito 6.1	<b>Controle da Enxurrada:</b> Controle da quantidade	<b>1</b>
Crédito 6.2	<b>Controle da Enxurrada:</b> Controle da qualidade	<b>1</b>
Crédito 7.1	<b>Redução da Ilha de Calor:</b> Áreas cobertas	<b>1</b>
Crédito 7.2	<b>Redução da Ilha de Calor:</b> Áreas descobertas	<b>1</b>
Crédito 8	<b>Redução da Poluição Luminosa</b>	<b>1</b>

Fonte: USGBC, 2014 (Elaboração própria)

A prevenção da poluição na atividade da construção visa a elaboração e implementação de um Plano de Prevenção de Poluição no Solo e no Ar para reduzir a poluição proveniente das atividades de construção, controlando a erosão do solo, o assoreamento dos cursos de água e a geração de poeira na vizinhança (*atendido*).

O crédito 1 visa impedir o desenvolvimento de terrenos (*sites*) inadequados e reduzir os impactos ambientais gerados pela implantação de um novo empreendimento (*atendido*).

O crédito 2 indica que o empreendimento seja construído preferencialmente em regiões urbanas com disponibilidade de infraestrutura local existente, de forma a evitar a exploração de áreas naturais, proteger áreas verdes e habitats de espécies nativas, além de prover acesso a serviços como rede bancária, hospitalar, supermercados, entre outros, para facilidade dos usuários (*atendido*).

O crédito 3 diz respeito à empreender em terreno que seja comprovadamente contaminado ou em terreno dito degradado pelo governo local, promovendo a reabilitação deste e reduzindo a especulação imobiliária em áreas não desenvolvidas (*não atendido*). A Ilha do Fundão é uma ilha artificial, ou seja, criada por homens, formada a partir da aplicação de aterro sobre um conjunto de pequenas ilhas que já existiam. Ela corresponde ao campus mais importante da UFRJ e comporta o bairro Cidade Universitária, que foi construído para ser a sede da UFRJ.

O crédito 4.1 tem em seu objetivo reduzir a poluição e os impactos ambientais causados pela utilização de automóveis particulares. Localizar o empreendimento a 800m de uma estação existente de trem ou metrô, ou, localizando-o a 400m de um ou mais

pontos de parada de ônibus para duas ou mais linhas. O projeto é um aporte ao desenvolvimento da mobilidade na Cidade Universitária, com perspectivas de startar uma maior integração da mobilidade em todo o Campus Universitário (*atendido*).

Os créditos 4.2, 4.3 e 4.4 relacionam-se a redução da poluição e os impactos ambientais causados pela utilização de automóveis particulares. O projeto deve oferecer bicicletário e vestiários com chuveiros a seus ocupantes; e ao número mínimo de vagas de estacionamento prevista na legislação local, além de vagas preferenciais para veículos com baixas emissão e consumo, o projeto não teve esse cunho, portanto não procede (*não atendido*).

O crédito 5.1 tem como propósito manter áreas naturais existentes e restaurar áreas danificadas promovendo habitat para espécies locais e a biodiversidade, não se aplica (*não atendido*).

O crédito 5.2 apregoa a importância em se projetar uma construção com a ocupação reduzida do terreno, ampliando as áreas vegetadas e promovendo a biodiversidade (*atendido*).

O crédito 6.1 visa a redução do uso de pavimentos impermeáveis, aumentar a taxa de infiltração de água de chuva no solo e gerenciar o escoamento superficial, são ações que devem ser planejadas no empreendimento com a finalidade de reduzir o volume e a vazão de água de chuva na rede de drenagem pública, 25% menor em relação ao volume e vazão do terreno atual (*atendido*).

O crédito 6.2 indica que na operação do empreendimento devem ser tomadas ações com a finalidade de reduzir o uso de pavimentos impermeáveis, aumentar a taxa de infiltração de água de chuva no solo e realizar tratamento do escoamento superficial. As ações devem ser definidas, assegurando que pelo menos 80% do Total de Sólidos Suspensos (TSS) são removidos do escoamento superficial, não há interferência na situação existente precedentemente. Há previsão de captação de águas pluviais precipitadas nos telhados das estações e na pista de rolamento do *MagLev-Cobra* em reservatórios apropriados para reuso, sendo o excedente escoado à rede de águas pluviais (*atendido*).

O crédito 7.1 indica que o empreendimento deva reduzir as ilhas de calor para minimizar o impacto no micro clima e no ambiente urbano, para coberturas. Prever instalação de superfícies de cobertura com alto índice de reflexão solar (SRI - Solar Reflectance Index) (acima de 78) e/ ou coberturas verdes. Nas coberturas das estações do sistema MagLev-Cobra foram empregadas telhas termo acústicas com pintura branca nas partes externa e interna (Figura 4.5). O paisagismo contribuí para mitigação térmica e reflexão solar nas áreas externas (*atendido*).

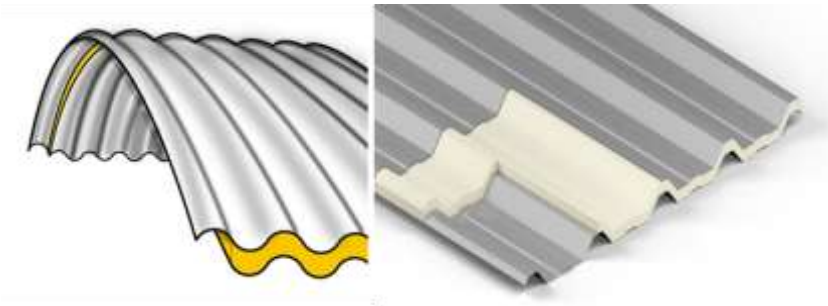


Figura 4.5: Telha termo acústica tipo sanduíche. (Fonte: Catálogo do fornecedor).

O crédito 7.2 Reduzir as ilhas de calor para minimizar o impacto no micro clima e no ambiente urbano, em áreas abertas. No mínimo, 50% dos espaços de estacionamento devem estar cobertos com materiais de SRI mínimo 29, ou as áreas abertas de pavimentação devem possuir acabamento com SRI mínimo de 29 (*atendido*).

O crédito 8, controlar o excesso de luz que excede o limite do edifício e do terreno a fim de minimizar o impacto no entorno (*atendido*).

Na Figura 4.6 apresenta-se o diagrama estrutural do Indicador Sítio Sustentável, com as variáveis de entrada e as de saída intermediárias, atributos definidos de acordo com o sistema LEED.

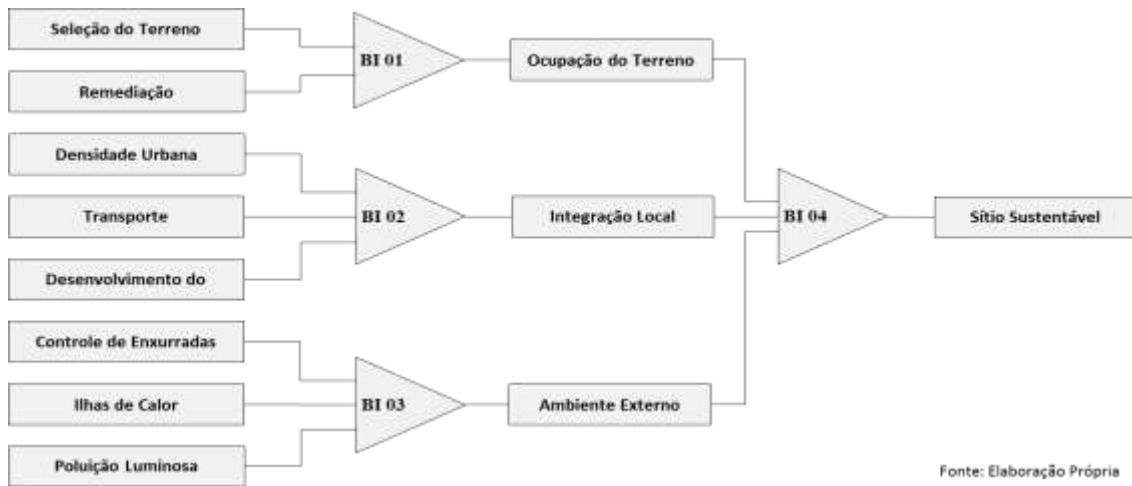


Figura 4.6: Diagrama estrutural do Indicador Sítio Sustentável.

Pode-se afirmar que a etapa de construção é responsável por uma parcela significativa dos impactos causados no ambiente, principalmente os consequentes às perdas de materiais e à geração de resíduos, bem como às interferências no entorno.

Assim, é de suma importância atentar para a redução dos impactos ou modificações resultantes no ambiente, sendo que tais impactos são resultantes das atividades desenvolvidas durante a execução de diferentes serviços constantes numa obra. Nas Figuras 4.7, 4.8 e 4.9, mostra-se uma sequência fotográfica do antes e depois da implantação do canteiro de obras.



Figura 4.7: Situação antes da implantação do canteiro de obras (Fonte: O autor).



Figura 4.8: Início da implantação do canteiro de obras (Fonte: O autor)



Figura 4.9: Obra concluída (Fonte: O autor).

#### 4.2.2.2 Uso Racional da Água

Tendo em vista o uso racional da água, as medidas de conservação da água potável da edificação englobam o aproveitamento da água de chuva, reuso de água e a utilização de componentes hidráulicos economizadores de água, onde a economia de água potável corresponde à implementação das três medidas de conservação: aproveitamento de água de chuva e reuso de águas, bem como componente economizadores de água, a obra não concorreu para esses recursos.

O Quadro 4.2 apresenta as exigências requeridas pelo LEED à categoria Uso Racional da Água, com um universo de possíveis dez pontos aos créditos da categoria.

Quadro 4.2: Categoria LEED Uso Racional da Água.

USO RACIONAL DA ÁGUA		Pontos
Prereq 1	<b>Redução no Uso da Água</b>	<b>Obrigatório</b>
Crédito 1	<b>Uso Eficiente da Água no Paisagismo</b>	<b>4</b>
Crédito 2	<b>Tecnologias Inovadoras para Águas Servidas</b>	<b>2</b>
Crédito 3	<b>Redução do Consumo de Água</b>	<b>2 a 4</b>
	Redução de 30%	2
	Redução de 35%	3
	Redução de 40%	4

Fonte: USGBC, 2014 (Elaboração própria)

Reduzir o consumo de água potável e esgoto gerado e a ser tratado de todo o empreendimento.

O crédito 1, à sua obtenção está condicionada à redução do consumo de água potável para o paisagismo (considerando irrigação de jardins, elementos decorativos, fontes e espelhos d'água), tomando por base o volume de água consumido durante o mês mais crítico do verão, nesta condição é previsto em projeto a implantação de reservatório de reuso de águas provenientes do armazenamento de água de chuva mitigando o consumo de água tratada. Na Figura 4.10 mostra o caminhamento das águas coletadas, na pista de rolamento e calhas de cobertura à reservatório de reuso (*atendido*).



Figura 4.10: Drenagem das águas de reuso de chuva (Fonte: O autor).

O crédito 2 indica à redução da demanda de água potável no empreendimento, particularmente para os sistemas de descarga. O projeto deverá reduzir em 50% o uso de

água potável para mictórios e bacias sanitárias, nestas condições não houve nenhuma implantação de infraestrutura para tratamento de águas cinzas (*não atendido*).

O crédito 3, reduzir o consumo de água potável e esgoto gerado e a ser tratado de todo o empreendimento, neste empregou-se o uso de metais, e sistemas inteligentes de controle de consumo da água tratada, que conseqüentemente amenizam a emissão de efluentes ao tratamento, com uma redução de 30% (*atendido parcialmente*).

Na Figura 4.11 apresenta-se o diagrama estrutural do Indicador Uso Racional da Água, com as variáveis de entrada e as de saída intermediária, atributos definidos de acordo com o sistema LEED.

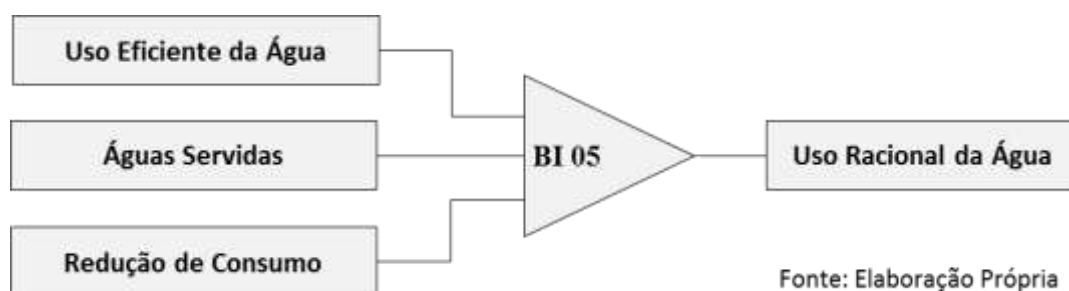


Figura 4.11: Diagrama estrutural do Indicador Uso Racional da Água.

#### 4.2.2.3 Energia e Atmosfera

Planejar e realizar atividades de comissionamento dos sistemas que demandam energia, verificando sua instalação e seu desempenho, de acordo com os projetos, memoriais descritivos e execução. Reduzir a demanda de energia no empreendimento em relação à definida pelos padrões da norma ASHRAE/IESNA 90.1-2007. Reduzir agressão à camada de ozônio. Estes são pré-requisitos necessário a ser cumpridos à certificação. O Quadro 5.3 apresenta as exigências requeridas pelo LEED à categoria Energia e Atmosfera, com um universo de possíveis trinta e cinco pontos aos créditos da categoria.

O Quadro 4.3 apresenta as exigências requeridas pelo LEED à categoria Energia e Atmosfera, com um universo de possíveis dez pontos aos créditos da categoria.

Quadro 4.3: Categoria LEED Energia e Atmosfera.

ENERGIA E ATMOSFERA		Pontos
Prereq 1	<b>Comissionamento dos Sistemas de Energia</b>	<b>Obrigatório</b>
Prereq 2	<b>Performance Mínima de Energia</b>	<b>Obrigatório</b>
Prereq 3	<b>Gestão Fundamental de Gases Refrigerantes</b>	<b>Obrigatório</b>
Crédito 1	<b>Otimização da Performance Energética</b>	<b>1 a 19</b>
Crédito 2	<b>Geração Local de Energia Renovável</b>	<b>1 a 7</b>
Crédito 3	<b>Melhoria no Comissionamento</b>	<b>2</b>
Crédito 4	<b>Melhoria no Uso de Gases Refrigerantes</b>	<b>2</b>
Crédito 5	<b>Medições e Verificações</b>	<b>3</b>
Crédito 6	<b>Energia Verde (Sustentável):</b> No mínimo 35% do consumo	<b>2</b>

Fonte: USGBC, 2014 (Elaboração própria)

O primeiro crédito dita reduzir a demanda de energia no empreendimento em relação à definida pelos padrões da norma ASHRAE/IESNA 90.1-2007.

Como Exemplos temos: realizar estudo de ventos predominantes e iluminação natural, melhor aproveitamento e localização dos prédios para reduzir ventilação e iluminação artificial, com adequação do tamanho das janelas e utilização de brises, uso de materiais com melhor desempenho térmico para o local, uso coberturas claras, tetos verdes e vidros de alto desempenho, cobertura sobre lajes com isolamento térmico em isopor, em aço galvanizado simples, pré-pintada na cor branca / coberturas sem lajes, em telhas metálicas pintadas de branco com isolamento termo acústico e/ou telhas duplas em alumínio pré-pintadas com isolamento em lã de rocha; cobertura em vidro laminado fator 0.30, com utilização de iluminação natural durante todo o dia; sistema de automação com programação da iluminação interna e externa; utilizar mix de tecnologias para iluminação com lâmpadas de alto desempenho (led, vapor metálico, ou outras), elementos de controle como dimmer, acionadores individuais, automatização, setorização. Iluminação externa noturna e internas com pouco uso com sensores de presença, uso de equipamentos linha branca (cozinha e lavanderia) e computadores com alto desempenho. Aquecimento por energia solar. Iluminação externa com baixo consumo e alto desempenho, somente em uso noturno, para questões de segurança e com sensores de presença (Figura 4.12). Seguindo-se todos os exemplos, estima-se redução de 22% - realizar cálculos/simulação (*atendido parcialmente*).





Figura 4.12: Luz natural, iluminação externa e interna de baixo consumo a base de led, cobertura com telha termo acústica, utilização de brises, etc. (Fonte: O autor).

O crédito 2, dependendo da quantidade de energia renovável gerada no local (1% a 13%). Prever energia renovável, como aquecimento solar para chuveiros, cozinha e piscina (tubos de aquecimento a vácuo tem umas das melhores performances) e possível uso de painéis fotovoltaicos, que se aplica ao projeto com uma performance de 13%, pois toda energia gerada pelos painéis fotovoltaicos (Figura 4.13) atende a operação do *MagLev-Cobra* e o excedente é injetado na rede de distribuição da concessionária de energia criando crédito energético (*atendido*).



Figura 4.13: Painéis fotovoltaicos, suprem as necessidades operacionais do *MagLev-Cobra*, além de injetar o excedente de energia à rede de distribuição (Fonte: O autor).

No crédito 3, planejar e realizar atividades adicionais de comissionamento (comissionamento avançado) dos sistemas que demandam energia, além do que já foi verificado no pré-requisito 1 (*não atendido*).

No crédito 4, uso de sistemas de refrigeração não podem ter CFC (item obrigatório). Preferencialmente, instalar sistemas (como de combate a incêndio, refrigeradores, freezers ou aparelhos de ar condicionado) que utilizem fluidos de refrigeração que não atingem a camada de ozônio e não contribuam para o aquecimento solar (comprovado pela fórmula:  $LCGWP + LCODP \times 105 \leq 100$ , onde: LCGWP: *Lifecycle Direct Global Warming Potential* / LCODP: *Lifecycle Ozone Depletion Potential* - dados solicitados ao fabricante), previsão de aparelho na sala da oficina que atende as exigências (*atendido*).

O crédito 5, aperfeiçoar a supervisão predial com dados de consumo de energia ao longo do tempo, através da infraestrutura para que haja medição do consumo de energia no edifício. Desenvolver e implantar um plano de monitoramento, verificação e acompanhamento para consumo de energia - BMS (*Building Management 17/31 System*) dos sistemas de automação, de preferência, o mais individualizada possível, para melhor detectar problemas (*atendido*).

O crédito 6, promover o desenvolvimento e a utilização de fontes de energia renováveis (Figura 4.13). O próprio sistema de transporte *MagLev* aplica fontes de energia renovável (*atendido*).

Na Figura 4.14 apresenta-se o diagrama estrutural do Indicador Energia e Atmosfera, com as variáveis de entrada e as de saída intermediária, atributos definidos de acordo com o sistema LEED.

