

Universidade Federal de Alagoas - UFAL
Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente - IGDEMA
Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA

Juliana da Silva Medeiros

**A teoria e a prática do projeto de arquitetura no semiárido alagoano sob a
ótica da sustentabilidade das edificações**

Maceió, Novembro de 2009

Juliana da Silva Medeiros

**A teoria e a prática do projeto de arquitetura no semiárido alagoano sob a
ótica da sustentabilidade das edificações**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA, da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientador: Dr. Leonardo Salazar Bittencourt
Co-orientadora: Dr^a Maria Cecília Junqueira Lustosa

Maceió – 2009

Universidade Federal de Alagoas - UFAL
Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente - IGDEMA
Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA

Juliana da Silva Medeiros

A teoria e a prática do projeto de arquitetura no semiárido alagoano sob a ótica da sustentabilidade das edificações

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA, da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente, sob a orientação do Professor Dr. Leonardo Salazar Bittencourt e co-orientação da Professora Dr^a Maria Cecília Junqueira Lustosa.

Maceió/AL, _____ de _____ de 2009

Aprovação: _____

Banca Examinadora

Professor Dr. Leonardo Salazar Bittencourt
Orientador

Profssora Dr^a Maria Cecília Junqueira Lustosa
Co-orientadora

Profssor Dr Jenner Barreto Bastos Filho
Examinador Interno

Profssor Dr. Edson Leite Ribeiro
Examinador Externo

Maceió – 2009

Dedico este trabalho:

A todos que amo, especialmente aos meus pais;

A cada ser humano que acredita e luta por um mundo melhor;

E ao sertão alagoano.

AGRADECIMENTOS

A Santíssima Trindade por estar sempre reerguendo-me e dando-me forças para lutar pelo que acredito. Crer no poder de Deus me fez perceber que Ele tem guiado-me sempre pelos melhores caminhos e ter feito parte da história do PRODEMA/Alagoas foi um dos lindos presentes que Ele me deu.

Aos meus pais José Sabino Medeiros e Ana Maria da Silva Medeiros, que são os alicerces de minha vida e me renovam a cada dia através de constantes demonstrações de afeto.

Aos meus irmãos Elisabete e César, meu namorado Manoel Júnior, meu primo Júlio e minha sobrinha Maria Elisa pelo amor e carinho depositados nos mais felizes e nos mais difíceis momentos de minha vida.

Ao meu orientador Leonardo Bittencourt pelo estágio em docência, pela participação no grupo de pesquisa que lidera (GECA) e pela paciente orientação. Leo, agradeço pela sua grande contribuição para o meu aprendizado durante estes dois anos.

A minha co-orientadora Cecília Lustosa, a qual admiro muito por ser uma excelente professora e por ter sido sempre tão maravilhosa comigo.

Ao Professor Dr. Edson Leite Ribeiro por ter aceitado o convite para participar da minha banca e pelas contribuições valiosas sugeridas para a melhoria deste trabalho.

Ao Professor Dr. Jenner Barreto Bastos Filho pelas sugestões feitas no meu exame de qualificação, por aceitar fazer parte da minha banca e por ter feito com que eu me apaixonasse pela disciplina Lógica e Crítica da Investigação Científica, fazendo-me perceber que, assim como a ciência, ele também é um ser humano extraordinário.

A todos os professores do PRODEMA por apresentar-me a um mundo “novo” e pelas valiosas contribuições compartilhadas durante este período tão importante de minha vida.

Aos funcionários do PRODEMA e do IGDEMA por sempre terem me recebido bem, em especial a Marli, Cristiane e Messias.

A minha querida turma por tantos momentos inesquecíveis juntos e pela oportunidade de ter aprendido muito com cada um. A interdisciplinaridade do PRODEMA tomou conta, também, de nossos corações. Agradeço, especialmente, a Vera, Marina, Dionari, Cristiano, Celso e Maristela por terem tornado meus dias mais felizes.

Aos amigos do GECA por terem me acolhido tão bem durante este tempo, em especial a Professora Juliana Oliveira Batista pela sua grande contribuição em meu trabalho.

Aos anjos que Deus tem colocado em meu caminho, especialmente ao Professor Jorge Luiz e Aloisio Lacerda (CEAL), que foram essenciais para o aprimoramento deste trabalho.

Aos arquitetos Edalmo Lobo, Mariano Teixeira, Mario Aloisio, Cinthia Coêlho e Victor D'Avila pelas valiosas informações dadas.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste sonho.

Agradeço, especialmente, a FAPEAL pela concessão da bolsa de estudos, dando-me a oportunidade de ter uma vida mais acadêmica, aproveitando as atividades voltadas para a pesquisa.