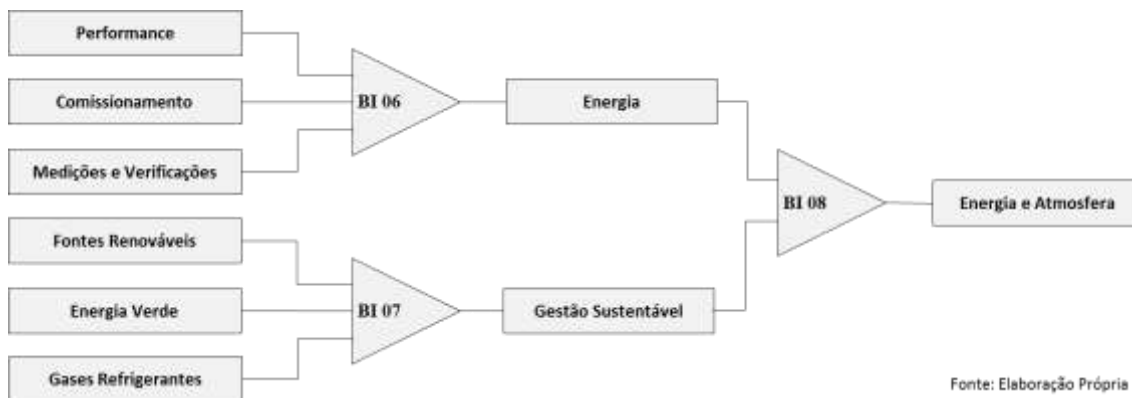


Figura 4.14: Diagrama estrutural do Indicador Energia e Atmosfera.

#### 4.2.2.4 Materiais e Recursos

Promover a redução da quantidade de resíduos destinados a aterros gerados na operação do edifício.

O Quadro 4.4 apresenta as exigências requeridas pelo LEED à categoria Materiais e Recursos, com um universo de possíveis quatorze pontos aos créditos da categoria.

Quadro 4.4: Categoria LEED Materiais e Recursos.

MATERIAIS E RECURSOS		Pontos
Prereq 1	<b>Depósito e Coleta de Materiais Recicláveis</b>	<b>Obrigatório</b>
Crédito 1.1	<b>Reuso do Edifício:</b> Manter paredes, forros e coberturas	<b>1 a 3</b>
Crédito 1.2	<b>Reuso do Edifício:</b> Manter 50% elementos interiores não estruturais	<b>1</b>
Crédito 2	<b>Gestão de Resíduos da construção</b>	<b>1 a 2</b>
Crédito 3	<b>Reuso de Materiais</b>	<b>1 a 2</b>
Crédito 4	<b>Conteúdo Reciclado</b>	<b>1 a 2</b>
Crédito 5	<b>Materiais Regionais:</b> Extraído, processado e fabricado regionalmente	<b>1 a 2</b>
Crédito 6	<b>Materiais de Rápida Renovação:</b> no mínimo 2,5% do total utilizado	<b>1</b>
Crédito 7	<b>Madeira Certificada:</b> No mínimo 50% do custo total de madeira utilizada	<b>1</b>

Fonte: USGBC, 2014 (Elaboração própria)

Os créditos 1.1 e 1.2, reaproveitar os recursos estruturais e fachadas da construção existente e reaproveitar no projeto os recursos não estruturais da construção existente no terreno definido para o empreendimento, não se aplica (*não atendido*).

O crédito 2, gestão de resíduos na construção, onde reciclar ou reaproveitar no mínimo 50% (ou 75% para 2 pontos) dos materiais de despejo da obra fazendo o correto destino de entulhos de obra e demolições. Todo material não reaproveitado (bota fora), foi destinado a núcleos de descarte apropriados, usina verde, no próprio campus. A

maioria foi alocada na própria obra, separados em locais apropriados, Figura 4.15 (*atendido*).



Figura 4.15: Materiais de descarte e reuso no canteiro de obras (Fonte: O autor).

O crédito 3, visa promover o reuso de materiais e produtos afim de reduzir a demanda por novas matérias primas evitando o desperdício. Com isso, a intenção é diminuir o impacto associado à extração e processamento de novos recursos. Utilizar materiais reformados ou restaurados que representem em custo pelo menos 5% do total (ou 10% para 2 pontos) de materiais aplicados na obra, Figura 4.16 (*atendido*).



Figura 4.16: Reuso de material no canteiro de obras, forma dos blocos das fundações (Fonte: O autor).

O crédito 4, conteúdo reciclado significa adotar materiais que tenham em sua composição uma determinada porcentagem de conteúdo reciclado. Pelo menos 10% ou 20% do custo total de materiais devem ser provenientes dessa maneira. O mobiliário das estações são de madeira de reflorestamento e parte do madeiramento empregado na confecção das formas nos blocos de fundações são de madeira reciclada (*atendido parcialmente*).

Materiais regionais, crédito 5, adota-se materiais que tenham origem em um raio de 800km. Pelo menos 10% ou 20% do custo total de materiais devem ser provenientes dessa maneira. Em quase toda a sua totalidade os materiais empregados na obra tinham sua origem de produção e processamento no entorno regional, concreto empregado nas estruturas de fundação, ferragens das armaduras, perfis metálicos das estacas, estruturas metálicas, *stell deck* da laje, materiais de acabamento, etc., Figuras 4.17 e 4.18 (*atendido*).



Figura 4.17: Materiais regionais utilizados nas fundações (Fonte: O autor).



Figura 4.18: Materiais regionais utilizados nas fundações (Fonte: O autor).

O crédito 6, reduzir o uso e o descarte de matéria-prima finita e materiais de longo ciclo de vida utilizando no lugar destes materiais de rápida renovação (*não atendido*).

O crédito 7, usar um mínimo de 50% de materiais de produtos florestais certificados de acordo com o FSC. Além disso, garantir que os produtos naturais são renovados a cada 10 anos (*não atendido*).

Na Figura 4.19 apresenta-se o diagrama estrutural do Indicador Materiais e Recursos, com as variáveis de entrada e as de saída intermediária, atributos definidos conforme o sistema LEED.

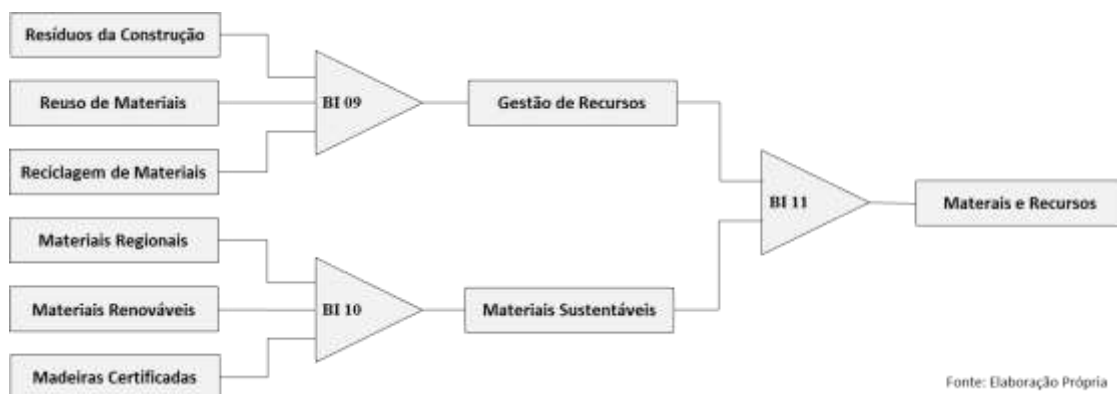


Figura 4.19: Diagrama estrutural do Indicador Materiais e Recursos.

#### 4.2.2.5 Qualidade do Ambiente Interno

Melhorar a qualidade do ar no empreendimento e contribuir para o conforto e bem-estar dos usuários. Devem ser atendidos os requisitos mínimos da ASHRAE 62.1-2007 (ou ABNT 16401-3:2008, o que for mais restritivo). Os sistemas de ventilação natural devem seguir as descrições da ASHRAE 62.1-2007. Minimizar a exposição dos usuários, superfícies internas e sistemas de distribuição de ar à fumaça de cigarro.

O Quadro 4.5 apresenta as exigências requeridas pelo LEED à categoria Qualidade do Ambiente Interno, com um universo de possíveis quinze pontos aos créditos da categoria.

Quadro 4.5: Categoria LEED Qualidade do Ambiente Interno.

QUALIDADE DO AMBIENTE INTERNO		Pontos
Prereq 1	<b>Desempenho Mínimo da Qualidade do Ar Interno</b>	<b>Obrigatório</b>
Prereq 2	<b>Controle do Fumo</b>	<b>Obrigatório</b>
Crédito 1	<b>Monitoramento do Ar Externo</b>	<b>1</b>
Crédito 2	<b>Aumento da Ventilação</b>	<b>1</b>
Crédito 3.1	<b>Controle da Qualidade do Ar: Durante a construção</b>	<b>1</b>
Crédito 3.2	<b>Controle da Qualidade do Ar: Antes da ocupação</b>	<b>1</b>
Crédito 4.1	<b>Materiais de Baixa Emissão de Compostos Orgânicos Voláteis (VOC): Adesivos e selantes</b>	<b>1</b>
Crédito 4.2	<b>Materiais de Baixa Emissão de VOC: Tintas e vernizes</b>	<b>1</b>
Crédito 4.3	<b>Materiais de Baixa Emissão de VOC: Carpete</b>	<b>1</b>
Crédito 4.4	<b>Materiais de Baixa Emissão de VOC: Madeiras compostas e produtos de agrofibras</b>	<b>1</b>
Crédito 5	<b>Controle Interno de Poluentes e Produtos Químicos</b>	<b>1</b>
Crédito 6.1	<b>Controle de Sistemas: Iluminação</b>	<b>1</b>
Crédito 6.2	<b>Controle de Sistemas: Conforto térmico</b>	<b>1</b>
Crédito 7.1	<b>Conforto Térmico: Projeto</b>	<b>1</b>
Crédito 7.2	<b>Conforto Térmico: Verificação</b>	<b>1</b>
Crédito 8.1	<b>Iluminação Natural e Paisagem: Para 75% dos espaços</b>	<b>1</b>
Crédito 8.2	<b>Iluminação Natural e Paisagem: Para 90% dos espaços</b>	<b>1</b>

Fonte: USGBC, 2014 (Elaboração própria)

Áreas Ventiladas Mecanicamente: Devem atender aos requisitos mínimos das seções 04 a 07 da ASHARE 62.1 – 2007, “Ventilação para qualidade de ar interior aceitável”, usando o procedimento de classificação de ventilação ou a norma local, se for mais exigente.

Áreas ventiladas de forma natural: Devem atender às exigências de localização e tamanho de abertura de janelas conforme os requisitos da norma ASHRAE 62.1 – 2007, Seção 4.1. Atenção para o uso de aparelhos tipo Split, pois não renova o ar. Para usá-lo, combinar grelha para renovação de ar, item obrigatório. Caso haja aumento de 30% da ventilação em relação ao que pede a Norma ASHRAE 62,1-2.007 para ventilação mecânica (*atendido*).

Estabelecer um local externo para fumantes, devidamente sinalizado, distante pelo menos 10 metros da edificação, item obrigatório.

Para sistema de ventilação mecânica: Monitorar os níveis de CO<sub>2</sub>, para as áreas densamente ocupadas (25 pessoas/92 metro<sup>2</sup>) instalando sensor de CO<sub>2</sub> em cada espaço densamente ocupado, sendo instalados entre 0,91 metros e 1,82 metros do piso. Para cada sistema de ventilação mecânica, apresentar um dispositivo instalado ao ar livre externo capaz de medir e garantir pelo menos 15% de renovação do ar, conforme definido pela Norma ASHRAE 62,1-2.007, para sistemas de ventilação mecânica onde 20% ou mais do abastecimento do fluxo de ar projetado serve espaços não densamente ocupados.

Sistema de ventilação natural: Monitorar concentrações do CO<sub>2</sub> dentro de todos os espaços naturalmente ventilados. O sensor de CO<sub>2</sub> deve estar localizado nas salas em altura entre 0,91 metros e 1,82 metros acima do assoalho. Um sensor do CO<sub>2</sub> pode ser usado para monitorar espaços múltiplos se o projeto da ventilação natural usar áreas passivas ou outros meios induzir igualmente e simultaneamente o fluxo de ar através daqueles espaços sem a intervenção dos ocupantes do edifício.

O crédito 1, prover capacidade para verificação e avaliação do sistema de ventilação, de forma a garantir o conforto e bem estar dos ocupantes do edifício (Figura 4.20).



Figura 4.20: Brises verticais articulados, qualidade de ventilação, iluminação e integração com o exterior.



Neste os créditos 4.2, materiais de baixa emissão de VOC, tintas e vernizes empregados. Neste conceito, a pintura das estruturas foi realizada com um produto ambientalmente correto, antitérmico e com baixo índice de volatilidade. Figura 4.21 (*atendido*).



Figura 4.21: Materiais de baixa emissão (Fonte: O autor).

Com relação aos créditos 8.1 e 8.2, favorecer a integração dos ocupantes com o meio ambiente urbano, promovendo iluminação natural para 75% das áreas de living. A iluminação natural é entendida como sendo a contribuição de 270 lux no ambiente, independentemente da quantidade de lux fornecida pelo projeto de luminotécnica. Favorecer a integração dos ocupantes com o meio ambiente urbano, promovendo acesso às paisagens externas, por meio de área envidraçada que esteja entre 0,76 e 2,23 m acima do nível do piso acabado (situação equivalente a uma pessoa sentada), Figura 4.22 (*atendido*).



Figura 4.22: Iluminação natural nas estações do *MagLev-Cobra* (Fonte: O autor).

Na Figura 4.23 apresenta-se o diagrama estrutural do Indicador Qualidade do Ambiente Interno, com as variáveis de entrada e as de saída intermediária, atributos definidos conforme o sistema LEED.

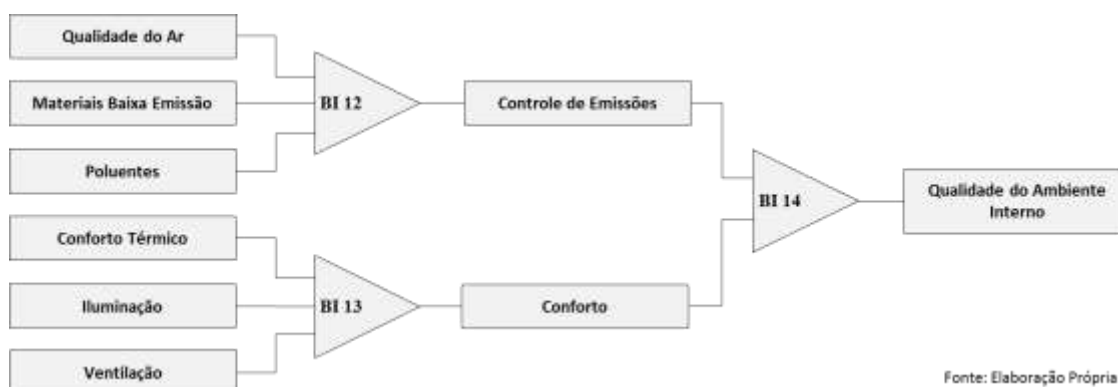


Figura 4.23: Diagrama estrutural do Indicador Qualidade do Ambiente Interno.

#### 4.2.2.6 Inovação no Projeto (*Design*)

O Quadro 4.6 apresenta as exigências requeridas pelo LEED à categoria Inovação no Projeto, com um universo de possíveis seis pontos aos créditos da categoria.

Quadro 4.6: Categoria LEED Inovação no Projeto.

INOVAÇÃO NO PROJETO		Pontos
Crédito 1	<b>Inovação no Projeto:</b>	<b>1 a 5</b>
	Inovação em Projeto e Performance Exemplar	<b>1</b>
	Inovação em Projeto e Performance Exemplar	<b>1</b>
	Inovação em Projeto e Performance Exemplar	<b>1</b>
	Inovação em Projeto	<b>1</b>
	Inovação em Projeto	<b>1</b>
Crédito 2	<b>Profissional Acreditado LEED</b>	<b>1</b>

Fonte: USGBC, 2014 (Elaboração própria)

Para fornecer a equipe de projeto a oportunidade de alcançar um desempenho excepcional acima dos requisitos estabelecidos pelo sistema LEED e/ou desempenho inovador em categorias não especificamente abordadas pelo Building Rating System LEED Green. Os pontos podem ser alcançados melhorando o desempenho nos pré-requisitos ou de créditos além do exigido pelo LEED. Na performance energética, no projeto do sistema de transporte por levitação magnética, no processo construtivo de baixa pegada de carbono, Figura 4.24.

O profissional credenciado no LEED deve ter sido aprovado no exame de qualificação e possuir o conhecimento e as habilidades necessárias para participar do

processo do projeto, dar suporte e estimular a integração do projeto e detalhar o processo de inscrição e certificação.



Figura 4.24: *MagLev-Cobra*, operação Coppe/UFRJ (Fonte: O autor)

Durante toda implantação do projeto, mesmo sendo um protótipo experimental, são observadas preocupações com acessibilidade, reciclagem, conforto interior, qualidade do ar, uso de materiais não agressivos ao meio e retornáveis, do emprego de fontes renováveis e de uma série de atributos em conformidade com a sustentabilidade do ambiente construído, desde o planejamento a sua concepção final (Figura 4.25).



Figura 4.25: Inovação tecnológica, acessibilidade, reciclagem, integração com o meio e mobilidade eficiente.

O Projeto *MagLev-Cobra* é um novo paradigma tecnológico nacional, com possibilidades futuras de exportação. Veículo ecologicamente correto (tecnologia verde): não poluente, silencioso, movido a energia renovável.

### 4.2.2.7 Prioridade Regional

O Quadro 4.7 apresenta as exigências requeridas pelo LEED à categoria Prioridade Regional, com um universo de possíveis quatro pontos aos créditos da categoria.

Quadro 4.7: Categoria LEED Prioridade Regional.

PRIORIDADE REGIONAL		Pontos
Crédito 1	<b>Prioridades Regionais</b>	<b>1 a 4</b>
	SITE - Adequação da acessibilidade externa e interna	1
	SITE - Plano do Impacto ambiental do empreendimento	1
	ÁGUA - Redução do consumo de água (medição setorizada)	1
	ENERGIA - Aquecimento solar (redução de 50% ou 100% do consumo)	1
	MATERIAIS - Gestão de resíduos da construção (limitar o desperdício em no máximo 10% em massa ou volume)	1
	MATERIAIS - Reuso dos materiais (projetar para o desmonte)	1

Fonte: USGBC, 2014 (Elaboração própria)

Para fornecer um incentivo para a realização dos créditos que abordam prioridades ambientais geograficamente específicos. Ganhar 1-4 dos 6 créditos prioridade regional identificados pelos conselhos regionais USGBC e capítulos como tendo importância ambiental para a região do projeto. Um banco de dados de créditos de prioridade regional e suas características geográficas de aplicabilidade está disponível no site do USGBC, <http://www.usgbc.org>. Para o BRASIL existem 6 opções de créditos.

Na Figura 4.26 apresenta-se o diagrama estrutural do Indicador Projeto, com as variáveis de entrada e as de saída intermediária, atributos definidos conforme o sistema LEED.

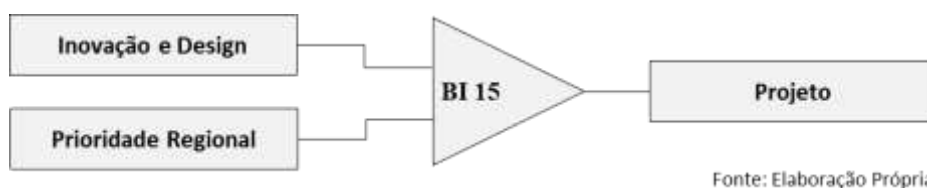


Figura 4.26: Diagrama estrutural do Indicador Projeto.

## 4.3 Processamento do Modelo

Como já referido nos capítulos anteriores a possibilidade de medição da eficiência ambiental de uma edificação através dos diversos métodos de avaliação apresentados, em especial pelo LEED, permite comparar e avaliar as estratégias mais eficientes para um bom desempenho ambiental da edificação. Estas estratégias estão distribuídas nas diversas atividades que compõem as fases de uma construção.

O entendimento do peso das etapas: de planejamento, de projeto, de construção e de uso, dentro dos critérios estabelecidos para avaliação ambiental de uma construção, objetivam indicar em qual das fases é mais importante à implementação de medidas eco eficiente com o intuito de agilizar a tomada de decisão pelos projetistas, e ou especialistas para obter a certificação. No entanto, nem sempre uma edificação em certificação seguirá uma lógica precisa, visto que o processo de projeto pode conter critérios que estão associados a mais de uma área, dada a subjetividade das condicionantes ambientais.

#### 4.3.1 Primeira Etapa:

Como definido no capítulo 3, para desenvolver o sistema *fuzzy* devem ser caracterizadas inicialmente as Variáveis de Entrada e ajustá-las para transformação em Variáveis Linguísticas (*fuzzy*): da definição dos indicadores observados no sistema LEED para o projeto *MagLev-cobra* que irão caracterizar as variáveis de entrada, do universo de discurso destas variáveis, dos seus termos linguísticos e funções de pertinência (conjuntos triangulares *fuzzy*). Estes dados são apresentados na Tabela 4.1, onde são exibidas as características das variáveis de entrada. Na aplicação do modelo todas as variáveis serão consideradas qualitativas.

Tabela 4.1: Variáveis de entrada, termos linguísticos e universo de discurso.

Ident.	Variável de Entrada	Tipo	Universo de Discurso	Termos Linguísticos - Triângulos Fuzzy								
				NA			PA			TA		
				Inf.	Máx.	Sup.	Inf.	Máx.	Sup.	Inf.	Máx.	Sup.
VE 01	Seleção do Terreno	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 02	Remediação de Áreas Contaminadas	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 03	Densidade Urbana e Comunidade Local	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 04	Transporte	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 05	Desenvolvimento do Espaço	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 06	Controle de Enxurrada	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 07	Redução de Ilhas de Calor	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 08	Poluição Luminosa	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 09	Uso Eficiente da Água	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 10	Águas Servidas	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 11	Redução do Consumo de Água	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 12	Performance em Energia	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 13	Comissionamento de Energia	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 14	Medições e Verificações de Energia	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 15	Fontes Renováveis de Energia	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 16	Energia Verde (Sustentável)	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 17	Gases Refrigerantes	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 18	Resíduos da Construção	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 19	Reuso de Materiais	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 20	Reciclagem de Materiais	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 21	Materiais Regionais	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 22	Materiais Renováveis	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 23	Madeira Certificada	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 24	Qualidade do Ar	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 25	Materiais de Baixa Emissão de VOC	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 26	Poluentes	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 27	Conforto Térmico	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 28	Iluminação	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 29	Ventilação	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 30	Inovação e Design	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VE 31	Prioridade Regional	QL	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100

Fonte: Elaboração Própria

A criação das funções de pertinências para os termos *fuzzy* apresentados, de acordo com TANAKA (1997) visa representar as avaliações imprecisas e subjetivas nas opiniões dos especialistas. Foram escolhidos os conjuntos triangulares *fuzzy* pela capacidade que possuem de representar essa incerteza e para que esta seja computada facilmente pelo computador.

#### **4.3.2 Segunda Etapa:**

Modelagem da rede *Neuro-Fuzzy* para obtenção do ISC: emprego dos conceitos de Redes Neurais, incorporando-se as variáveis de entrada de forma estruturada, possibilitando a criação dos indicadores parciais que concorrerão para o ISC aplicado ao estudo de caso - *MagLev-Cobra*. A modelagem final é apresentada na Figura 4.27. Cada neurônio (Bloco de Inferência) será processado segundo os princípios das Redes *Neuro-Fuzzy* ANFIS.

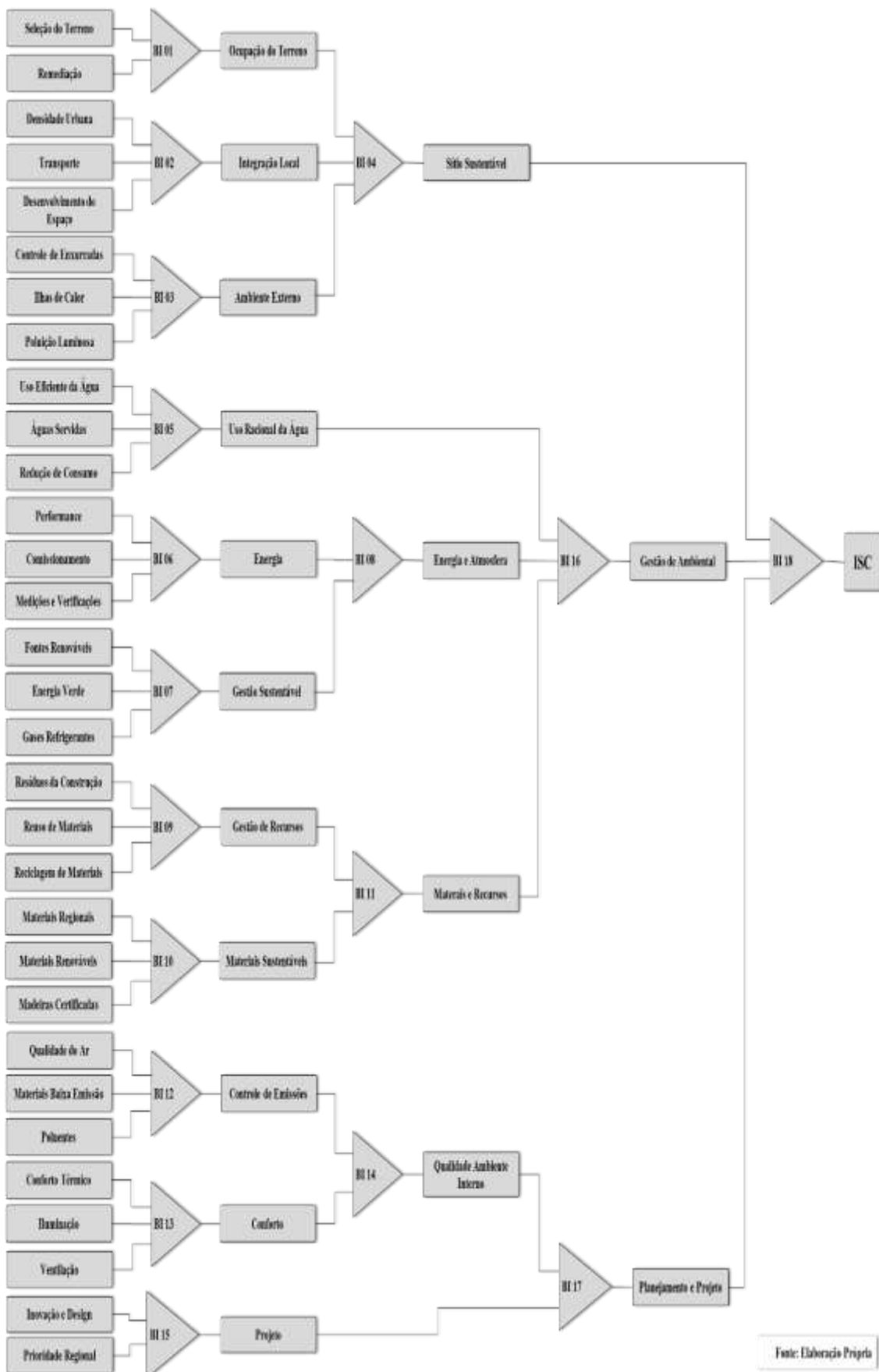


Figura 4.27: Arquitetura *Neuro-Fuzzy* de agregação dos neurônios.

Cabe ressaltar que a arquitetura *neuro-fuzzy* foi apropriada as condicionantes do processo certificador LEED. Demonstrando que os conceitos elencados pela modelagem proposta atendem as diferentes especificidades dos diversos sistemas certificadoros, como evidenciado no capítulo 2.

### 4.3.3 Terceira Etapa:

Caracterização das Variáveis de Saída e adequação para transformação em Variáveis *Fuzzy*: pela rede definida no passo anterior, permitiu-se definir as Variáveis de Saída e, com isso, a definição do universo de discurso, termos linguísticos e funções de pertinência. Essas variáveis são apresentadas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Variáveis de saída intermediárias para o cálculo do ISC.

Ident.	Variável de Saída	Universo de Discurso	Termo Linguístico - Triângulos Fuzzy								
			Não Atendido			Parcialmente Atendido			Totalmente Atendido		
			Inf.	Máx.	Sup.	Inf.	Máx.	Sup.	Inf.	Máx.	Sup.
VS01	Ocupação do Terreno	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VS02	Integração Local	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VS03	Ambiente Externo	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VS04	Sítio Sustentável	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VS05	Uso Racional da Água	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VS06	Energia	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VS07	Gestão Sustentável	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VS08	Energia e Atmosfera	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VS09	Gestão de Recursos	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VS10	Materiais Sustentáveis	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VS11	Materiais e Recursos	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VS12	Controle de Emissões	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VS13	Conforto	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VS14	Qualidade do Ambiente Interno	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VS15	Projeto	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VS16	Gestão Ambiental	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VS17	Planejamento e Projeto	0 a 100%	0	0	30	20	50	80	70	100	100
VS18	Índice de Sustentabilidade da Construção	0 a 80%	(Triângulo fuzzy de acordo com Tabela 4.4)								

Fonte: Elaboração Própria

### 4.3.4 Quarta Etapa:

Definição das *Integrais-Fuzzy*: os neurônios, também identificados como multiplexadores (blocos de inferência) processam as variáveis de entrada e as transformam em pulsos de saída. Eles são dotados de camadas com atividades específicas, seguindo-se o modelo *Neuro-Fuzzy* ANFIS, destacando-se a primeira caracterizada como *Fuzzyficação*, pois recebe as variáveis de entrada e as transforma em conjuntos *Fuzzy*, funções triangulares (Figura 4.28), por intermédio de *Integrais-Fuzzy*, segundo as expressões apresentadas na Tabela 4.3.



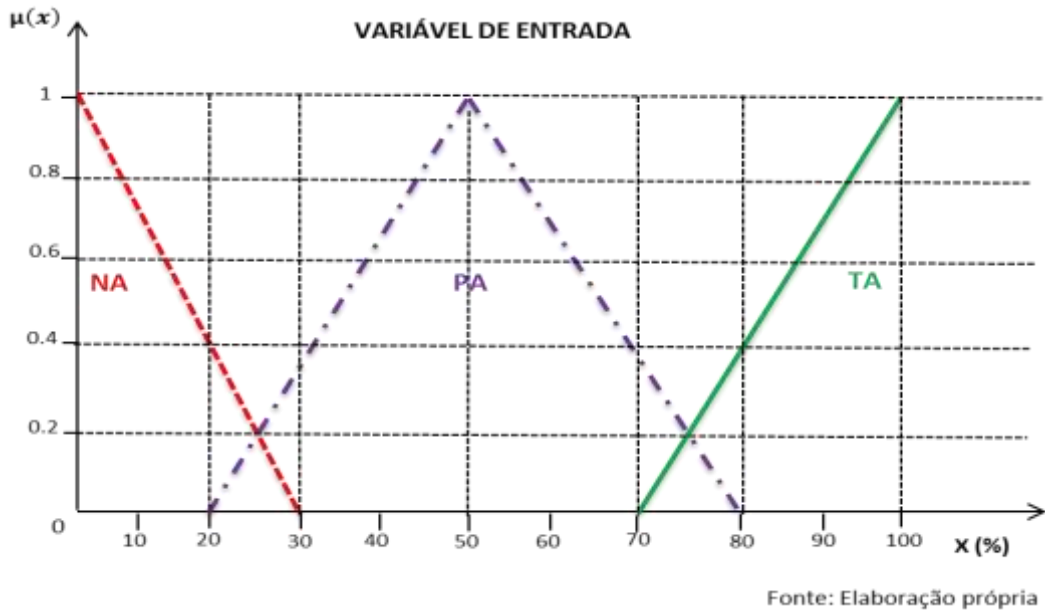


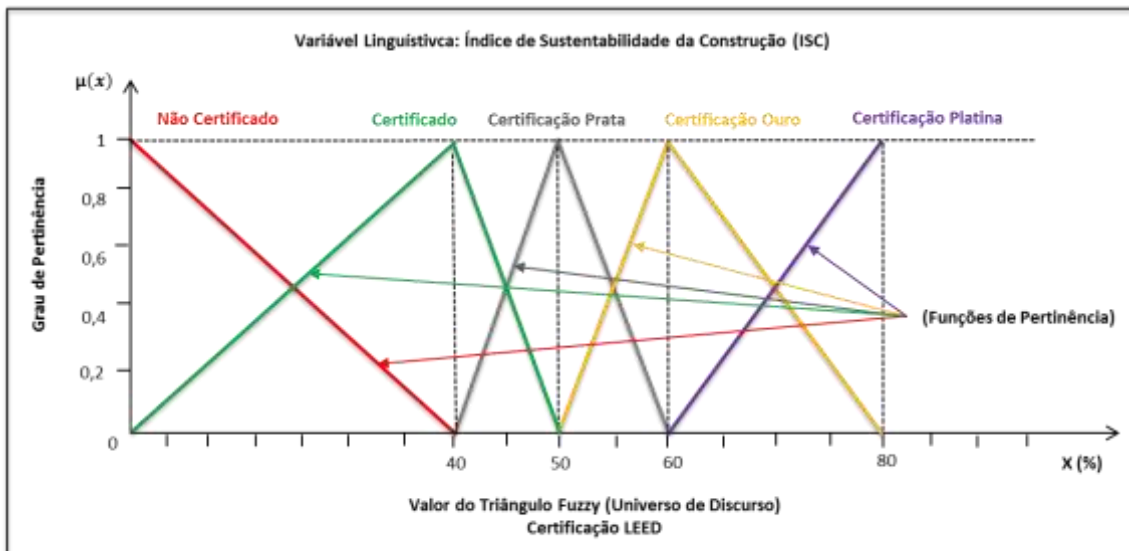
Figura 4.28: Funções de pertinência das variáveis de entrada.

Tabela 4.3: Funções dos conjuntos *fuzzy* para os vetores de entrada.

Variáveis de Entrada		
Termo Linguístico	Função	Integral Fuzzy
Não Atendido (NA)	$\mu(x_{NA}) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \frac{30-x}{30}, & 0 < x \leq 30 \\ 0, & x \geq 30 \end{cases}$	$\mu(x_{NA}) = \int_0^{30} 1 - 0,03x / X$
Parcialmente Atendido (PA)	$\mu(x_{PA}) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \frac{x-20}{30}, & 20 < x \leq 50 \\ \frac{80-x}{30}, & 50 < x \leq 80 \\ 0, & x \geq 80 \end{cases}$	$\mu(x_{PA}) = \int_{20}^{50} 0,03x - 0,7 / X + \int_{50}^{80} 2,7 - 0,03x / X$
Totalmente Atendido (TA)	$\mu(x_{TA}) = \begin{cases} 0, & x \leq 70 \\ \frac{x-70}{30}, & 70 < x \leq 100 \\ 1, & x \geq 100 \end{cases}$	$\mu(x_{TA}) = \int_{70}^{100} 0,03x - 2,3 / X + \int_{100}^{\infty} 1 / X$

Fonte: Elaboração Própria

Para a discretização *fuzzy* da última camada da rede *neuro-fuzzy* a Figura 4.29 representa graficamente a variável ISC dividida em cinco conjuntos *fuzzy* triangulares que representam o estágio final à definição do ISC conforme os parâmetros definidos pela certificação LEED.



Fonte: Elaboração Própria

Figura 4.29: Discretização *fuzzy* da variável de saída ISC.

Neste ajuste destacam-se as funções de pertinência de forma triangular para cada vetor linguístico representados pelas *Integrais-Fuzzy* empregadas na etapa de *fuzzyficação*.

A Tabela 4.4, ilustra os conjuntos *fuzzy* do gráfico da Figura 4.29 correspondentes aos graus de pertinência: Não Certificado, Certificado, Certificação Prata, Certificação Ouro e Certificação Platina, sendo empregado conjuntos triangulares para avaliação da variável ISC.

Tabela 4.4: Conjuntos triangulares *fuzzy* correspondentes aos conjuntos da variável de saída ISC.

Valor do Termo Fuzzy	Nº Triangular Fuzzy			Grau de Pertinência
	Inferior	Máximo	Superior	
80	60	80	80	Certificação Platina
60	50	60	80	Certificação Ouro
50	40	50	60	Certificação Prata
40	0	40	50	Certificado
0	0	0	40	Não Certificado

Fonte: Elaboração Própria

O modelo gera respostas (Rótulos de Saída) em função dos estímulos emitidos pelas variáveis de entrada. Os vetores de saída da camada final são representados pelas *Integrais-Fuzzy* (Tabela 4.5).

Tabela 4.5: Cálculo dos graus de pertinência dos vetores de saída da última camada *neuro-fuzzy*.

Variável de Saída ISC		
Termo Linguístico	Função	Integral Fuzzy
Não Certificado	$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \frac{40-x}{40}, & 0 < x < 40 \\ 0, & x \geq 40 \end{cases}$	$\mu(x) = \int_0^{40} 1 - 0,025x / X$
Certificado	$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \frac{x}{40}, & 0 < x < 40 \\ \frac{50-x}{10}, & 40 \leq x < 50 \\ 0, & x \geq 50 \end{cases}$	$\mu(x) = \int_0^{40} 0,025x / X + \int_{40}^{50} 5 - 0,1x / X$
Certificado Prata	$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 40 \\ \frac{x-40}{10}, & 40 < x < 50 \\ \frac{60-x}{10}, & 50 \leq x < 60 \\ 0, & x \geq 60 \end{cases}$	$\mu(x) = \int_{40}^{50} 0,1x - 4 / X + \int_{50}^{60} 5 - 0,1x / X$
Certificado Ouro	$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 50 \\ \frac{x-50}{10}, & 50 < x < 60 \\ \frac{80-x}{20}, & 60 \leq x < 80 \\ 0, & x \geq 80 \end{cases}$	$\mu(x) = \int_{50}^{60} 0,1x - 5 / X + \int_{60}^{80} 4 - 0,05x / X$
Certificado Platina	$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 60 \\ \frac{x-60}{20}, & 60 < x < 80 \\ 1, & x \geq 80 \end{cases}$	$\mu(x) = \int_{60}^{80} 0,05x - 3 / X + \int_{80}^{\infty} 1 / X$

Fonte: Elaboração Própria

Para processamento das *Integrais-Fuzzy* e *Fuzzyficação* das variáveis de entrada e de saída intermediárias foi desenvolvido um aplicativo informatizado em Microsoft Excel (Apêndice III).