“... É a verdade o que assombra,
O descaso o que condena,
A estupidez o que destrói ...”

Renato Russo

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo analisar os parâmetros que afetam o grau de sustentabilidade do ambiente construído e que dependem do projeto de arquitetura, particularmente no que tange ao consumo de energia e a minimização do uso da água. Trata-se de uma pesquisa sobre a aplicação de práticas sustentáveis para a construção civil, tendo em vista sua relação com os aspectos sociais, econômicos e ambientais do planeta. Foi estudado o uso das estratégias bioclimáticas para o semiárido alagoano, a aplicação da Certificação Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) e a aplicação da Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, proposta pelo INMETRO. Verificou-se como ocorre o reatamento desses aspectos na atividade prática dos projetistas do ambiente construído, identificando, por meio de um estudo de caso, as dificuldades para a produção de uma arquitetura com maior grau de sustentabilidade. Foi elaborado um estudo preliminar do projeto arquitetônico para um museu de paleontologia no município de Maravilha – AL, onde foram aplicados os princípios estudados. Segundo a pesquisa, a melhor forma de minimizar a utilização dos recursos naturais na arquitetura é projetando de acordo com o clima da região. Considerando este fator, as estratégias bioclimáticas propostas para o município de Maravilha foram massa térmica para resfriamento, sombreamento, proteção contra as chuvas, resfriamento evaporativo e ventilação. Chegou-se a conclusão de que o uso de biodigestores e a captação de água de chuva são economicamente viáveis para Maravilha, mas o uso da energia solar fotovoltaica, mesmo quando proposto para comunidades isoladas, pode tornar-se inadequado. Quanto as construções, pode-se concluir que a aplicação da Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos seria adequada por contribuir com a minimização do gasto energético das edificações e por ser adaptada para o clima do Brasil, apesar de ainda apresentar uma grande escassez de dados climáticos em algumas cidades. Já a certificação LEED prima pela adoção de princípios sustentáveis e buscam agregar valor ao empreendimento, sendo viáveis para edificações que não levam em consideração o aspecto financeiro da obra, tornando-as eficientes sob o ponto de vista ambiental, mas caras em relação ao critério econômico. Os resultados alcançados visam contribuir para o avanço do conhecimento sobre a relação entre desenvolvimento e ambiente construído, no que se refere à minimização dos impactos ambientais da construção civil.

Palavras-chave: Construção Sustentável, Estratégias Bioclimáticas, Semiárido alagoano, Eficiência Energética nas Edificações, Certificação LEED.

ABSTRACT

This paper aims to analyze the parameters that affect the sustainability degree of the built environment that depend on the architecture Project, particularly in reference to energy consumption and minimization of water usage. This is a research on the implementation of sustainable practices for civil construction, considering its relation to the social, economical and environmental aspects of the planet. It was studied the use of bioclimatic strategies for Alagoas semiarid, the implementation of Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) certification and regulations for voluntary labeling of the energy efficiency level in commercial, services and public buildings, proposed by INMETRO. It was checked how occurs the reflections of these aspects in the practical activities of the designers of the built environment, by identifying through a case study, the difficulties of producing an architecture with a greater degree of sustainability. It was elaborated a preliminary study of the architectonic Project for a paleontology museum in the municipality of Maravilha – AL, applying the studied principles. According to research, the best way to minimize the use of natural resources in architecture is designing in accordance with the region's climate. Considering this factor, the bioclimatic strategies proposed to the municipality of Maravilha were thermal mass for cooling, shading, protection from rain, evaporative cooling and ventilation. Coming to a conclusion that the use of biodigesters and the rainwater catchment are economically viable for Maravilha, but the use of photovoltaic solar power, even when proposed to isolated communities may become inappropriate. As for the buildings, can be conclude that the implementation of regulations for voluntary labeling of the energy efficiency level in commercial, services and public buildings would be more appropriate than the LEED certification, for meeting better solutions and be created and adapted for Brazil. The expected results aim to contribute to the knowledge advancement on the relation between the development and the built environment, with regard to minimizing the environment impacts of civil construction.

Key words: Sustainable construction, Bioclimatic strategies, Alagoas semiarid, Energy efficiency in buildings, LEED certification.