#### 4.3.5 Quinta Etapa:

Criação das regras de inferência e geração dos pulsos de saída: os conjuntos Fuzzy são processados por intermédio de regras de inferência que permitirão a geração dos pulsos de saída pela *defuzzyficação*. Auxiliado por aplicativo desenvolvido em Microsoft Excel (Apêndice III), permitindo-se obterem-se os indicadores parciais e o ISC. Exceto o ISC, as variáveis de saída dos multiplexadores emitem pulsos que representam as entradas parciais para os que estão adiante.

A *defuzzyficação*, conforme descrito nos capítulos anteriores, permite a obtenção de um grau quantitativo atribuído ao vetor linguístico da variável de saída. Utilizando-se

o método centro do máximos apresentado precedentemente desenvolve-se o processo de *defuzificação*.

#### 4.3.6 Sexta Etapa:

Aplicação do modelo: as variáveis de entrada do modelo recebem valores que estão contidos em cada universo de discurso, gerando-se os pulsos de saída, que por sua vez formarão entradas nos próximos Blocos de Inferência (neurônios) da rede *Neuro-Fuzzy* exemplificada na Figura 4.27, até que se possa obter o ISC.

Na Tabela 4.6 são expressos os valores das variáveis de entrada que gerarão a entrada do processo de multiplexação pela rede *neuro-fuzzy*, que após processamento refletem os indicadores parciais e o ISC. Para obter estes resultados foram desenvolvidas e aplicadas planilhas em programa Microsoft Excel, exemplos das mesmas presentes no Apêndice III desta dissertação.

Tabela 4.6: Valores das variáveis de entrada para obtenção do ISC.

Ident.	Variável de Entrada	Valor	Ident.	Variável de Entrada	Valor
VE 01	Seleção do Terreno	92.50	VE 17	Gases Refrigerantes	92.50
VE 02	Remediação de Áreas Contaminadas	24.50	VE 18	Resíduos da Construção	92.50
VE 03	Densidade Urbana e Comunidade Local	88.25	VE 19	Reuso de Materiais	81.88
VE 04	Transporte	92.50	VE 20	Reciclagem de Materiais	75.50
VE 05	Desenvolvimento do Espaço	92.50	VE 21	Materiais Regionais	84.00
VE 06	Controle de Enxurrada	84.00	VE 22	Materiais Renováveis	71.25
VE 07	Redução de Ilhas de Calor	84.00	VE 23	Madeira Certificada	67.00
VE 08	Poluição Luminosa	92.50	VE 24	Qualidade do Ar	92.50
VE 09	Uso Eficiente da Água	88.25	VE 25	Materiais de Baixa Emissão de VOC	71.25
VE 10	Águas Servidas	92.50	VE 26	Poluentes	88.25
VE 11	Redução do Consumo de Água	70.50	VE 27	Conforto Térmico	92.50
VE 12	Performance em Energia	79.75	VE 28	Iluminação	92.50
VE 13	Comissionamento de Energia	92.50	VE 29	Ventilação	62.75
VE 14	Medições e Verificações de Energia	92.50	VE 30	Inovação e Design	62.75
VE 15	Fontes Renováveis de Energia	92.50	VE 31	Prioridade Regional	45.75
VE 16	Energia Verde (Sustentável)	92.50			

Fonte: Elaboração Própria

Uma vez que a proposta à aplicação do modelo objetiva a verificação do ISC, neste caso ajustado ao sistema LEED de certificação da construção sustentável, tem-se como resultado o indicado na Tabela 4.7, onde se apresentam as variáveis de saída intermediárias e o ISC.

Tabela 4.7: Resultado das variáveis de saída para a obtenção do ISC.

Ident.	Variável de Saída	Valor	Grau de Pertinência							
			NA	PA	TA	NC	CE	CP	CO	CT
VS01	Ocupação do Terreno	79.14		0.03	0.30					
VS02	Integração Local	91.27			0.71					
VS03	Ambiente Externo	87.79			0.59					
VS04	Sítio Sustentável	87.69			0.59					
VS05	Uso Racional da Água	87.18			0.57					
VS06	Energia	90.23			0.67					
VS07	Gestão Sustentável	92.50			0.75					
VS08	Energia e Atmosfera	91.43			0.71					
VS09	Gestão de Recursos	86.99			0.57					
VS10	Materiais Sustentáveis	74.70		0.18	0.16					
VS11	Materiais e Recursos	84.07			0.47					
VS12	Controle de Emissões	87.18			0.57					
VS13	Conforto	84.26			0.48					
VS14	Qualidade do Ambiente Interno	85.85			0.53					
VS15	Projeto	52.57		0.91						
VS16	Gestão Ambiental	88.07			0.60					
VS17	Planejamento e Projeto	64.76		0.51						
<b>VS18</b>	<b>Índice de Sustentabilidade da Construção</b>	<b>64.76</b>	<b>NC</b>	<b>CE</b>	<b>CP</b>	<b>CO</b>	<b>CT</b>	<b>0.76</b>		

Fonte: Elaboração Própria

Na observação dos resultados pode-se avaliar a condição de atendimento às categorias definidas pelo LEED embutidas no processo certificatório, podendo ser avaliado de forma qualitativa ou quantitativa pelos especialistas. Estes resultados identificam o grau de certeza do atendimento às exigências dos requisitos de projeto, de construção e de uso/operação do objeto em estudo. Dá aos especialistas uma visão sistêmica dos indicadores envolvidos, podendo estes imputar melhorias ao projeto, identificando possíveis distorções, tendo maior eficiência na apuração das falhas e corrigi-las, a fim de que possa ser acolhido o item reavaliado e erguer as possibilidades de qualificação.

O resultado final é a ponderação feita de todas as variáveis intermediárias, onde a realimentação destas pelos especialistas podem transformar o resultado final melhorando a qualidade do projeto em aditamento das vertentes ambientais exigidas pelo organismo certificador.

Dentro desse processo de avaliação o sistema LEED estabelece uma graduação para formalizar a concessão do certificado de edificação sustentável, que infere ao

edificado o grau: de simplesmente certificado e de certificado com as denominações prata, ouro e platina que indicam o quanto uma construção é considerada sustentável.

Desta forma, o valor da variável de saída final ISC, este valor na Tabela 4.8, Interpretação da escala do Índice de Sustentabilidade da Construção, baseada no gráfico da Figura 4.29 grau de pertinência  $\mu(x=64.76) = 0,76$ , indica que o ISC obtido corresponde a “certificação ouro” (Certificação LEED), o que define o projeto *MagLev-Cobra*, favoravelmente sustentável, dentro das características da sustentabilidade, ou seja, que contribui para o bem-estar econômico e social interferindo de forma mitigatória ou mínima a saúde humana e o meio ambiente, mas que deve melhorar os pontos ambientalmente frágeis a fim de melhorar este desempenho, como pode ser observado no gráfico de resultados da Figura 4.30.

Tabela 4.8: Interpretação da escala do ISC, de acordo com o sistema LEED.

NÍVEIS DE CLASSIFICAÇÃO	PONTUAÇÃO
Não Certificado	$0 \leq \text{ISC} < 40$
Certificado	$40 \leq \text{ISC} < 50$
Prata	$50 \leq \text{ISC} < 60$
Ouro	$60 \leq \text{ISC} < 80$
Platina	$\text{ISC} \geq 80$

Fonte: (GBC do Brasil, 2014)

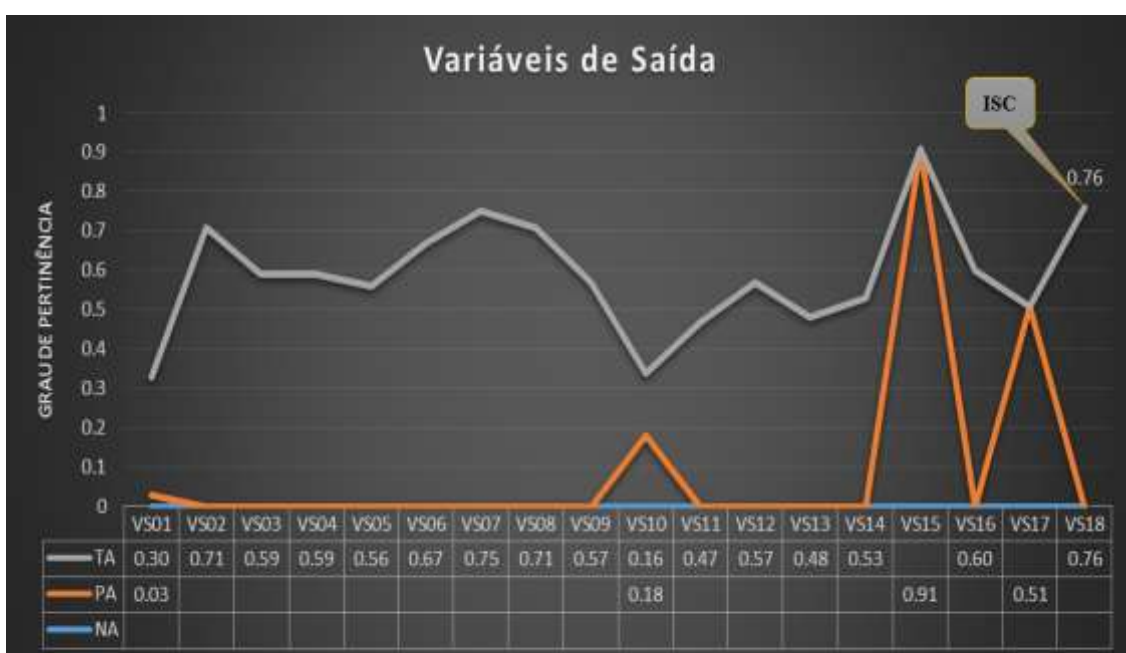
#### 4.4 Análise dos Resultados

Considerando os valores já normalizados, foi possível determinar um índice de sustentabilidade para a obra *MagLev-Cobra*. Observados os detalhes construtivos, no acompanhamento *in loco* no canteiro de obras, no detalhamento de projeto (arquitetônico, estrutural, de instalações, de proteção, etc.), na aplicação do modelo adaptado às condicionantes do sistema LEED, que fundamenta a Rede *Neuro-Fuzzy* (Figura 4.27) desenvolvida.

Os resultados se mostram satisfatórios, qualificando do projeto *MagLev-Cobra* a nível de certificação ouro, dentro das categorias indicadas pelo sistema LEED. Desta forma, a modelagem se mostrou eficaz, gerando um ISC com um grau de pertinência  $0,76$ , indicando que o empreendimento está dentro das características de sustentabilidade exigidas à certificação ambiental.

A partir da Tabela 4.7, que representa as variáveis de saídas, elabora-se o gráfico apresentado na Figura 4.30. A representação dos conjuntos *fuzzy* facilita a compreensão dos resultados esboçados. De fácil visualização, indica de forma clara os parâmetros que necessitem de retrabalho, possibilitando a adequação do projeto *MagLev-Cobra* às necessidades preeminentes de uma construção sustentável.

Na leitura gráfica observam-se algumas distorções que podem ser reavaliadas pelos especialistas envolvidos no projeto *MagLev-Cobra*, melhorando o seu desempenho. Essa é uma das vantagens da tecnologia *Neuro-Fuzzy*, sua capacidade de auto aprendizado, auto organização e auto direcionamento, imitando a capacidade humana do processo de tomada de decisão.



Fonte: Elaboração Própria

Figura 4.30: Conjuntos *fuzzy* das variáveis de saída (Tabela 4.7).

Algumas vantagens podem ser atribuídas a essa aplicação, como a objetividade na obtenção das informações junto aos especialistas, a baixa complexidade matemática da tecnologia e a grande flexibilidade da ferramenta. Essa última vantagem na utilização da Tecnologia *Neuro-Fuzzy* é atribuída à possibilidade de inserção ou retirada de variáveis do modelo de forma simples, seguindo o procedimento de construção apresentado nessa dissertação.

Observa-se então que a aplicação do procedimento proposto não é apenas útil para concluir pelo modo mais sustentável, mas também mostra os pontos fracos do empreendimento avaliado o que permite a proposta de medidas mitigadoras, melhorando ainda, quando implementadas, o desempenho do parâmetro selecionado.

Assim, o modelo desenvolvido pode ser utilizado como ferramenta de auxílio para a tomada de decisão por diversos atores que interagem numa construção. Pela facilidade adaptativa de sua arquitetura á sistemas diversos de avaliação ambiental, quanto à seleção mais favorável para o desenvolvimento das atividades ambientalmente corretas, em todas as etapas da obra.

Dos resultados expostos evidencia-se, inicialmente, o resultado do ISC, caracterizando o projeto *MagLev-Cobra* como Sustentável. A Tabela 4.7 e o gráfico da figura 4.30 apresentam os resultados, permitindo-se que o especialista possa avaliar sobre as partes do processo construtivo que são mais críticas, ou seja, as que merecem mais atenção e que possam indicar possíveis atitudes gerenciais, tais como alocação de recursos, necessidades de emprego de novas tecnologias, na adequabilidade de projeto para atendimento a requisitos ambientais, do emprego de novos materiais e/ou de fornecedores comprometidos com a sustentabilidade, etc..

Ao lidarem de uma forma holística com o conceito “edifício sustentável”, os sistemas certificadores fornecem indicações aos seus utilizadores acerca dos parâmetros e respectivo nível de desempenho que é preciso salvaguardar para que os edifícios sejam sustentáveis. É neste contexto, que a submissão da metodologia LEED à modelagem se mostrou de grande valia, denotando-se algumas vantagens:

- ✓ A lógica *fuzzy* uma interface de auto nível, de rápida computação e amigável para programar, permitindo que o especialista se concentre nos objetivos funcionais em vez dos detalhes matemáticos. Por outro lado as RNA são convenientes para a extração de conhecimento através do aprendizado;
- ✓ Facilidade de gerir eficazmente variáveis qualitativas e quantitativas, natureza das variáveis ambientais;
- ✓ Flexibilidade em função da possibilidade de inserção ou retirada de variáveis de forma simples seguindo o procedimento de construção da arquitetura *neuro-fuzzy*;



- ✓ Facilidade na implementação da modelagem em um ambiente de planilha eletrônica;
- ✓ Finalmente, a maior vantagem do desenvolvimento do ISC é para os diferentes atores que participam do projeto, que disporão de uma ferramenta para auxiliar na tomada de decisão.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A concepção, construção e utilização sustentável de edificações baseiam-se na avaliação da pressão ambiental e de aspectos funcionais (relacionados com os códigos de construção e com as características psicossociais dos usuários) e na análise dos custos associados ao seu ciclo de vida. Sempre que algo é retirado do ambiente como recurso ou a este devolvido como resíduo ou emissão gasosa há um impacto ambiental, o que diminuiu ou ameaça a disponibilidade de recursos, os ecossistemas e a saúde. A concepção sustentável procura uma maior compatibilidade entre os ambientes artificial e natural sem contudo comprometer os requisitos funcionais das edificações e dos seus elementos, assim como a viabilidade econômica da obra.

Nesta conjuntura, se insere a mobilidade urbana pela magnitude de seus impactos ambientais. Entre os diferentes impactos ambientais que podem ser gerados (ruído, ocorrências indesejáveis, diminuição de espécies vegetais/animais, mudanças do uso do solo, etc.) o setor de transporte é definido como uma das atividades humanas que mais contribuem na poluição do ar. Esta situação acontece pelo emprego, quase exclusivo, de combustíveis fósseis, emissores de diferentes poluentes atmosféricos, principalmente do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que é o gás que mais contribui para o aumento da concentração dos gases estufa na atmosfera.

É neste universo de discurso, que o projeto *MagLev-Cobra* se insere como balizador do modelo proposto dessa dissertação. Uma tecnologia veicular inovadora, o *MagLev-Cobra* se apresenta à mitigação de impactos ambientais negativos em comparação com outras modalidades, por tratar-se de tecnologia inovadora, fora dos atuais padrões de transporte urbano (SECENA, 2012).

Feita avaliação das ferramentas mais empregadas na certificação de uma obra, observa-se a similaridade de conceitos e exigências dentro das vertentes ambiental, social e econômica, tripé da sustentabilidade. Formando uma homogeneidade nos seus objetivos e conceitos, verificados e ilustrados no capítulo 2 dessa dissertação, onde foram sintetizadas as abrangências dos sistemas empregados por organismos certificadores de obras.

Procedimentos que foram desenvolvidos em função de cenários são usados para medir o índice de sustentabilidade de um empreendimento qualquer, demonstrada a facilidade de aplicação e de adaptação à sistemas certificadores internacionais de obras.

A fundamentação teórica e a utilização de métodos e ferramentas, que vem sendo utilizadas de modo intenso em pesquisas acadêmicas, faz com que o modelo *Neuro-Fuzzy* esteja sustentado sobre profundas bases.

Assim, há a necessidade de selecionar, racionalmente, o processo construtivo, mais sustentável, acompanhando e controlando as diversas atividades realizadas na construção, mensurando alguns parâmetros representativos da qualidade do meio ambiente, conhecidos por indicadores ambientais. O uso desses indicadores permite quantificar, analisar e traduzir fenômenos ambientais, de modo a torná-los compreensíveis às partes interessadas. Possibilita também o planejamento e o controle da qualidade de serviços e processos, pelo estabelecimento de padrões, pela comparação com estes e pela apuração dos desvios ocorridos, viabilizando a análise da qualidade verificada nos diversos segmentos da obra.

Como os diversos indicadores se referem cada um apenas a um componente do meio ambiente é necessário criar uma forma de tratá-los de forma integrada de forma a permitir a avaliação global do desempenho do objeto de estudo. Esta forma integrada é chamada de índice de sustentabilidade da construção.

Os índices são resultados da combinação de diversas variáveis em um só valor. A sua utilização revela-se importante no sentido de tornar os dados científicos mais facilmente utilizáveis por tomadores de decisão, técnicos, gestores, cientistas, políticos, grupos de interesse (exemplo, organizações não governamentais) ou pelo público em geral.

Assim, para se obter um índice, processos sistemáticos de atribuição de pesos relativos, escalas e agregação de variáveis em um resultado único devem ser empregados.

Dada a subjetividade e a nebulosidade dos problemas ambientais, os especialistas ou tomadores de decisão, geralmente vêem o desempenho ambiental em termos de variáveis linguísticas. Os indicadores para o cálculo do Índice (ISC) são avaliados ou medidos alguns em termos qualitativos e outros quantitativamente, precisando-se de uma

ferramenta que permita a associação destes indicadores convergindo a um único parâmetro de avaliação.

A Lógica *Fuzzy* é uma técnica que permite tratar simultaneamente parâmetros de diversas naturezas isto é, permite integrar os indicadores dos diversos componentes ambientais que podem ser afetados em particular pela atividade da construção.