Lista de Figuras

Figura 01: Mapa de Alagoas	18
Figura 02: Carta Bioclimática de Olgyay	29
Figura 03: Carta Bioclimática de Givoni.....	30
Figura 04: Zona de Conforto	31
Figura 05: : Zona de Ventilação	31
Figura 06: Ventilação diurna e noturna	31
Figura 07: Zona de Resfriamento Evaporativo.....	32
Figura 08: Zona de massa térmica para resfriamento	32
Figura 09: Zona de ar condicionado	33
Figura 10: Zona de Umidificação	33
Figura 11: Zona de Massa Térmica para Aquecimento	33
Figura 12: Zona de Aquecimento Solar Passivo.....	34
Figura 13: Zona de Aquecimento Artificial.....	34
Figura 14: Processo de Biometanação	45
Figura 15: Da areia até a célula fotovoltaica	49
Figura 16: Certificação de Eficiência Energética em Edificações.....	54
Figura 17: Zoneamento bioclimático brasileiro.....	55
Figura 18: Rosa dos Ventos com quadrantes.....	55
Figura 19: Mapa de escassez de água pelo mundo	58
Figura 20: Mapa do Polígono das Secas.....	86
Figura 21: Mesoregiões geográficas de Alagoas	88
Figura 22: Mapa com a localização do terreno, em Maravilha - AL.....	96
Figura 23: Levantamento topográfico do terreno em Maravilha- AL	96
Figura 24: Planta Baixa	97
Figura 25: Perspectiva	97
Figura 26: Perspectiva	97
Figura 27: Vista Sul.....	98
Figura 28: Vista Leste.....	98
Figura 29: Vista Norte	98
Figura 30: Vista Oeste	99
Figura 31: Carta Bioclimática gerada para Pão de Açúcar contendo dados do ano climático de referência determinado.....	104
Figura 32: Zona Bioclimática 8	105

Figura 33: Veneziana de madeira com vidro móvel	108
Figura 34: Veneziana com vidro.....	109
Figura 35: Planta Baixa do lado direito do museu de paleontologia	109
Figura 36: Captador de vento, parte integrante do Corte CC'	110
Figura 37: Captador de vento, parte integrante do Corte BB'	110
Figura 38: Parte integrante do Corte CC'	112
Figura 39: Parte integrante do Corte AA'	113
Figura 40: Fachada Oeste	113
Figura 41: Fachada Sul	114
Figura 42: Cobertura vegetal (teto jardim), parte integrante do Corte DD'	114
Figura 43: Jardim interno, parte integrante do Corte DD'	115
Figura 44: Perspectiva mostrando a estratégia de sombreamento no museu.....	116
Figura 45: Planta Baixa mostrando a proteção solar no museu	117
Figura 46: Insolação na Fachada Norte	118
Figura 47: Máscara de sombra dos protetores solares	118
Figura 48: Insolação na Fachada Sul	122
Figura 49: Máscara de sombra dos protetores solares	122
Figura 50: Insolação na Fachada leste	126
Figura 51: Máscara de sombra dos protetores solares	126
Figura 52: Insolação na Fachada Oeste	130
Figura 53: Máscara de sombra dos protetores solares	130
Figura 54: Pau de tucano	134
Figura 55: Ipê branco.....	134
Figura 56: Estratégia de sombreamento, parte integrante do Corte AA'	135
Figura 57: Partes do edifício que compõem a envoltória.	145
Figura 58:Indicação das Fachadas do Museu de Paleontologia	151
Figura 59: Proteção solar horizontal com AVS de 45°	155
Figura 60: Proteção solar vertical com AHS de 23,05°	155
Figura 61: Luminária escolhida (CAA01-E232)	167
Figura 62: Perspectiva mostrando escavação no local que possuem fósseis.....	189
Figura 63: Planta Baixa mostrando os vestiários dos funcionários	189
Figura 64: Planta Baixa indicando o bicicletário.....	190
Figura 65: Planta Baixa do estacionamento, mostrando as vagas para motos e o bicicletário	190
Figura 66: Perspectiva mostrando a vegetação do museu	191

Figura 67: Parte da Planta de Coberta do lado esquerdo do museu.....	191
Figura 68: Parte da Planta de Coberta do lado direito do museu.....	192
Figura 69: Parte da Planta Baixa do lado esquerdo do museu.....	192
Figura 70: Parte do estacionamento do museu	193
Figura 71: Perspectiva mostrando o teto jardim do museu de paleontologia	193
Figura 72: Perspectiva mostrando calhas e a cisterna de captação da água de chuva no museu.....	194
Figura 73: Perspectiva do museu mostrando o biodigestor	196
Figura 74: Perspectiva do museu mostrando os captadores de vento.....	196
Figura 75: Perspectiva do museu mostrando o uso dos protetores solares e de cores claras	197
Figura 76: Perspectiva do museu mostrando a praça/ fumódromo.....	199
Figura 77: Planta Baixa	200