O projeto do *Maglev-Cobra* é uma alternativa moderna e que promete resolver a maior parte dos problemas mais comuns dos meios de transporte tradicionais, sendo a solução mais ecológica, econômica, técnica, política e socialmente correta (STEPHAN, 2007). A partir dos resultados obtidos, com a aplicação do modelo *Neuro-Fuzzy* proposto, constata-se essa condição ambiental também na construção, que inferiu um ISC em conformidade com as categorias de avaliação ambiental da construção definidas pelo LEED, sistema de avaliação ambiental com o maior número registro de edificações certificadas no Brasil.

### **5.1 Vantagens e Desvantagens**

Como vantagens do procedimento, observadas especialmente durante o desenvolvimento do estudo de caso podem ser destacadas:

- ✓ Facilidade para avaliar o grau do dano que as diferentes atividades da construção podem provocar no meio ambiente, pela participação de especialistas da área;
- ✓ Facilidade de gerir eficazmente variáveis qualitativas e quantitativas, natureza das variáveis ambientais;
- ✓ Flexibilidade em função da possibilidade de inserção ou retirada de variáveis de forma simples seguindo o procedimento de construção da arquitetura;
- ✓ Facilidade de construção de cenários para avaliar a sensibilidade do procedimento;
- ✓ Facilidade na variação de pesos atribuídos as variáveis minimizando ou incrementando a importância dessas, segundo o objetivo da avaliação;
- ✓ Facilidade para avaliar o desempenho da construção em forma detalhada em cada um das camadas da arquitetura que a compõem, comportando-se como uma pirâmide de informação;

- ✓ Facilidade na implementação da modelagem em um ambiente de planilha eletrônica.

Finalmente, a maior vantagem do desenvolvimento do ISC é para os diferentes atores (governo, empresa, sociedade) que participam do empreendimento, que disporão de uma ferramenta para auxiliar na tomada de decisão.

Este Índice é de importância para os *stakeholders* por facilitar a sua tarefa de fiscalização, para a empresa por ajudá-los no cumprimento da legislação evitando o pagamento de multas de valores significativos e para a sociedade por promover uma maior qualidade de vida.

O estudo de caso desenvolvido para mostrar a aplicabilidade do procedimento proposto confirma todas as vantagens aqui expressas.

Como limitações e dificuldades do procedimento proposto podem ser destacadas: a necessidade de limitar o número de variáveis linguísticas, que nesta dissertação limitou-se em no máximo de 3 (três) em cada bloco de inferência, de modo a reduzir o número de regras oriundas da combinação destas variáveis. A necessidade da incorporação da experiência acumulada e de especialistas para a tomada de decisão, nas etapas de geração dos conjuntos *fuzzy*, elaboração de base de regras e ponderação das variáveis ou parâmetros. A necessidade da atribuição de pesos diferenciados para um mesmo parâmetro e/ou variável dependendo de cada ocorrência específica, em função das características físicas locais, principalmente. Desta forma, a fase de atribuição de pesos pode ser morosa e necessita do conhecimento *in situ* das ocorrências ambientais.

## 5.2 Recomendações

Com vistas ao desenvolvimento de trabalhos futuros, para dar continuidade ao presente, recomenda-se:

- ✓ A inclusão nesta avaliação das variáveis de benefício e custo da construção para assim obter uma visão global da sustentabilidade do projeto;
- ✓ O emprego de outras técnicas de apoio à decisão, como a análise multicritério comparando-se os resultados obtidos com ambos procedimentos.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR e OLIVEIRA Jr. (2007). *“Inteligência Computacional aplicada à administração, economia e engenharia em Matlab”*. São Paulo: Thomson Learning.

ALMEIDA, P. E. (2003). *“Sistemas Inteligentes: fundamentos e aplicações. Fuzzy”*. In: REZENDE, S. O. (Org.). São Paulo: Manole.

ANINK, D.; BOONSTRA, C.; MAK, J. (1996). *“Handbook of Sustainable Building, an Environmental Preference Method for Selection of Materials for Use in Construction and Refurbishment”*. London, UK: James & James Limited, pgs. 176.

AQUA (2014). *“Referencial Técnico de Certificação para edifícios habitacionais versão março/2014”*, Fundação Vanzolini. Disponível em: <<http://www.aqua-hqe.com.br>>. Acesso em: 20 maio 2014.

BEZERRA, M. C.; FERNANDES, M. A. (2000). *“Cidades sustentáveis: subsídios à elaboração da Agenda 21 brasileira”*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, IBAMA. 155pgs.

BLANA, Evi (2003) *“Transport and Land Use EU-funded Urban Transport Research Project Results”*. Disponível em: <[www.eu-portal.net/material/downloadarea.pdf](http://www.eu-portal.net/material/downloadarea.pdf)>. Acesso em: 25 agosto 2014.

BORBA, Ana Emília de Oliveira (2009). *“Proposta de indicadores de sustentabilidade para a Construção Civil”*. Dissertação de pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade de Pernambuco. Escola Politécnica de Pernambuco.

BRAGA, A. P.; CARVALHO, A. P. L. F.; LUDEMIR, T. B.(2000). *“Redes neurais artificiais: teoria e aplicações”*. Rio de Janeiro: LTC, 262 pgs.

BRAGA, M. J. F.; BARRETO, J. M.; MACHADO, M. A. S. (1995). *“Conceitos da Matemática Nebulosa na Análise de Risco”*. Rio de Janeiro: Artes & Rabiscus.

BRAGANÇA, L. e MATEUS, R. (2006). *“Tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção”*. Porto: Edições Ecopy.

BRAGANÇA, L., (2008). *“Avaliação da Sustentabilidade de Edifícios”*. Seminário Green It. INETI, Lisboa.

BREEAM (2014). *“BREEAM International New Construction Technical Manual 2013”*, BRE Global 2012. Disponível em: <<http://www.breeam.org>>. Acesso em: 11 setembro 2014.

BRUNDTLAND, Gro Harlem (1987). *“Our common future: The World Commission on Environment and Development”*, Oxford University.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (2009). *“Caixa Lança Selo para Empreendimentos Habitacionais Sustentáveis”*. Brasília, DF. Disponível em: <<http://www1.caixa.gov.br>>. Acesso em: 10 novembro 2014.

CAMINHAS, W., TAVARES, H., GOMIDE F. e PEDRYCZ, W. (1999). *“Fuzzy sets based neural networks: Structure, learning and applications”*. Journal of Advanced Computational Intelligence, V. 3(3), pgs151 - 157.

CANTALAPIEDRA, I. R.; BOSCH, M.; LÓPEZ, F. (2006). *“Involvement of Final Architecture Diploma Projects in the Analysis of the UPC Buildings Energy Performance as a Way of Teaching Practical Sustainability”*. Journal of Cleaner Production, Oxford, V. 14, n. 9/11, pgs. 958-62.

CEOTTO, L. (2005) *“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.

CHIU, Chui-Yu; PARK, Chan S. (1994). *“Fuzzy cash flow analysis using present worth criterion”*. The Engineering Economist, V.39, pgs. 113-137.

CIB (1999). *“International Council for Research in Innovation in Building and Construction (CIB)”*. Agenda 21 on Sustainable Construction, CIB Reporter publication, Rotterdam, pgs. 237.

COLE, R.J. (2005) *“Building environmental assessment methods: redefining intentions and roles”*. Building Research & Information. n. 35, pgs. 455-467.

CORNELISSEN, A. M. G. (2001) et al. “*Assessment of the contribution of sustainability indicators to sustainable development: A novel approach using fuzzy set theory. Agriculture, Ecosystem and Environment*”. S.l.: Elsevier, V. 86, n. 2, pgs. 173-185.

COSENZA, H.J.S.R.; MORÉ, V.D. e CARVALHO, J.B.B. de C. (2006). “*Aplicação da Lógica Fuzzy em um Modelo para Hierarquização de Produtos e Serviços - Caso da Polibrasil S.A*”. Salvador - BA.

COSTA BRANCO, F. L.; DENTE, J. A. (1998). “*Design of an Electro-Hydraulic System Using Neuro-Fuzzy Techniques*”, Mechatronics Laboratory. Department of Electrical and Computer Engineering. Instituto Superior Técnico, Lisboa. Portugal.

COSTA, A. J. (2004). “*Perception of disability in a public health perspective: a model based on fuzzy logic*”. International Journal of Medical Informatics, Clare, V. 73, n. 7/8, pgs. 647-656.

COSTA, M. S. (2008). “*Um Índice de Mobilidade Urbana Sustentável*”. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos.

COSTA, P. T. (2003). “*Uma análise do consumo de energia on transportes nas cidades portuguesas usando redes neurais artificiais*”. Dissertação Mestrado – Universidade do Minho, Minho - Portugal.

COUTO, J. P.; COUTO, A. M. (2007). “*Construction Sites Environment Management: establishing measures to mitigate the noise and waste impact*”. In: PORTUGAL SB07 Sustainable Construction, Materials and Practices, Lisboa. Challenges of the Industry Form the New Millennium. Amsterdam: IOS Press.

COX, Earl (1995). “*Fuzzy logic for business and industry*”. Massachusetts: Charles River Media Inc.

CPDS - “*Comissão de Políticas de desenvolvimento Sustentável e da AGENDA 21 Nacional*”. Agenda 21 brasileira: Ações prioritárias. Brasília, DF: MMA: PNUD, 2002b.



CURY, M. V. Q.(1999). “*Modelo Heurístico Neuro-Fuzzy para Avaliação Humanística de Projetos de Transporte Urbano*”. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

CYBENCO, G. (1988). “*Continuous Valued Neural Network with two Hidden Layers are Sufficient*”. Technical Report, Department of Computer Science, Tufts University.

CYBENKO, G. (1989). “*Approximation by superposition's of a sigmoidal function*”. The Canadian journal for Chemical Engineering, Illinois, V. 69, n. 4, pgs. 997-1009.

DELGADO, M. R. (2002) “*Projeto Automático de Sistemas Nebulosos: uma abordagem co evolutiva*”. Tese de Doutorado, UNICAMP.

DETR (1994) - DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT, TRANSPORT AND THE REGIONS. “*Indicators of sustainable development for the United Kingdom*”. Londres: pub HMSO.

DRIANKOV, D.; HELLENDORRN, H.; and REINFRANK, M. (1993). “*An Introduction to Fuzzy Control*”. Springer-Verlag.

DVORAK, Antonin (2003) et al. “*The concept of LFLC 2000 - its specificity, realization and power of applications*”. Computers in Industry. S. l.: Elsevier, V. 51, n. 3, pgs 269-280.

FARRER, H. et. al. (1989). “*Algoritmos Estruturados*”. Editora Guanabara.

FERNANDES, Ana Maria da Rocha (2003). “*Inteligência artificial: noções gerais*”. Santa Catarina, Visual Books.

FERREIRA, L. (2009). “*Aplicação de sistemas fuzzy e neuro-fuzzy para predição da temperatura retal de frangos de corte*”. Dissertação - Universidade Federal de Lavras.

FILIPPO, S. (2008). “*Metodologia para Gerenciamento do Passivo Ambiental de Rodovias utilizando Métodos de Apoio à Tomada de Decisão*”. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Rio de Janeiro – PET– COPPE.

FUNDAÇÃO Carlos Alberto Vanzolini (2014). “*Referencial Técnico de Certificação: Edifícios do Setor de Serviços - Processo AQUA*”. Disponível em: <[www.vanzolini.org.br](http://www.vanzolini.org.br)>. Acesso em: 10 dezembro 2014.

FUNDAÇÃO VANZOLINI, (2008). “*Referencial Técnico de Certificação: edifícios do setor de serviços*”. Processo AQUA. São Paulo.

GBC BRASIL - GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. Home Page. 2014. Disponível em: <<http://www.gbcbrazil.org.br>>. Acesso em: 10 dezembro 2014.

GIARRATANO, J. C. & RILEY, G. D. (1998). “*Expert Systems: Principles and Programming, Third Edition*”. Course Technology, 3 edition.

GIBBERT, J. (2001). “*The sustainable building assessment tool - assessing how building can support sustainability, in developing countries*”. In: CONTINENTAL SHIFT, IFI INTERNATIONAL CONFERENCE. 11 - 14 setembro de 2001, Joanesburgo, África do Sul. Anais.

GOLDBARG, M.C. e LUNA, H.P. (2000). “*Otimização combinatória e programação linear*”. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 649pgs.

GONÇALVES, Joana, DUARTE, Denise (2006). “*Arquitetura Sustentável*”. Uma integração entre Ambiente, Projeto e Tecnologia em Experiências de Pesquisa, Prática e Ensino. Ambiente Construído, V. 6, pgs. 51-81.

HARDI, Peter; BARG, Stephan (1997). “*Measuring Sustainable Development: Review of Current Practice*”. International Institute for Sustainable Development, Industry. Canada. Occasional Paper Number 17.

HAYKIN, S. (2001). “*Redes neurais: princípios e prática*”. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman. 900 pgs.

HECHT-NIELSEN, R. (1989). “*Neuro computing*”. Boston: Addison-Wesley Longman.

HETZEL, J. (2003). “*Haute Qualite Environnementale Du Cadre Bati. Enjeux Et Pratiques*”. Paris: AFNOR.

HIROTA, H.; PEDRYCZ, W. (1994). “*And/or neuron in modelling fuzzy set connectives*”. IEEE Transaction on Fuzzy Systems, V. 2, pgs. 151-161.

HOKAMA, P. H. D. B. (2008). “*Raciocínio Fuzzy - Introdução a Inteligência Artificial Instituto de Computação*”. Universidade Estadual de Campinas.

HQE – “*High Quality Environmental standard (Haute Qualité Environnementale)*”. Disponível em: <<http://www.behqe.com>>. Acesso em: 20 junho 2014.

HUAMANI, Ivette R. Luna, (2003). “*Redes Neurais Fuzzy Aplicadas em Identificação e Controle de Sistemas*”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, UNICAMP, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial, Campinas - SP.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2014). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 junho 2014

ISO 14001:2004: “*Guia de Apoio à Implementação de Sistemas de Gestão Ambientais*”.

JACOBI, Pedro, (1999). “*Meio ambiente urbano e sustentabilidade: alguns elementos para a reflexão*”. In: CAVALCANTI, Clóvis. (Org.). Meio ambiente, desenvolvimento sustentável e políticas públicas. São Paulo: Cortez.

JAFELICE, Rosana Sueli da Motta; BARROS, Laércio Carvalho de; BASSANEZI, Rodney Carlos, (2005). “*Teoria dos Conjuntos Fuzzy com Aplicações*”. SBMAC – Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional, São Carlos/São Paulo, ISBN 85-7651-020-0.

JAIN, L. C. e R. K. JAIN (1997). “*Advances in Fuzzy Systems - Applications and Theory*”. Hybrid Intelligent Engineering Systems. World Scientific, V. 11.

JANG, J.S.R. (1993). “*ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system*”. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, V. 23, n. 3, pgs. 665–685.

JANG, J.S.R.; SUN, C.-T.; MIZUTANI, E. (1997). “*Neuro-fuzzy and soft computing*”. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 614 pgs.

- KANDEL, E.R.; HAWKINS, R.D. (1992). *“The biological basis of learning and individuality”*. Scientific American, 267 pgs.
- KIBERT, C., (1994). *“Establishing Principles and a Model for Sustainable Construction”*. Proceedings of the First International Conference on Sustainable Construction. Tampa, EUA.
- KIBERT, Charles J. (2008). *“Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery”*, 2ª edição.
- KOHAGURA, T. (2007). *“Lógica fuzzy e suas aplicações”*. Departamento de Computação - Universidade Estadual de Londrina.
- KOSKO, B. (1997). *“Fuzzy Engineering”*. New Jersey - USA: Prentice Hall.
- LEE, C.C (1990). *“Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller, part I and II”*. IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics, V. 20, pgs. 404-435
- LEED *“LEED v4 (2013) for new construction and major renovations”*, US Green Building Council. Disponível em: <[www.usgbc.org](http://www.usgbc.org)>, <[www.gbcbrasil.org.br](http://www.gbcbrasil.org.br)>, Acesso em: 30 junho 2014.
- LEWIS, F. L.; CAMPOS, J.; SELMIC, R. (2002). *“Neuro-Fuzzy Control of Industrial System with Actuator Nonlinearities”*, Philadelphia.
- LEWIS, H. W. (1997). *“The Foundations of Fuzzy Control”*. New York: Plenum Press.
- LIPPMANN, R.P. (1987). *“An introduction to computing with neural nets”*. IEEE ASSP Magazine, [S.l.], V. 4, n. 2, pgs. 4-22.
- LUDWING Jr., O. & MONTGOMERY E. (2007). *“Redes Neurais Fundamentos e Aplicações com Programas em C”*, Rio de Janeiro – RJ, Editora Ciência Moderna Ltda.
- MACÁRIO. M, R, M, R. (2005). *“Quality Manangement in Urban Mobility Systems: an Integrated Approach”*. Tese (Doutorado) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

MALUTTA, César (2004). “*Método de apoio à tomada de decisão sobre a adequação de aterros sanitários utilizando a Lógica Fuzzy*”. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 221 pgs.

MAMDANI, E. H. (1976). “*Advances in the linguistic syntesis of fuzzy controllers*”. Int. J. Man-Mach. Stud., V. 8, pgs. 669-678.

MANDANI, E.H. & ASSILLAN, S. (1975). “*An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller*”. International Journal of Man-Machine Studies, V. 7, pgs. 1-13.

MANDANI, E.H. (1974) “*Application of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant*”. Proceedings of the IEE (Control and Science), V. 121, pgs. 298-316.

MAMDANI, E.H. (1977). “*Applications of Fuzzy Logic to Approximate Reasoning using Linguistic Synthesis*”, IEEE Trans. Computers, V. 126, pgs. 1182-1191.

MARRO, A. A., SOUZA, A. M. C., CAVALCANTE, E. R. S., BEZERRA, G. S., NUNES, R. O. (2010). “*Lógica Fuzzy: conceitos e aplicações*”. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) Natal – RN – Brasil.

MASTERS, T. (1994). “*Signal and image processing with neural networks - a C++ Sourcebook*”. New York: John Wiley & Sons, 417 pgs.

MATELLO, Fernanda (2012). “*Projeto Arquitetônico MagLev-Cobra da Coppe/UFRJ*”. LASUP/Coppe/UFRJ. Rio de Janeiro.

MATEUS, R. (2006). “*Tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção*”. Editora Prometeu – Edições Ecopy, Porto.

McCULLOCH, W. S.; PITTS, W. (1943). “*A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity*”. Bulletin of Mathematical Biophysics, V. 5, pgs. 105-133.

MELLO, R. (2012). “*The use of fuzzy logic for real estate assessment and applications*”. Revista Produção Online, Florianópolis, SC, V.12, n. 4.

MENDEL, Jerry M. (1995) *“Fuzzy Logic Systems for Engineering: A Tutorial”*. Proc. IEEE.

MENDES FILHO, E. F. (1997). *“Evolutionary Design of MLP Neural Network Architectures”*. IV Brazilian Symposium on Neural Networks, IEEE Computer Press, Goiania, Brazil.

MENDES FILHO, E. F. (2014). *“Uma introdução às Redes Neurais Artificiais”*. Disponível em: <[http://sites.uol.com.br/elson\\_mendes/rn/index.html](http://sites.uol.com.br/elson_mendes/rn/index.html)>. Acesso em: 30 junho 2014.

MINSKY, M. L.; PAPPERT, S. (1969). *“Perceptron: an introduction to computational geometry”*. Cambridge: MIT Press.

MME - *Ministério de Minas e Energia* (2009). *De olho no Meio Ambiente*. Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 01 julho 2014.

MOLO, M. (2007). *“Desenvolvimento de um sistema para diagnostico preventivo de laminite em bovinos de leite utilizando logica Fuzzy”*. UNICAMP. Faculdade de Engenharia Agrícola. Disponível em: <[http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/.](http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/)>. Acesso em: 15 julho 2014.

MORAES, O.B. (2008). *“Método de Análise de Dados para Avaliação de Áreas Urbanas Recuperadas – Uma Abordagem – Utilizando a Lógica Fuzzy”*. São Paulo - SP.

MORÉ, J. D. (2004). *“Aplicação da lógica fuzzy na avaliação da confiabilidade humana nos ensaios não destrutivos por ultrassom”*. Tese - UFRJ - Engenharia Metalúrgica e de Materiais, 2004.

MORIN, Edgard (2002). *“Reformar o pensamento: repensar a reforma, a cabeça bem feita”*. Lisboa: Instituto Piaget. 137pgs.

OECD - Organization for Economic Co-operation and Development (2001). *“Sustainable Development”*. Critical issues, Paris.

OLIVEIRA Jr., H. A. (1999). *“Lógica Difusa: Aspectos Práticos e Aplicações”*. Rio de Janeiro.

ORTEGA, N.R.S. (2001), “*Aplicação da Teoria de conjuntos Fuzzy a problemas da biomedicina*”. Tese Doutorado em Ciências- Instituto de Física, Universidade São Paulo, São Paulo, pgs. 166.

PAINHO, Bruno Miguel Carones (2009). “*Protótipo Laboratorial de um Veículo de Levitação Magnética (MAGLEV) com Utilização de Supercondutores*”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica, Instituto Superior Técnico de Lisboa, Lisboa.

PEDRYCZ, W. (1993). “*Fuzzy Control and Fuzzy Systems*”. John Wiley Sons, New York.

PEDRYCZ, W.; GOMIDE, F. (1998). “*An introduction to fuzzy sets: Analysis and Design*”. MIT Press. Cambridge, Massachussets.

PEDRYCZ, W.; ROCHA, A.F.(1993). “*Fuzzy-set based models of neurons and knowledge-based networks*”. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, V. 1(4), pgs. 254-266.

PEREIRA, A. A. (2010). “*Avaliação da Qualidade da Água: proposta de novo índice alicerçado na lógica fuzzy*”. Tese Doutorado – Universidade de Brasília, Brasília.

PIERI, G. & SALVETTI, O. (2003). “*Scene Understanding using Hierarchical Neural Networks*”. ERCIM News 52, Jan/2003.

PINHO, Alexandre F. (1999). “*Uma contribuição para a resolução de problemas de programação de operações em sistemas de produção intermitentes flow-shop: A consideração de incertezas*”. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.

PINTO, T. de P. (coord.) (2005). “*Gestão ambiental de resíduos da construção civil: a experiência do SindusCon/SP*”. São Paulo, Obra Limpa: I & T; SindusCon-SP.

PMBOK (2013). “*Project Management Body of Knowledge*”. PMI (Project Management Institute), USA, 5ª edição.

REIJNDERS, L.; ROEKEL, A. (1999), van. “*Comprehensiveness and adequacy of tools for the environmental improvement of buildings*”. Journal of Cleaner Production. N. 7.1999, pgs. 221-225.

REZNIK L. (1997). “*Fuzzy Controllers*”. Newnes, Reino Unido.

RIBEIRO, F.M. (2003). “*Inventário de ciclo de vida da geração hidrelétrica no Brasil - Usina de Itaipu: primeira aproximação*”. Dissertação de mestrado-Programa Interunidades de Pós- Graduação em Energia (EP-IF-FEA-IEE). Universidade de São Paulo, São Paulo.

ROMERO, M. A. B. (2006). “*O Desafio da Construção das Cidades*”. AU - Arquitetura e Urbanismo. São Paulo.

ROSENBLATT, F. (1958). “*The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain*”. Psychological Review, Washington.

ROSS, Timothy J. (2010). “*Fuzzy Logic with engineering applications*”. 3 rd edition. UK: John Wiley and Sons Ltd.

ROYAL INSTITUTE OF BRITISH ARCHITECTS (2007). “*Outline Plan of Work*”. RIBA Publications, London.

RUAN, D. (1997). “*Intelligent Hybrid Systems - Fuzzy Logic, Neural Networks and Genetic Algorithms*”. Kluwer Academic Publishers, Mol, Bélgica.

SANDRI, S. A. (1997). “*Introdução a lógica fuzzy*”. Inpe, São José dos Campos, SP.

SARAIVA, G. José de Pontes (2000). “*Lógica Fuzzy - Conceitos Básicos*”. Rio de Janeiro: Fundação COPPETEC.

SEN, A., (2000). “*Desenvolvimento Como Liberdade*”. São Paulo: Companhia das Letras.

SHARIFI, A.; YAMA, A. M. (2013). “*A critical review of seven selected neighborhood sustainability assessment tools*”. Environmental Impact Assessment Review - Elsevier; doi:10.1016/j.eiar.2012.06.006.



SHARMA, S.; VREDENBURG, H. (1998), *“Proactive Corporate Environmental Strategy and the Development of Competitively Valuable Organizational Capabilities”*. Strategy Management Journal, V. 19, n. 8, pgs. 729-753.

SHAW, I. S.; SIMÕES, M. G. (1999). *“Controle e Modelagem Fuzzy”*. São Paulo: Editora Edgard Blücher.

SHAW, I.S.; SIMÕES, M.G. (2002). *“Controle e Modelagem Fuzzy”*. São Paulo: Ed. Edgard Blucher.

SHRIVASTAVA, P., (1995). *“Industrial / Environmental Crises and Corporate Social Responsibility”*. The Journal of Socio-Economics, Netherlands, V. 24, n. 1, pgs. 211-227.

SILVA, V. G. (2003). *“Avaliação da Sustentabilidade de Edifícios de Escritórios Brasileiros: diretrizes e base metodológica”*. 210 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SILVA, V. G. (2007). *“Metodologias de Avaliação de Desempenho Ambiental de Edifícios: estado atual e discussão metodológica”*. Campinas: UNICAMP, 2007. Projeto Finep 2386/04: Tecnologias para construção habitacional mais sustentável.

SILVA, V.G. (2001). *“Environmental assessment of buildings: towards na appropriate approach to Brazilian Agenda”*. Rotterdam, the Institute of Housing and Urban Studies (IHS). SBUD Course Report.10pgs.

SILVEIRA, A. M., (2005). *“Identificação de Abordagens Administrativas: um ensaio com Lógica Fuzzy”*. Universidade federal do Pará, Departamento de Informática.

STEPHAN, Richard Madalena (2007). *“MAGLEV-COBRA: O transporte urbano sobre trilhos magnéticos”*. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, pgs. 33.

SUCENA, Marcelo Prado, (2012). *“O Sistema MagLev-Cobra para o Transporte Urbano de Passageiros e suas Implicações no Meio Ambiente”*, Relatório de Pós-Doutorado - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

TAKAGI, T.; SUGENO, M. (1985). “*Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control*”. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics V. 15, n. 1, pgs. 116-132.

TANAKA, K. (1997). “*An introduction to fuzzy logic for practical applications*”. Tokyo: Springer, pgs. 138.

TANAKA, K; WANG, Hua O. (2001). “*Fuzzy Control Systems Design and Analysis: A Linear Matrix Inequality Approach*”. A Wiley-Interscience Publication. JOHN WILEY & SONS, INC., pgs. 305.

TANSCHKEIT, R., (2003). “*Sistemas Fuzzy*”. VI Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI'03), Minicurso, Bauru, SP, pgs. 35.

THÉ, M. A. L. (2001). “*Raciocínio baseado em casos: uma abordagem fuzzy para diagnóstico nutricional*”. Tese Doutorado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, pgs. 170.

TRANSCHKEIT, R. (1995). “*Fundamentos de Lógica Fuzzy e Controle Fuzzy*”. Disponível em: <<http://www.ica.ele.puc-rio.br>>. Acesso em: 05 fevereiro 2015.

TRZESNIAK, Piotr. (1998). “*Indicadores quantitativos: reflexões que antecedem seu estabelecimento*”. Ci. Inf., Brasília: S.n., V. 27, n. 2, pgs. 159-164.

VALENTE, J. P.(2009). “*Certificações na construção civil: comparativo entre LEED e AQUA*”. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10000221.pdf>>. Acesso em: 20 junho 2014

VAZ, Othon Hugo de Lima (2009). “*Levitação Magnética: Uma Aplicação no Transporte*”. Trabalho de Conclusão de Curso de Licenciatura em Física, Universidade Católica de Brasília, Brasília, pgs. 27.

VEIGA, M. M. (1994). “*A Heuristic System for Environmental Risk Assessment of Mercury from Gold Mining Operations*”. Ph.D. Thesis, The University of British Columbia, Vancouver, Canada.

VON ALTROCK, C. (1996). *“Fuzzy logic and Neuro-Fuzzy applications in business and finance”*. New Jersey: Prentice Hall PTR.

VON ALTROCK, C. (1997). *“Fuzzy logic and neuro-fuzzy applications in business and finance”*. New Jersey: Prentice Hall.

VON ALTROCK, C., KRAUSE, B. (1994). *“Multi-criteria Decision Making in German Automotive Industry Using Fuzzy Logic”*. Fuzzy Sets and Systems, V. 63, pgs. 375-380.

VON ZUBEN, F. J. (1993). *“Redes Neurais Aplicada ao Controle de Máquinas de Indução”*. FEEC / UNICAMP, Campinas – SP.

WOOD, B., (2012). *“Maintenance Integrated Design and Manufacture of Buildings: Toward a Sustainable Model.”* DOI: 10.1061/ (ASCE) AE.1943-5568.0000077, American Society of Civil Engineers.

YEANG, Ken (1999). *“The Green Skyscraper - The Basis for Designing Sustainable Intensive Building”*, Nova York.

YEN J. & LANGARI R. (1999). *“Fuzzy Logic: Intelligence, Control, and Information”*. Prentice Hall, EUA.

ZADEH, L. A. (1965). *“Fuzzy Sets: Information and Control”*. Vol. 8, n. 3, pgs. 338-353.

ZADEH, L. A. (1978). *“Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility”*. Fuzzy Sets and Systems. North-Holland Publishing Company. V. 1, pgs. 3-28.

ZADEH, L.A. (1973). *“Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes”*, IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics, V. 3, pgs. 28-44.

ZIMMERMANN, A. (2002), et al. *“Proposed Framework for Environmental Assessment of Existing Buildings”*. In: SUSTAINABLE BUILDING, Oslo.

# APÊNDICES

## I. Perfil Ambiental do Sistema de Certificação AQUA/HQE.

Extraída da norma NF P01-020-1 “Qualidade ambiental dos edifícios - Parte 1: Orientação metodológica para a descrição e a caracterização dos desempenhos ambientais e sanitários dos edifícios” (“*Qualité environnementale des bâtiments - Partie 1: Cadre méthodologique pour la description et la caractérisation des performances environnementales et sanitaires des bâtiments*”).

Tabela I.1: Tabela guia para uso pelo empreendedor para a hierarquização das categorias de QAE em função dos desafios ambientais estabelecidos 1/2. (Fonte: Fundação Vanzolini, 2014).

PREOCUPAÇÕES AMBIENTAIS	OBJETIVOS DE CONTROLE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS EXTERIORES E INTERIORES DO EDIFÍCIO										
	PRESERVAR OS RECURSOS			REDUZIR A POLUIÇÃO			REDUZIR OS RESÍDUOS	REDUZIR OS INCÔMODOS		MELHORAR O CONFORTO	PRESERVAR A SAÚDE
	Energia	Matérias primas	Água	Ar	Água	Solo		Ruídos	Odores		
<b>Local e construção</b>											
<b>1 Relação do edifício com o seu entorno</b>											
1.1 Consideração do contexto	SC						SC	SC	SC	SC	SC
1.2 Implantação no terreno	SC				SC	SC		SC	SC	SC	SC
<b>2 Escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos</b>											
2.1 Adaptabilidade e durabilidade do edifício		X					X			X	
2.2 Escolhas de processos construtivos	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
2.3 Escolhas de produtos de construção	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
2.4 Fim de vida do edifício / desconstrutibilidade / reciclabilidade		X		P		P	P	X			X
<b>3 Canteiro de obras</b>											
3.1 Produção de resíduos, identificação, gestão dos resíduos		X				X	P				
3.2 Incômodos e poluição				P	P	P	X	P	P		X
3.3 Recursos - consumo de água e energia	P		P		X						
<b>Gestão</b>											
<b>4 Energia</b>											
4.1 Energia primária não renovável	P									X	
4.2 Incômodos e poluição	X			P			X	X	X		
<b>5 Água</b>											
5.1 Economia de água potável			P		X					X	X
5.2 Gestão de águas pluviais no terreno			X		X	X			X		
5.3 Esgotamento sanitário			X		X	SC			X		
<b>6 Resíduos de uso e operação do edifício</b>											
6.1 Controle da produção de resíduos						X	P				X
6.2 Adequação entre coleta interna e externa							P	X			
6.3 Controle da seleção dos resíduos							X		X		X
6.4 Otimização do sistema de coleta interna							P		X	X	X
<b>7 Conservação e manutenção</b>											
7.1 Otimização das necessidades em manutenção	P	X	P	P	P		X			X	
7.2 Controle dos efeitos ambientais e sanitários da manutenção	X		X	X	P			X	X		P
7.3 Facilidade de acesso para manutenção	X		X		SC		X			X	X
7.4 Equipamentos para manter o desempenho em uso e operação	P	X	P	X	P		X	X	X	X	X
<b>P</b>	Relação forte existente entre preocupação e objetivo, devendo ser prioritariamente examinada pelo empreendedor, desafios ambientais importantes										
<b>X</b>	Outra relação identificada entre preocupação e objetivo, ou relação induzida										
<b>SC</b>	Relação podendo existir dependendo do contexto, a ser examinada caso a caso										
	Uma célula em branco não significa necessariamente uma total ausência de relação (a ser analisada caso a caso)										

Tabela I.2: Tabela guia para uso pelo empreendedor para a hierarquização das categorias de QAE em função dos desafios ambientais estabelecidos 2/2. (Fonte: Fundação Vanzolini, 2014).

PREOCUPAÇÕES AMBIENTAIS	OBJETIVOS DE CONTROLE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS EXTERIORES E INTERIORES DO EDIFÍCIO											
	PRESERVAR OS RECURSOS			REDUZIR A POLUIÇÃO			REDUZIR OS RESÍDUOS	REDUZIR OS INCÔMODOS		MELHORAR O CONFORTO	PRESERVAR A SAÚDE	
	Energia	Matérias primas	Água	Ar	Água	Solo		Ruídos	Odores			
<b>Conforto</b>												
<b>8 Conforto higratérmico</b>												
8.1	No inverno e na meia-estação	P			X						P	
8.2	No verão	P			X						P	X
<b>9 Conforto acústico</b>												
9.1	Disposições arquitetônicas espaciais								P		X	
9.2	Isolamento acústico								P		P	X
9.3	Correção acústica dos ambientes (se necessária)								X		P	X
9.4	Efeitos dos ruídos na vizinhança								X		P	X
<b>10 Conforto visual</b>												
10.1	Consideração da iluminação natural										P	X
10.2	Iluminação artificial	X									P	X
10.3	Relação visual com o exterior										X	X
10.4	Iluminação artificial das áreas exteriores	X									X	
<b>11 Conforto olfativo</b>												
11.1	Fontes de odores desagradáveis					X	SC			P	X	X
11.2	Sensações olfativas desagradáveis	X			X	X				P	X	
<b>Saúde</b>												
<b>12 Qualidade sanitária dos ambientes</b>												
12.1	Tratamento do ambiente interior e das superfícies						X		X		P	
12.2	Condições específicas de higiene (equipamentos coletivos ou profissionais)						X		X		P	
<b>13 Qualidade sanitária do ar</b>												
13.1	Fontes de poluição						X		X		P	
13.2	Efeitos dos poluentes do ar na saúde	X			X				X		P	
<b>14 Qualidade sanitária da água</b>												
14.1	Manutenção da qualidade da água de consumo nas redes internas do edifício			X	P						P	
14.2	Controle de acessos às redes coletivas de distribuição											X
14.3	Controle da qualidade da água proveniente de rede de água não potável			X	P				X		P	
P	Relação forte existente entre preocupação e objetivo, devendo ser prioritariamente examinada pelo empreendedor, desafios ambientais importantes											
X	Outra relação identificada entre preocupação e objetivo, ou relação induzida											
SC	Relação podendo existir dependendo do contexto, a ser examinada caso a caso											
	Uma célula em branco não significa necessariamente uma total ausência de relação (a ser analisada caso a caso)											

## II. Checklist para Novas Construções Sistema de Certificação LEED

**LEED v4 for BD+C: New Construction and Major Renovation**  
Project Checklist

Project Name: \_\_\_\_\_  
Date: \_\_\_\_\_

Y	?	N	Credit	Integrative Process	1
0	0	0	16	<b>Location and Transportation</b>	16
			Credit	LEED for Neighborhood Development Location	16
			Credit	Sensitive Land Protection	1
			Credit	High Priority Site	2
			Credit	Surrounding Density and Diverse Uses	5
			Credit	Access to Quality Transit	5
			Credit	Bicycle Facilities	1
			Credit	Reduced Paving Footprint	1
			Credit	Green Vehicles	1
0	0	0	10	<b>Sustainable Sites</b>	10
			Prereq	Construction Activity Pollution Prevention	Required
			Credit	Site Assessment	1
			Credit	Site Development - Protect or Restore Habitat	2
			Credit	Open Space	1
			Credit	Rainwater Management	3
			Credit	Heat Island Reduction	2
			Credit	Light Pollution Reduction	1
0	0	0	11	<b>Water Efficiency</b>	11
			Prereq	Outdoor Water Use Reduction	Required
			Prereq	Indoor Water Use Reduction	Required
			Prereq	Building-Level Water Metering	Required
			Credit	Outdoor Water Use Reduction	2
			Credit	Indoor Water Use Reduction	6
			Credit	Cooling Tower Water Use	2
			Credit	Water Metering	1
0	0	0	33	<b>Energy and Atmosphere</b>	33
			Prereq	Fundamental Commissioning and Verification	Required
			Prereq	Minimum Energy Performance	Required
			Prereq	Building-Level Energy Metering	Required
			Prereq	Fundamental Refrigerant Management	Required
			Credit	Enhanced Commissioning	6
			Credit	Optimize Energy Performance	18
			Credit	Advanced Energy Metering	1
			Credit	Demand Response	2
			Credit	Renewable Energy Production	3
			Credit	Enhanced Refrigerant Management	1
			Credit	Green Power and Carbon Offsets	2
0	0	0	13	<b>Materials and Resources</b>	13
			Prereq	Storage and Collection of Recyclables	Required
			Prereq	Construction and Demolition Waste Management Planning	Required
			Credit	Building Life-Cycle Impact Reduction	5
			Credit	Building Product Disclosure and Optimization - Environmental Product Declarations	2
			Credit	Building Product Disclosure and Optimization - Sourcing of Raw Materials	2
			Credit	Building Product Disclosure and Optimization - Material Ingredients	2
			Credit	Construction and Demolition Waste Management	2
0	0	0	16	<b>Indoor Environmental Quality</b>	16
			Prereq	Minimum Indoor Air Quality Performance	Required
			Prereq	Environmental Tobacco Smoke Control	Required
			Credit	Enhanced Indoor Air Quality Strategies	2
			Credit	Low-Emitting Materials	3
			Credit	Construction Indoor Air Quality Management Plan	1
			Credit	Indoor Air Quality Assessment	2
			Credit	Thermal Comfort	1
			Credit	Interior Lighting	2
			Credit	Daylight	3
			Credit	Quality Views	1
			Credit	Acoustic Performance	1
0	0	0	6	<b>Innovation</b>	6
			Credit	Innovation	5
			Credit	LEED Accredited Professional	1
0	0	0	4	<b>Regional Priority</b>	4
			Credit	Regional Priority: Specific Credit	1
			Credit	Regional Priority: Specific Credit	1
			Credit	Regional Priority: Specific Credit	1
			Credit	Regional Priority: Specific Credit	1
0	0	0	TOTALS	<b>Possible Points: 110</b>	110
				Certified: 40 to 49 points, Silver: 50 to 59 points, Gold: 60 to 79 points, Platinum: 80 to 110	

Figura II.1: Checklis LEED NC (Fonte: GBC Brasil, 2014).