Lista de Fotos

Foto 01: Biomassa	43
Foto 02: Energia Eólica	44
Foto 03: Energia Geotérmica	44
Foto 04: Biossistema em construção composto de biodigestor	46
Foto 05: Placas solares	48
Foto 06: Placas solares	48
Foto 07: Microcélulas de silício dos novos painéis flexíveis	51
Foto 08: Projeto Cisternas do Programa Fome Zero	60
Foto 09: Edificação com captação de água da chuva	61
Foto 10: Agência do Banco Real/ABN Amro	74
Foto 11: Prédio Bracor Petrobrás, Rio de Janeiro	74
Foto 12: Unidade Dumont Villares, São Paulo	74
Foto 13: Sertão Alagoano	89
Foto 14: Sertão Alagoano	89
Foto 15: Escavações para encontrar fósseis	95
Foto 16: Fósseis encontrados	95
Foto 17: Escultura do taxodonte	95
Foto 18: Escultura do tigre dente de sabre	95

Foto 19: Escultura da preguiça gigante	95
Foto 20: Museu do Cariri	99
Foto 21: Vista externa do Museu	100
Foto 22: Vista interna do Museu - Sala de exposição	100
Foto 23: Exposição de fósseis	100
Foto 24: Museu	101

Lista de Quadros

Quadro 01: Esquema das três dimensões da sustentabilidade na construção	38
Quadro 02: Princípios para a redução de impactos ambientais da energia e água	40
Quadro 03: Principais sistemas existentes para avaliação ambiental de edifícios.....	65
Quadro 04: LEED-NC	72
Quadro 05: LEED EB	72
Quadro 06: LEED CI	72
Quadro 07: LEED CS	73
Quadro 08: LEED Schools	73
Quadro 09: LEED ND	73
Quadro 10: Princípios do desenho sustentável	80
Quadro 11: Princípio 1 - Economia de Recursos	80
Quadro 12: Princípio 2 - Ciclo de vida do edifício	81
Quadro 13: Princípio 3 - Desenho Humanizado	81
Quadro 14: Contradições entre a NBR 15.220-3 (ABNT, 2005) X Passos (2009)	106
Quadro 15: Síntese das estratégias bioclimáticas recomendadas para a cidade de Pão de Açúcar	107
Quadro 16: Insolação na Fachada Norte	119
Quadro 17: Insolação na Fachada Sul	123
Quadro 18: Insolação na Fachada Leste	127
Quadro 19: Insolação na Fachada Oeste	131
Quadro 21: Custos adicionais do LEED	188
Quadro 22: Espaço sustentável (SS).....	188
Quadro 23: Eficiência e uso da água (WE).....	194
Quadro 24: Energia e atmosfera (EA)	195
Quadro 25: Materiais e Recursos (MR).....	197
Quadro 26: Qualidade ambiental interna (EA)	198

Quadro 27: Inovação e processos (IN)	201
--	-----

Lista de Tabelas

Tabela 01: Acontecimentos sobre Meio Ambiente	26
Tabela 02: Classificação Geral da Edificação	54
Tabela 03: Pré-requisitos para classificação do Nível de Eficiência do Sistema de Iluminação	56
Tabela 04: Produção hídrica do mundo por região.....	58
Tabela 05: Produção hídrica de superfície da América do Sul.....	58
Tabela 06: Disponibilidade hídrica do Brasil por regiões	58
Tabela 07: Anos de seca no nordeste brasileiro durante os últimos quatro séculos	88
Tabela 08: Elementos Climatológicos para a Mesoregião do Sertão de Alagoas	89
Tabela 09: Síntese das estratégias recomendadas para Pão de Açúcar, segundo a Carta Bioclimática de Givoni	105
Tabela 10: Material proposto para as paredes externas do museu de paleontologia	112
Tabela 11: Proposta para parte da cobertura do museu de paleontologia.....	116
Tabela 12: Consumo dos equipamentos para a geração da energia fotovoltaica.....	136
Tabela 13: Orçamento 01.....	136
Tabela 14: Consumo dos equipamentos para a geração da energia fotovoltaica.....	137
Tabela 15: Orçamento 02.....	137
Tabela 16: Custo para fornecimento a cada 1 km de distribuição de energia	138
Tabela 17: Custo adicional da subestação para a distribuição de energia elétrica	139
Tabela 18: Orçamento 02.....	139
Tabela 19: Precipitação Mensal em Pão de Açúcar.....	143
Tabela 20: Transmitância e Capacidade Térmica da Cobertura	145
Tabela 21: Transmitância e Capacidade Térmica da Parede	146
Tabela 22: Variáveis e Conceitos	148
Tabela 23: Fator de forma máximo e mínimo por zona bioclimática.....	149
Tabela 24: Ambientes do Museu de Paleontologia com suas respectivas áreas.....	150
Tabela 25: Soma das áreas de Fachadas	152
Tabela 26: Soma da Área de Projeção da Cobertura Total.....	152
Tabela 27: Soma do Volume Total da Edificação	152
Tabela 28: Fachada Sul.....	153