### III. Desenvolvimento do Modelo *Neuro-Fuzzy*

Para processamento das *Integrais-Fuzzy* e *Fuzzyficação* das variáveis de entrada foi desenvolvido um aplicativo informatizado em Microsoft Excel. Esse aplicativo irá processar o neurônio (Bloco de Inferência), possibilitando a determinação do ISC. Todos os passos estão indicados no diagramas representativos dos neurônios (variáveis de entrada e de saída intermediária) nas Figuras que se seguem e as tabelas subsequentes indicam o processo dos blocos de inferência *fuzzy*,

Neste apêndice são apresentados os neurônio (Bloco de inferência) da rede desenvolvida para o modelo. Para o seu desenvolvimento foram utilizados alguns recursos do Excel.

O Excel já é por si só uma ferramenta poderosa de elaboração de planilhas simples e sofisticadas, capazes de oferecer uma infinidade de recursos. Ao utilizar uma ferramenta poderosa como é o Excel, o objetivo será a maior agilidade nas respostas de dados pré-lançados, seja por definição ou por fórmulas lógicas.

Neste contexto, o VBA, ou *Visual Basic for Application*, que é a linguagem de programação utilizada em todos os programas do Office, têm recursos exclusivos para agilizar e automatizar, ainda mais, todos os elementos de trabalho do Excel. Pode até parecer complicado no início, mas com um pouco de estudos e com um maior entendimento do uso dessa ferramenta, é possível utilizar macros no Excel, juntamente com o VBA, para receber respostas mais detalhadas, as quais nem sempre aparecem sem a utilização da linguagem de programação VBA.

Como o conceito era demonstrar de forma simples a aplicabilidade e eficiência do modelo proposto, não houve um maior aprofundamento na aplicação das inúmeras possibilidades da ferramenta VBA-Excel. Utilizou-se alguns recursos lógicos para se demonstrar o funcionamento dos Blocos de inferência empregados na rede *Neuro-Fuzzy* produzida para o modelo, sendo adaptada às categorias do sistema LEED para o estudo de caso: O *MagLev-Cobra*

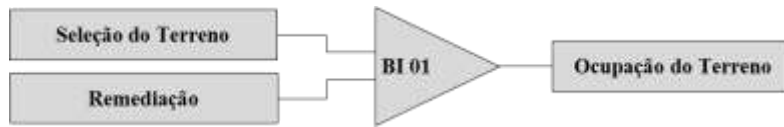


Figura III.1: Aplicação do multiplexador da 1ª camada da rede *Neuro-Fuzzy*.

Tabela III.1: Planilha Excel simulando o BI 01.

FUZZYFICAÇÃO / INFERÊNCIA / DEFUZZYFICAÇÃO																
Entradas Crisp																
Avaliação dos Especialistas				Triângulo Fuzzy			(Avaliação Especialistas x Triângulo Fuzzy)									
Nº Especialistas	Termos	VE1	VE2	VE	Triângulo Fuzzy			VE1			VE2			VE3		
					Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior
20	NA	0	14		0	0	30	0	0	0	0	0	420	0	0	0
	PA	0	4		20	50	80	0	0	0	80	200	320	0	0	0
	TA	20	2		70	100	100	1400	2000	2000	140	200	200	0	0	0
Triângulo Médio Equivalente = $(\sum \text{Cada Limite}) / (\text{Nº Especialistas})$								70.0	100.0	100.0	11.00	20.00	47.00	0.0	0.0	0.0
Universo de Discurso das VE = $[\text{Inferior} + 2 \cdot (\text{Máximo}) + \text{Superior}] / 4$								92.50			24.50			0.00		
FUZZYFICAÇÃO																
Triângulos Fuzzy - Aplicação das Integrais Fuzzy				Entradas			(OU) Máximo	INFERÊNCIA			DEFUZZYFICAÇÃO - CoM					
								Entradas			Saída Crisp					
Termos Linguísticos	Inferior	Máximo	Superior	VE1	VE2	VE		VE1	VE2	VE3	VS1					
NA	0	0	30	0.00	0.18	0.00		0.75	0.18	0.00	79.14					
PA	20	50	80	0.00	0.15	0.00										
TA	70	100	100	0.75	0.00	0.00										

Fonte: Elaboração Própria

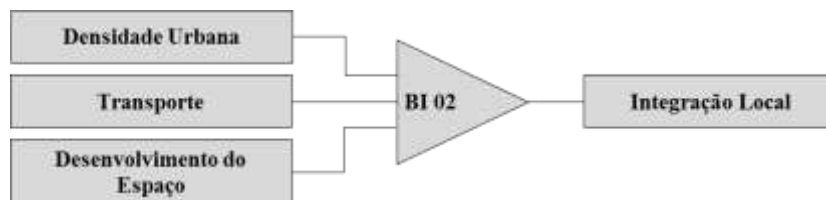


Figura III.2: Aplicação do multiplexador da 1ª camada da rede *Neuro-Fuzzy*.

Tabela III.2: Planilha Excel simulando o BI 02.

FUZZYFICAÇÃO / INFERÊNCIA / DEFUZZYFICAÇÃO																
Entradas Crisp																
Avaliação dos Especialistas				Triângulo Fuzzy			(Avaliação Especialistas x Triângulo Fuzzy)									
Nº Especialistas	Termos	VE3	VE4	VE5	Triângulo Fuzzy			VE3			VE4			VE5		
					Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior
20	NA	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PA	2	0	0	20	50	80	40	100	160	0	0	0	0	0	0
	TA	18	20	20	70	100	100	1260	1800	1800	1400	2000	2000	1400	2000	2000
Triângulo Médio Equivalente = $(\sum \text{Cada Limite}) / (\text{Nº Especialistas})$								65.0	95.0	98.0	70.00	100.00	100.00	70.0	100.0	100.0
Universo de Discurso das VE = $[\text{Inferior} + 2 \cdot (\text{Máximo}) + \text{Superior}] / 4$								88.25			92.50			92.50		
FUZZYFICAÇÃO																
Triângulos Fuzzy - Aplicação das Integrais Fuzzy				Entradas			(OU) Máximo	INFERÊNCIA			DEFUZZYFICAÇÃO - CoM					
								Entradas			Saída Crisp					
Termos Linguísticos	Inferior	Máximo	Superior	VE3	VE4	VE5		VE3	VE4	VE5	VS2					
NA	0	0	30	0.00	0.00	0.00		0.61	0.75	0.75	91.27					
PA	20	50	80	0.00	0.00	0.00										
TA	70	100	100	0.61	0.75	0.75										

Fonte: Elaboração Própria



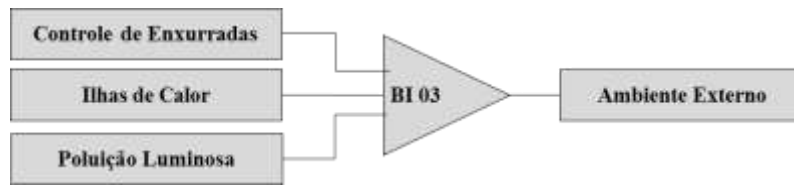


Figura III.3: Aplicação do multiplexador da 1ª camada da rede *Neuro-Fuzzy*.

Tabela III.3: Planilha Excel simulando o BI 03.

FUZZYFICAÇÃO / INFERÊNCIA / DEFUZZYFICAÇÃO																
Entradas Crisp																
Avaliação dos Especialistas				Triângulo Fuzzy			(Avaliação Especialistas x Triângulo Fuzzy)									
Nº Especialistas	Termos	VE6	VE7	VE8	Inferior	Máximo	Superior	VE6			VE7			VE8		
								Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior
20	NA	1	1	0	0	0	30	0	0	30	0	0	30	0	0	0
	PA	2	2	0	20	50	80	40	100	160	40	100	160	0	0	0
	TA	17	17	20	70	100	100	1190	1700	1700	1190	1700	1700	1400	2000	2000
Triângulo Médio Equivalente = (ΣCada Limite)/(Nº Especialistas)								61.5	90.0	94.5	61.50	90.00	94.50	70.0	100.0	100.0
Universo de Discurso das VE = [Inferior+2.(Máximo)+Superior]/4								84.00			84.00			92.50		
FUZZYFICAÇÃO																
Triângulos Fuzzy - Aplicação das Integrais Fuzzy				Entradas			(OU)	INFERÊNCIA			DEFUZZYFICAÇÃO - CoM					
Termos Linguísticos	Inferior	Máximo	Superior	VE6	VE7	VE8		Entradas			Saída Crisp					
								VE6	VE7	VE8	VE6	VE7	VE8	VS3		
NA	0	0	30	0.00	0.00	0.00		Máximo	0.47	0.47	0.75	87.79				
PA	20	50	80	0.00	0.00	0.00										
TA	70	100	100	0.47	0.47	0.75										

Fonte: Elaboração Própria

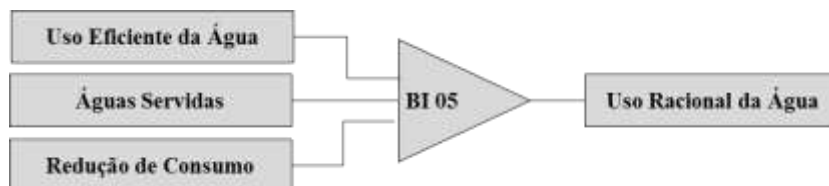


Figura III.4: Aplicação do multiplexador da 1ª camada da rede *Neuro-Fuzzy*.

Tabela III.4: Planilha Excel simulando o BI 05.

FUZZYFICAÇÃO / INFERÊNCIA / DEFUZZYFICAÇÃO																
Entradas Crisp																
Avaliação dos Especialistas				Triângulo Fuzzy			(Avaliação Especialistas x Triângulo Fuzzy)									
Nº Especialistas	Termos	VE9	VE10	VE11	Inferior	Máximo	Superior	VE9			VE10			VE11		
								Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior
20	NA	0	0	2	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	60
	PA	2	0	6	20	50	80	40	100	160	0	0	0	120	300	480
	TA	18	20	12	70	100	100	1260	1800	1800	1400	2000	2000	840	1200	1200
Triângulo Médio Equivalente = (ΣCada Limite)/(Nº Especialistas)								65.0	95.0	98.0	70.00	100.00	100.00	48.0	75.0	87.0
Universo de Discurso das VE = [Inferior+2.(Máximo)+Superior]/4								88.25			92.50			71.25		
FUZZYFICAÇÃO																
Triângulos Fuzzy - Aplicação das Integrais Fuzzy				Entradas			(OU)	INFERÊNCIA			DEFUZZYFICAÇÃO - CoM					
Termos Linguísticos	Inferior	Máximo	Superior	VE9	VE10	VE11		Entradas			Saída Crisp					
								VE9	VE10	VE11	VE9	VE10	VE11	VS5		
NA	0	0	30	0.00	0.00	0.00		Máximo	0.61	0.75	0.29	87.18				
PA	20	50	80	0.00	0.00	0.29										
TA	70	100	100	0.61	0.75	0.04										

Fonte: Elaboração Própria

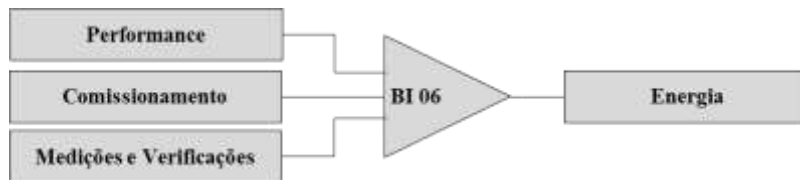


Figura III.5: Aplicação do multiplexador da 1ª camada da rede *Neuro-Fuzzy*.

Tabela III.5: Planilha Excel simulando o BI 06.

FUZZYFICAÇÃO / INFERÊNCIA / DEFUZZYFICAÇÃO																
Entradas Crisp																
Avaliação dos Especialistas				Triângulo Fuzzy			(Avaliação Especialistas x Triângulo Fuzzy)									
Nº Especialistas	Termos	VE12	VE13	VE14	Inferior	Máximo	Superior	VE12			VE13			VE14		
								Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior
20	NA	1	0	0	0	0	30	0	0	30	0	0	0	0	0	0
	PA	4	0	0	20	50	80	80	200	320	0	0	0	0	0	0
	TA	15	20	20	70	100	100	1050	1500	1500	1400	2000	2000	1400	2000	2000
Triângulo Médio Equivalente = (∑Cada Limite)/(Nº Especialistas)								56.5	85.0	92.5	70.00	100.00	100.00	70.0	100.0	100.0
Universo de Discurso das VE = [Inferior+2.(Máximo)+Superior]/4								79.75			92.50			92.50		
FUZZYFICAÇÃO																
Triângulos Fuzzy - Aplicação das Integrais Fuzzy							Entradas			(OU) Máximo	INFERÊNCIA			DEFUZZYFICAÇÃO - CoM		
Termos Linguísticos	Inferior	Máximo	Superior	VE12	VE13	VE14	Entradas				Saída Crisp					
							VE12	VE13	VE14		VE12	VE13	VE14	VS6		
NA	0	0	30	0.00	0.00	0.00					0.33	0.75	0.75	90.23		
PA	20	50	80	0.01	0.00	0.00										
TA	70	100	100	0.33	0.75	0.75										

Fonte: Elaboração Própria

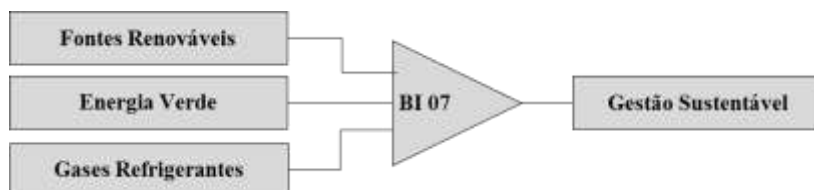


Figura III.6: Aplicação do multiplexador da 1ª camada da rede *Neuro-Fuzzy*.

Tabela III.6: Planilha Excel simulando o BI 07.

FUZZYFICAÇÃO / INFERÊNCIA / DEFUZZYFICAÇÃO																
Entradas Crisp																
Avaliação dos Especialistas				Triângulo Fuzzy			(Avaliação Especialistas x Triângulo Fuzzy)									
Nº Especialistas	Termos	VE15	VE16	VE17	Inferior	Máximo	Superior	VE15			VE16			VE17		
								Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior
20	NA	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PA	0	0	0	20	50	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TA	20	20	20	70	100	100	1400	2000	2000	1400	2000	2000	1400	2000	2000
Triângulo Médio Equivalente = (∑Cada Limite)/(Nº Especialistas)								70.0	100.0	100.0	70.00	100.00	100.00	70.0	100.0	100.0
Universo de Discurso das VE = [Inferior+2.(Máximo)+Superior]/4								92.50			92.50			92.50		
FUZZYFICAÇÃO																
Triângulos Fuzzy - Aplicação das Integrais Fuzzy							Entradas			(OU) Máximo	INFERÊNCIA			DEFUZZYFICAÇÃO - CoM		
Termos Linguísticos	Inferior	Máximo	Superior	VE15	VE16	VE17	Entradas				Saída Crisp					
							VE15	VE16	VE17		VE15	VE16	VE17	VS7		
NA	0	0	30	0.00	0.00	0.00					0.75	0.75	0.75	92.50		
PA	20	50	80	0.00	0.00	0.00										
TA	70	100	100	0.75	0.75	0.75										

Fonte: Elaboração Própria

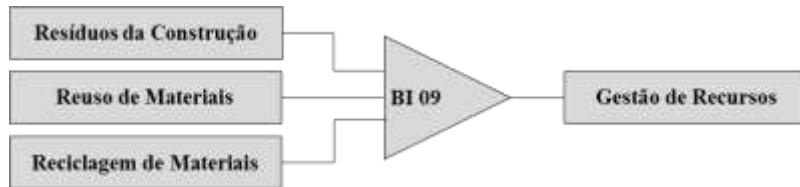


Figura III.7: Aplicação do multiplexador da 1ª camada da rede *Neuro-Fuzzy*.

Tabela III.7: Planilha Excel simulando o BI 09.

FUZZIFICAÇÃO / INFERÊNCIA / DEFUZZIFICAÇÃO																			
Entradas Crisp																			
Avaliação dos Especialistas				Triângulo Fuzzy			(Avaliação Especialistas x Triângulo Fuzzy)												
Nº Especialistas	Termos	VE18			VE19			VE20			VE18			VE19			VE20		
		Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior
20	NA	0	1	2	0	0	30	0	0	0	0	0	30	0	0	60	0	0	60
	PA	0	3	4	20	50	80	0	0	0	60	150	240	80	200	320	0	0	0
	TA	20	16	14	70	100	100	1400	2000	2000	1120	1600	1600	980	1400	1400	0	0	0
Triângulo Médio Equivalente = $(\sum \text{Cada Limite}) / (\text{Nº Especialistas})$								70.0	100.0	100.0	81.88			75.50					
Universo de Discurso das VE = $(\text{Inferior} + 2 \cdot (\text{Máximo}) + \text{Superior}) / 4$								92.50											
FUZZIFICAÇÃO																			
Triângulos Fuzzy - Aplicação das Integrais Fuzzy							Entradas			(OU)			INFERÊNCIA			DEFUZZIFICAÇÃO - CoM			
Termos Linguísticos	Inferior	Máximo	Superior	VE18	VE19	VE20	Entradas						Saída Crisp			VS9			
NA	0	0	30	0.00	0.00	0.00	Máximo	0.75	0.40	0.18	0.75	0.40	0.18	86.99					
PA	20	50	80	0.00	0.00	0.00													
TA	70	100	100	0.75	0.40	0.18													

Fonte: Elaboração Própria

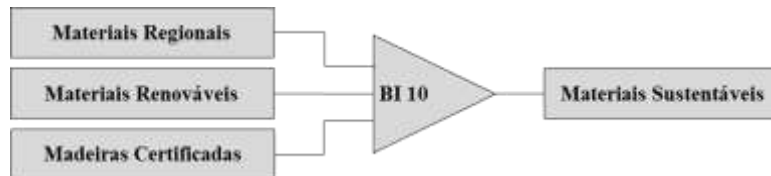


Figura III.8: Aplicação do multiplexador da 1ª camada da rede *Neuro-Fuzzy*.