Tabela 29: Fachada Leste	153
Tabela 30: Fachada Norte	154
Tabela 31: Fachada Oeste	154
Tabela 32: Fachada Sul.....	156
Tabela 33: Fachada Leste	156
Tabela 34: Fachada Norte	157
Tabela 35: Fachada Oeste	157
Tabela 36: Parâmetros do IC _{máxD}	159
Tabela 37: Parâmetros do IC _{mín}	159
Tabela 38: Limites dos intervalos dos níveis de eficiência	160
Tabela 39: Resultado dos Limites dos intervalos dos níveis de eficiência.....	160
Tabela 40: Dados Gerais.....	161
Tabela 41: Variáveis e Conceitos	162
Tabela 42: Índice de Ambiente Calculado (K)	163
Tabela 43: Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPI _{RL}) para o nível de eficiência pretendido	164
Tabela 44: Ambientes nos quais devem ser calculado DPI _{RL} por interpolação.....	165
Tabela 45: Resultado dos DPI _{RL}	166
Tabela 46: Modelo de lâmpada.....	168
Tabela 47: Luminárias, Lâmpadas, Potência e Iluminância dos ambientes	168
Tabela 48: Resultado DPI _{RF}	171
Tabela 49: Resultado do DPI _{RL} para Eficiência B, C, D e E	177
Tabela 50: Equivalentes Numéricos	178
Tabela 51: Cálculo para o Auditório	182
Tabela 52: Quantidade de Splits para os ambientes	183
Tabela 53: Equivalentes Numéricos dos Ambientes	184
Tabela 54: Categoria e pontuação LEED-NC	187
Tabela 55: Pontos atingidos pelo museu de paleontologia	201

Lista de Gráficos

Gráfico 01 Precipitação média mensal partir de uma série histórica de dados nas cidades de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar Pontos.....	143
--	-----

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	17
1 SUSTENTABILIDADE E ARQUITETURA	24
1.1 O Bioclimatismo e a Sustentabilidade aplicados à Arquitetura	28
1.2 Sustentabilidade do Espaço Construído	37
2 A ENERGIA E A ÁGUA COMO FATORES DETERMINANTES PARA O SÉCULO XXI	40
2.1 Energia X Meio Ambiente	40
2.1.1 A crise energética	41
2.1.2 Energias alternativas	42
2.1.3 Etiquetagem de Eficiência Energética em Edificações	52
2.2 Água X Meio Ambiente	57
2.2.1 Captação de águas de chuva em edificações	60
3 CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL	65
3.1 Materiais X Avaliação do Ciclo de Vida das Edificações	77
3.2 A Sustentabilidade sob o Enfoque de alguns Escritórios de Arquitetura de que atuam na Construção Civil Alagoana	82
4 ESTUDO DE CASO PARA EDIFICAÇÃO BASEADA NOS PRINCÍPIOS DE SUSTENTABILIDADE NO SEMIÁRIDO ALAGOANO: MUSEU DE PALEONTOLOGIA PARA O MUNICÍPIO DE MARAVILHA – AL	86
4.1 O Semiárido nordestino	86
4.1.1 O Semiárido alagoano	88
4.1.1.1 Emigração de pessoas do interior das cidades para a capital: fator negativo desenvolvimento do sertão	90
4.1.1.2 Turismo nas cidades do interior de Alagoas: fator positivo para o desenvolvimento do sertão	91
4.1.2 Arquitetura e Clima no semiárido alagoano	92
4.2 Contexto Histórico do Município de Maravilha – AL	93
4.3 Elaboração do Museu de Paleontologia	102
4.3.1 O consumo de energia e a minimização do uso de água no museu de paleontologia	135
4.3.2 Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos X Museu	144

4.3.3 Leed X Projeto Museu	201
CONSIDERAÇÕES FINAIS	202
REFERÊNCIAS	206
APÊNDICE : ESTUDO PRELIMINAR DO MUSEU	215

INTRODUÇÃO

Os problemas relacionados ao meio ambiente começaram a fazer parte das agendas estratégicas de muitos países no final do século passado, com o intuito de tentar minimizar a exploração dos recursos naturais sem comprometer as necessidades das gerações que estão por vir.

O presente trabalho propõe uma reflexão sobre essa questão ambiental relacionada à exacerbação dos padrões de consumo, à mimetização de culturas exógenas através da influência da sociedade internacional e da importância da reconstrução do paradigma da sustentabilidade nas edificações. Muitas construções são copiadas de seu lugar de origem para regiões de clima totalmente diferentes, provocando um elevado consumo energético, prejudicando o conforto ambiental das edificações, e causando um impacto visual diante da sociedade.

Diante do exposto, este trabalho assume importância pelo fato de buscar uma contribuição relacionada à minimização do uso de recursos naturais nas edificações, tendo em vista que a Construção Civil é responsável pelo consumo de quase 50% desses recursos no planeta. Por esse motivo, o objetivo desta pesquisa é analisar os parâmetros que afetam o grau de sustentabilidade que depende do projeto de arquitetura, particularmente no que diz respeito ao consumo de energia nas edificações, por meio da utilização de estratégias bioclimáticas recomendadas para o clima semiárido alagoano. Desta forma, foi aplicada a Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos e a Certificação Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), verificando como esses aspectos ocorrem na atividade prática dos projetistas do ambiente construído.

Com o intuito de integrar a teoria à prática, o trabalho abordará uma proposta de um estudo preliminar para um Museu de Paleontologia no município de Maravilha, Alagoas, no qual serão aplicados alguns dos conceitos estudados, buscando aproximar o projeto a uma arquitetura adaptada ao lugar com o uso das condicionantes ambientais¹. Verificou-se como esta mesma obra se adequaria aos novos conceitos de construções eficientes no uso de energia e na minimização de outros recursos naturais.

¹ Que podem ser clima, insolação, ventos, topografia, entorno, tipologia arquitetônica.

O Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente leva em consideração o desenvolvimento do nordeste e o município de Maravilha, localizado no sertão alagoano (ver figura 01), “possui uma grande parte da população sobrevivendo de programas financiados pelo governo federal”² e apresenta uma proposta de desenvolvimento local através do estudo feito pelo paleontólogo Jorge Luiz Lopes da Silva, que pesquisa a região há mais de dez anos, descobrindo fósseis de animais pré-históricos em Maravilha, Poço das Trincheiras e Ouro Branco. Pretende transformar esse trecho num parque temático e numa Área de Proteção Ambiental (APA), visando um melhor aprimoramento para o turismo local, levando em consideração a preservação do patrimônio histórico e ambiental do lugar. O estudo realizado em Maravilha poderia contribuir também, além da pesquisa científica do trabalho, em benefício daquela população, fazendo com que os fósseis encontrados pudessem permanecer na região e transformar-se numa forma positiva de turismo. Pelos motivos citados anteriormente, houve a intenção de elaborar o estudo preliminar do museu de paleontologia para o município de Maravilha, mesmo sabendo que sua execução seria muito difícil de ser concretizada.



Figura 01 : Mapa de Alagoas (fora da escala)

Fonte: <http://www.frigoletto.com.br/GeoAlagoas/mapamregioes.htm>

Maravilha faz parte do semiárido alagoano e possui clima quente e seco, distando 234 quilômetros da capital. Antigamente, o município era um pequeno povoado de Santana do Ipanema, mas emancipou-se em 17 de Julho de 1958.

Assim, o problema de pesquisa resume-se em uma questão principal e duas secundárias:

² Informação cedida pelo paleontólogo Jorge Luiz da Silva, em Maio de 2008.

1) Como otimizar a adequação dos projetos às condições e características ambientais e à disponibilidade de recursos naturais?

1.1) Como projetar no clima semiárido do ponto de vista ambiental?

1.2) Quais as dificuldades em construções de edificações que adotam a sustentabilidade como parâmetro construtivo fundamental?

Repensar essas dificuldades na construção civil traz à tona um compromisso com as futuras gerações e com a capacidade de suporte do planeta.

O objetivo geral da dissertação consiste em investigar o potencial de sustentabilidade de edificações, tendo em vista sua relação com os aspectos sociais, econômicos e ambientais e identificando, principalmente, formas de racionalizar o consumo de energia e de água.

São os objetivos específicos:

- ✓ Analisar parâmetros relacionados ao consumo de energia e a captação de água de chuva no ambiente construído, particularmente aqueles que dependem do projeto de arquitetura;
- ✓ Verificar os procedimentos de aplicação da Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos e da Certificação LEED nas edificações;
- ✓ Elaborar um estudo preliminar para um projeto arquitetônico de um museu de paleontologia no município de Maravilha (AL), onde se apliquem a utilização das estratégias bioclimáticas para o semiárido alagoano, a Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos e a Certificação LEED, com o intuito de verificar as dificuldades práticas de utilização.

O presente trabalho adota uma pesquisa exploratória³, de natureza qualitativa, baseado na estratégia metodológica do Estudo de Caso.