Tabela III.8: Planilha Excel simulando o BI 10.

FUZZIFICAÇÃO / INFERÊNCIA / DEFUZZIFICAÇÃO																												
Entradas Crisp																												
Avaliação dos Especialistas				Triângulo Fuzzy			(Avaliação Especialistas x Triângulo Fuzzy)																					
Nº Especialistas	Termos	VE21			VE22			VE23			VE21			VE22			VE23											
		Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior									
20	NA	1	2	0	0	0	30	0	0	30	0	0	60	0	0	0	0	0	0									
	PA	2	6	12	20	50	80	40	100	160	120	300	480	240	600	960	0	0	0									
	TA	17	12	8	70	100	100	1190	1700	1700	840	1200	1200	560	800	800	0	0	0									
Triângulo Médio Equivalente = $(\sum \text{Cada Limite}) / (\text{Nº Especialistas})$								61.5	90.0	94.5	48.00			75.00			87.00			40.0			70.0			88.0		
Universo de Discurso das VE = $(\text{Inferior} + 2 \cdot (\text{Máximo}) + \text{Superior}) / 4$								84.00			71.25			67.00														
FUZZIFICAÇÃO																												
Triângulos Fuzzy - Aplicação das Integrais Fuzzy							Entradas			(OU)			INFERÊNCIA			DEFUZZIFICAÇÃO - CoM												
Termos Linguísticos	Inferior	Máximo	Superior	VE21	VE22	VE23	Entradas						Saída Crisp			VS10												
NA	0	0	30	0.00	0.00	0.00	Máximo	0.47	0.29	0.43	0.47	0.29	0.43	74.70														
PA	20	50	80	0.00	0.29	0.43																						
TA	70	100	100	0.47	0.04	0.00																						

Fonte: Elaboração Própria

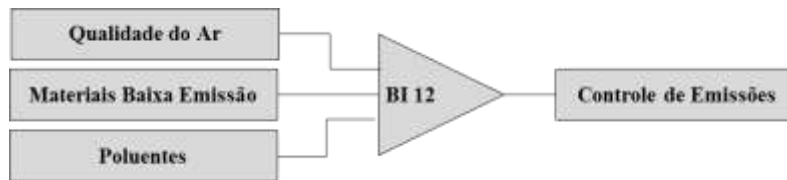


Figura III.9: Aplicação do multiplexador da 1ª camada da rede *Neuro-Fuzzy*.

Tabela III.9: Planilha Excel simulando o BI 12.

FUZZYFICAÇÃO / INFERÊNCIA / DEFUZZYFICAÇÃO																					
Entradas Crisp																					
Avaliação dos Especialistas				Triângulo Fuzzy			(Avaliação Especialistas x Triângulo Fuzzy)														
Nº Especialistas	Termos	VE24			VE25			VE26			VE24			VE25			VE26				
		Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior		
20	NA	0	2	0	0	0	30	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0		
	PA	0	6	2	20	50	80	0	0	0	120	300	480	40	100	160					
	TA	20	12	18	70	100	100	1400	2000	2000	840	1200	1200	1260	1800	1800					
Triângulo Médio Equivalente = $(\sum \text{Cada Limite}) / (\text{Nº Especialistas})$								70.0	100.0	100.0	48.00	75.00	87.00	65.0	95.0	98.0					
Universo de Discurso das VE = $[\text{Inferior} + 2 \cdot (\text{Máximo}) + \text{Superior}] / 4$								92.50			71.25			88.25							
FUZZYFICAÇÃO							(OU) Máximo	INFERÊNCIA			DEFUZZYFICAÇÃO - CoM										
Triângulos Fuzzy - Aplicação das Integrais Fuzzy				Entradas				Entradas			Saída Crisp										
Termos Linguísticos	Inferior	Máximo	Superior	VE24	VE25	VE26		VE24	VE25	VE26	VS12										
NA	0	0	30	0.00	0.00	0.00		0.75	0.29	0.61	87.18										
PA	20	50	80	0.00	0.29	0.00															
TA	70	100	100	0.75	0.04	0.61															

Fonte: Elaboração Própria

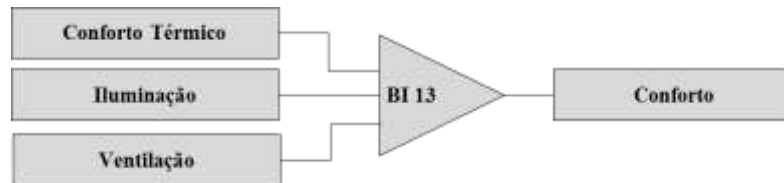


Figura III.10: Aplicação do multiplexador da 1ª camada da rede *Neuro-Fuzzy*.

Tabela III.10: Planilha Excel simulando o BI 13.

FUZZYFICAÇÃO / INFERÊNCIA / DEFUZZYFICAÇÃO																					
Entradas Crisp																					
Avaliação dos Especialistas				Triângulo Fuzzy			(Avaliação Especialistas x Triângulo Fuzzy)														
Nº Especialistas	Termos	VE27			VE28			VE29			VE27			VE28			VE29				
		Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior		
20	NA	0	0	2	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60		
	PA	0	0	10	20	50	80	0	0	0	0	0	0	200	500	800					
	TA	20	20	8	70	100	100	1400	2000	2000	1400	2000	2000	560	800	800					
Triângulo Médio Equivalente = $(\sum \text{Cada Limite}) / (\text{Nº Especialistas})$								70.0	100.0	100.0	70.00	100.00	100.00	38.0	65.0	83.0					
Universo de Discurso das VE = $[\text{Inferior} + 2 \cdot (\text{Máximo}) + \text{Superior}] / 4$								92.50			92.50			62.75							
FUZZYFICAÇÃO							(OU) Máximo	INFERÊNCIA			DEFUZZYFICAÇÃO - CoM										
Triângulos Fuzzy - Aplicação das Integrais Fuzzy				Entradas				Entradas			Saída Crisp										
Termos Linguísticos	Inferior	Máximo	Superior	VE27	VE28	VE29		VE27	VE28	VE29	VS13										
NA	0	0	30	0.00	0.00	0.00		0.75	0.75	0.58	84.26										
PA	20	50	80	0.00	0.00	0.58															
TA	70	100	100	0.75	0.75	0.00															

Fonte: Elaboração Própria



Figura III.11: Aplicação do multiplexador da 1ª camada da rede *Neuro-Fuzzy*.

Tabela III.11: Planilha Excel simulando o BI 15.

FUZZYFICAÇÃO / INFERÊNCIA / DEFUZZYFICAÇÃO																
Entradas Crisp																
Avaliação dos Especialistas				Triângulo Fuzzy			(Avaliação Especialistas x Triângulo Fuzzy)									
Nº Especialistas	Termos	VE30	VE31	VE	Inferior	Máximo	Superior	VE30			VE31			VE		
								Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior	Inferior	Máximo	Superior
20	NA	2	8		0	0	30	0	0	60	0	0	240			
	PA	10	6		20	50	80	200	500	800	120	300	480			
	TA	8	6		70	100	100	560	800	800	420	600	600			
Triângulo Médio Equivalente = $(\sum \text{Cada Limite}) / (\text{Nº Especialistas})$								38.0	65.0	83.0	27.00	45.00	66.00			
Universo de Discurso das VE = $[\text{Inferior} + 2 \cdot (\text{Máximo}) + \text{Superior}] / 4$								62.75			45.75					
FUZZYFICAÇÃO																
Triângulos Fuzzy - Aplicação das Integrais Fuzzy				Entradas			(OU) Máximo	INFERÊNCIA			DEFUZZYFICAÇÃO - CoM					
Termos Linguísticos				Entradas				Entradas			Saída Crisp					
Inferior	Máximo	Superior	VE30	VE31	VE	VE30		VE31	VE	VS15						
NA	0	0	30	0.00	0.00											
PA	20	50	80	0.58	0.86		0.58	0.86	0.00	<b>52.57</b>						
TA	70	100	100	0.00	0.00											

Fonte: Elaboração Própria

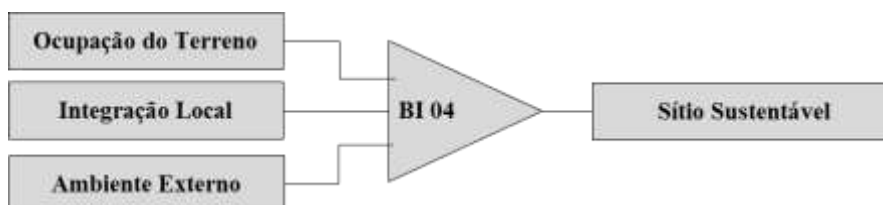


Figura III.12: Aplicação do multiplexador da camada intermediária da rede *Neuro-Fuzzy*.

Tabela III.12: Planilha Excel simulando o BI 04.

VARIÁVEL DE SAÍDA INTERMEDIÁRIA												
Fuzzyficação / Inferência / Defuzzyficação							VS1	VS2	VS3			
							79.14	91.27	87.79			
FUZZYFICAÇÃO												
Triângulos Fuzzy - Aplicação das Integrais Fuzzy				Entradas			(OU) Máximo	INFERÊNCIA			DEFUZZYFICAÇÃO - CoM	
Termos Linguísticos				Entradas				Entradas			Saída Crisp	
Inferior	Máximo	Superior	VS1	VS2	VS3	VS1		VS2	VS3	VS4		
NA	0	0	30	0.00	0.00	0.00		0.30	0.71	0.59	<b>87.69</b>	
PA	20	50	80	0.03	0.00	0.00						
TA	70	100	100	0.30	0.71	0.59						

Fonte: Elaboração Própria

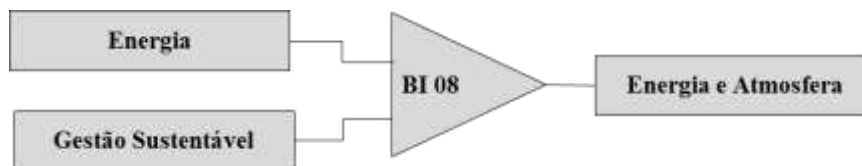


Figura III.13: Aplicação do multiplexador da camada intermediária da rede *Neuro-Fuzzy*.

Tabela III.13: Planilha Excel simulando o BI 08.

VARIÁVEL DE SAÍDA INTERMEDIÁRIA												
Fuzzyficação / Inferência / Defuzzyficação				VS6		VS7		VS				
				90.23		92.50						
FUZZYFICAÇÃO				Entradas			INFERÊNCIA		DEFUZZYFICAÇÃO - CoM			
Triângulos Fuzzy - Aplicação das Integrais Fuzzy										Entradas		Saída Crisp
Termos Linguísticos	Inferior	Máximo	Superior	VS6	VS7	VS	(OU) Máximo	VS6	VS7	VS	VS8	
NA	0	0	30	0.00	0.00			0.67	0.75			91.43
PA	20	50	80	0.00	0.00							
TA	70	100	100	0.67	0.75							

Fonte: Elaboração Própria

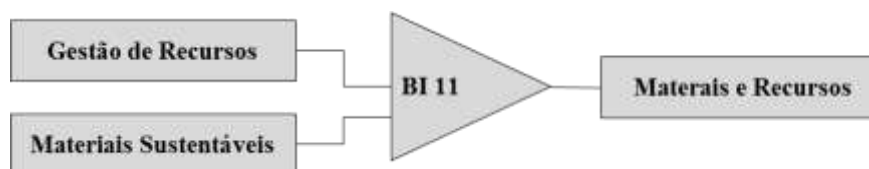


Figura III.14: Aplicação do multiplexador da camada intermediária da rede *Neuro-Fuzzy*.

Tabela III.14: Planilha Excel simulando o BI 11.

VARIÁVEL DE SAÍDA INTERMEDIÁRIA												
Fuzzyficação / Inferência / Defuzzyficação				VS9		VS10		VS				
				86.99		74.70						
FUZZYFICAÇÃO				Entradas			INFERÊNCIA		DEFUZZYFICAÇÃO - CoM			
Triângulos Fuzzy - Aplicação das Integrais Fuzzy										Entradas		Saída Crisp
Termos Linguísticos	Inferior	Máximo	Superior	VS9	VS10	VS	(OU) Máximo	VS9	VS10	VS	VS11	
NA	0	0	30	0.00	0.00			0.57	0.18			84.07
PA	20	50	80	0.00	0.18							
TA	70	100	100	0.57	0.16							

Fonte: Elaboração Própria

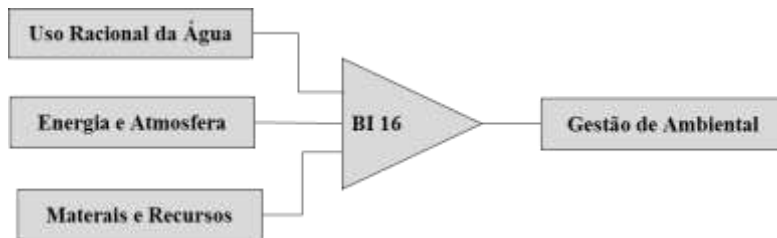


Figura III.15: Aplicação do multiplexador da camada intermediária da rede *Neuro-Fuzzy*.

Tabela III.15: Planilha Excel simulando o BI 16.

VARIÁVEL DE SAÍDA INTERMEDIÁRIA											
Fuzzyficação / Inferência / Defuzzyficação				VS5			VS8			VS11	
				87.18			91.43			84.07	
FUZZYFICAÇÃO							(OU) Máximo	INFERÊNCIA			DEFUZZYFICAÇÃO - CoM
Triângulos Fuzzy - Aplicação das Integrais Fuzzy				Entradas				Entradas			Saída Crisp
Termos Linguísticos	Inferior	Máximo	Superior	VS5	VS8	VS11		VS5	VS8	VS11	VS16
NA	0	0	30	0.00	0.00	0.00		0.57	0.71	0.47	88.07
PA	20	50	80	0.00	0.00	0.00					
TA	70	100	100	0.57	0.71	0.47					

Fonte: Elaboração Própria

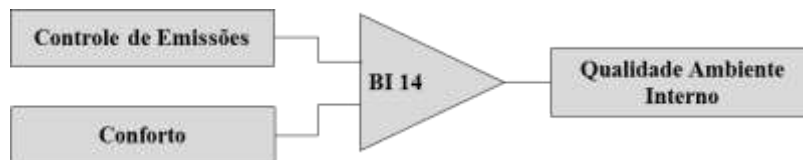


Figura III.16: Aplicação do multiplexador da camada intermediária da rede *Neuro-Fuzzy*.

Tabela III.16: Planilha Excel simulando o BI 14.

VARIÁVEL DE SAÍDA INTERMEDIÁRIA											
Fuzzyficação / Inferência / Defuzzyficação				VS12			VS13			VS	
				87.18			84.26				
FUZZYFICAÇÃO							(OU) Máximo	INFERÊNCIA			DEFUZZYFICAÇÃO - CoM
Triângulos Fuzzy - Aplicação das Integrais Fuzzy				Entradas				Entradas			Saída Crisp
Termos Linguísticos	Inferior	Máximo	Superior	VS12	VS13	VS		VS12	VS13	VS	VS14
NA	0	0	30	0.00	0.00			0.57	0.48		85.85
PA	20	50	80	0.00	0.00						
TA	70	100	100	0.57	0.48						

Fonte: Elaboração Própria

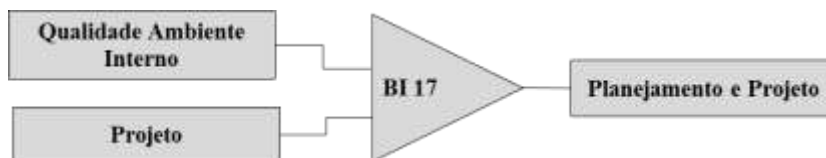


Figura III.17: Aplicação do multiplexador da camada intermediária da rede *Neuro-Fuzzy*.

Tabela III.17: Planilha Excel simulando o BI 17.

VARIÁVEL DE SAÍDA INTERMEDIÁRIA												
Fuzzyficação / Inferência / Defuzzyficação				VS14		VS15		VS				
				85.85		52.57						
FUZZYFICAÇÃO				Entradas			INFERÊNCIA		DEFUZZYFICAÇÃO - CoM			
Triângulos Fuzzy - Aplicação das Integrais Fuzzy										Entradas		Saída Crisp
Termos Linguísticos	Inferior	Máximo	Superior	VS14	VS15	VS	(OU) Máximo	VS14	VS15	VS	VS17	
NA	0	0	30	0.00	0.00			0.53	0.91			
PA	20	50	80	0.00	0.91							64.76
TA	70	100	100	0.53	0.00							

Fonte: Elaboração Própria

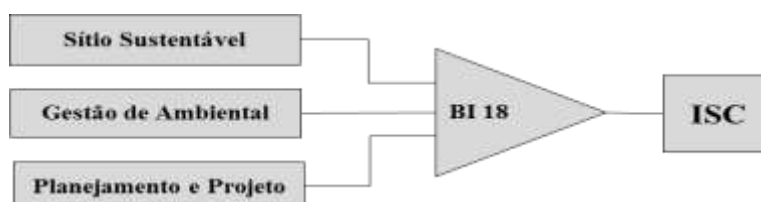


Figura III.18: Aplicação do multiplexador da última camada da rede *Neuro-Fuzzy*.

Tabela III.18: Planilha Excel simulando o BI 18.

VARIÁVEL DE SAÍDA - ISC												
Fuzzyficação / Inferência / Defuzzyficação				VS4		VS16		VS17				
				87.69		88.07		64.76				
FUZZYFICAÇÃO				Entradas			INFERÊNCIA		DEFUZZYFICAÇÃO - CoM			
Triângulos Fuzzy - Aplicação das Integrais Fuzzy										Entradas		Saída Crisp
Termos Linguísticos	Inferior	Máximo	Superior	S4	VS16	VS17	(OU) Máximo	VS4	VS16	VS17	VS18 - ISC	
(NC) Não Certificado	0	0	40	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.76		
(CE) Certificado	0	40	50	0.00	0.00	0.00						64.76
(CP) Certificação Prata	40	50	60	0.00	0.00	0.51						
(CO) Certificação Ouro	50	60	80	0.00	0.00	0.76						
(CT) Certificação Platina	60	80	80	0.00	0.00	0.24						

Fonte: Elaboração Própria