Segundo Tognetti (2006), a pesquisa bibliográfica requer conhecimento de termos técnicos e sinônimos, ela é imprescindível para qualquer pesquisa científica, pois registra e organiza os dados bibliográficos referentes aos documentos obtidos e empregados na pesquisa

³ Busca uma primeira aproximação com o tema; visa conhecer os fatos e fenômenos relacionados ao tema e recuperar as informações disponíveis (TOGNETTI, 2006).

e possui como objetivos desvendar, recolher e analisar as principais contribuições sobre um determinado fato, assunto ou idéia.

Os procedimentos metodológicos utilizados neste trabalho dividiram-se em três etapas:

1- Revisões bibliográficas:

Num primeiro momento do Estudo de Caso foram feitas revisões bibliográficas para a obtenção de um embasamento teórico que buscasse subsídios sobre:

- Desenvolvimento Sustentável;
- Arquitetura e Sustentabilidade;
- Energia e meio ambiente;
- Etiquetagem de Eficiência Energética em Edificações;
- Água e meio ambiente;
- Certificação Ambiental na construção civil;
- Estratégias bioclimáticas para o clima quente e seco.

2 – Estudos sobre a Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos e da Certificação LEED nas edificações:

- Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos:

- Estudo detalhado do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ) e do Manual para Aplicação dos Regulamentos⁴;
- Entrevista com Juliana Oliveira (Professora da UFAL) sobre a aplicação do RTQ e do Manual para Aplicação dos Regulamentos.

- Certificação LEED

- Entrevista com o engenheiro e gerente técnico do GBC Brasil, Marcos Casado.

- Entrevistas com profissionais que atuam na área da construção civil alagoana:

⁴ Disponíveis no link <http://www.eletronbras.com/elb/data/Pages/LUMIS0389BBA8PTBRIE.htm>.

- Edalmo Lobo (Escritório: Edalmo Lobo);
- Mário Aloisio (Escritório: Traço Arquitetura);
- Victor D'Avila (Escritório do arquiteto Cícero Duarte: Duarte Arquitetos);
- Cinthia Coêlho Malta (Empresa Concep Engenharia e Arquitetura);
- Mariano Teixeira (Escritório: Mariano Teixeira Arquitetos, Sociedade Simples LTDA).

3 – Elaboração do Estudo de Caso:

- Escolha da cidade e levantamento de dados do terreno:

- O município de Maravilha, em Alagoas, foi escolhido, conforme já citado anteriormente;
- Foi feito o levantamento topográfico do terreno (por um profissional da área) e visitas ao local com registro fotográfico e análise das condicionantes ambientais;
- Os dados do município foram pesquisados na Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH) e no site do INMET, porém não foram utilizados devido a ausência de uma série histórica de dados climáticos que pudessem servir para identificar as estratégias bioclimáticas para o local. No entanto, a análise de tais estratégias foi baseada nos dados utilizados por Passos (2009) para o município de Pão de Açúcar, devido está localizado, também, no sertão alagoano.

- Desenho do estudo preliminar para o museu de paleontologia:

- Aplicação das práticas sustentáveis estudadas;
- Aplicação da Regulamentação para etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos;
- Aplicação do método de avaliação LEED.

- Análise e discussão dos resultados:

- Verificou-se as dificuldades encontradas no estudo preliminar proposto para o semiário;
- Discutiu-se o uso de energias alternativas e a minimização do consumo de água na edificação;

- Discutiu-se a Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos e a Certificação LEED.

A metodologia do presente trabalho está resumida a seguir e atrelada ao seu respectivo objetivo.

OBJETIVO	METODOLOGIA
Analisar parâmetros relacionados ao consumo de água e energia que afetem o grau de sustentabilidade do ambiente construído, particularmente aqueles que dependem do projeto de arquitetura	Revisão bibliográfica das técnicas referentes a sustentabilidade das edificações, enfocando, principalmente, as questões sobre água e energia.
Verificar os procedimentos de aplicação da Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos e da Certificação LEED nas edificações	- Estudos mais detalhados sobre a Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos e da Certificação LEED nas edificações; - Entrevistas com profissionais que atuam na área da construção civil alagoana.
Elaborar um estudo preliminar para um projeto arquitetônico de um museu de paleontologia no município de Maravilha (AL), onde se apliquem a utilização das estratégias bioclimáticas para o semiárido alagoano, a aplicação da Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos e a aplicação da Certificação LEED, com o intuito de verificar as dificuldades práticas de utilização	- Escolha da cidade e levantamento de dados do terreno; - Desenho do estudo preliminar para o museu de paleontologia; - Análise e discussão dos resultados:

A dissertação foi estruturada em quatro capítulos, descritos a seguir: o primeiro trata da relação entre arquitetura e meio ambiente, abordando os benefícios que uma edificação projetada de acordo com o clima do lugar e com o uso de adequadas estratégias bioclimáticas podem proporcionar para aumentar o grau de sustentabilidade do espaço construído, contribuindo para a minimização do consumo energético e do desperdício de recursos naturais.

O segundo capítulo enfoca a importância do uso racional de energia e de água em um contexto geral e, principalmente, nas edificações, enfatizando-as como fatores essenciais para a resolução de vários problemas de cunho ambiental, social e econômico em nosso planeta.

No terceiro capítulo foi feita uma introdução dos conceitos sobre a certificação de edificações em vários países e a implantação do sistema LEED e HQE (AQUA) no Brasil, abordando a importância da escolha de materiais na construção e de seu Ciclo de Vida das Edificações. Mostra, também, a opinião de alguns arquitetos que atuam na construção civil alagoana a respeito da sustentabilidade e de sua relação com a prática do projeto de arquitetura direcionado para o mercado imobiliário.

No quarto capítulo são apresentados alguns aspectos sobre o Nordeste e o clima semiárido, principalmente o alagoano, enfocando a emigração como fator negativo para a economia e o turismo como fator positivo. Aborda, também, algumas das características do município de Maravilha e enfoca a elaboração do estudo preliminar do museu de paleontologia com a intenção de analisar as estratégias bioclimáticas que se adaptam melhor ao tipo de clima quente e seco, tentando verificar as dificuldades entre a teoria e a prática do projeto de arquitetura.

1 SUSTENTABILIDADE E ARQUITETURA

A globalização nos aproxima de um mundo virtual, onde acessamos uma cultura pertencente a outros povos, inspirada por uma modernidade que impõe o uso de novas tecnologias criadas para atrair o “consumidor universal”, que é fisgado, na maioria das vezes, não pela necessidade de consumir, mas por modismo ou status social. Gerando, como consequência, uma desvalorização da identidade nacional e contribuindo, também, para a importação de padrões arquitetônicos norte-americanos e europeus, bem como para a modificação da paisagem urbana e para o elevado consumo energético nas edificações.

Os padrões de consumo, influenciados diretamente pela globalização, ganham cada vez mais força, mudando os antigos costumes das civilizações, diversificando as culturas nacionais com a perda de suas identidades locais e limitando o progresso de alguns segmentos da sociedade. Esses padrões se dão de forma desigual podendo privar a liberdade individual da maioria dos habitantes das cidades, devido a má distribuição de renda per capita, principalmente nos países periféricos, contribuindo de forma direta para a miséria crescente e a degradação ambiental.

As desigualdades chegaram a um ponto no qual até os países desenvolvidos estão encontrando dificuldades em saná-las, entrando em conflito com problemas macroeconômicos, que ocasionam degradação ambiental e social. Cavalcante (1998) afirma que “a atual crise econômica mundial traduz-se por uma crise de regulação e de paradigma. Acredita-se que se vive o fim de um ciclo, ou seja, o fim de um modelo de desenvolvimento que foi mais predominantemente de crescimento econômico e que se tornou insustentável para as aspirações complexas da sociedade atual com o esgotamento do paradigma produtivista/ economicista/ individualista/ hedonista”, tendo agora a necessidade de buscar um “novo” paradigma: a sustentabilidade.

Os conceitos sobre sustentabilidade são bastante variados. Cavalcante (1995) define como sendo a possibilidade de se obterem condições iguais ou superiores de vida para um grupo de pessoas e seus sucessores em um dado sistema. Já de acordo com Leff (2001), a sustentabilidade depende da construção de uma nova racionalidade global (econômica/ ambiental), e não de um equilíbrio entre os custos e benefícios da racionalidade atual. Para Alva (1997), significa repensarmos criticamente a organização e funcionamento do território e

do ambiente construído e natural, harmonizando-os com os princípios de preservação ambiental, visando beneficiar as gerações presentes e futuras.

Segundo Sachs (2002), os critérios para atingir um maior grau de sustentabilidade são oito:

- a) Social: visa a homogeneidade e a igualdade entre todos os cidadãos;
- b) Cultural: respeito e equilíbrio entre as tradições e a cultura local;
- c) Ecológico: preservação e conservação dos recursos naturais renováveis e não-renováveis;
- d) Ambiental: respeito à capacidade de carga dos ecossistemas naturais do planeta;
- e) Territorial: igualdade social e econômica em todo o território, ocasionando, consequentemente, a superação das disparidades entre campo e cidade, tentando evitar o êxodo rural e a superlotação das cidades e valorizar a cultura e a natureza do local;
- f) Econômico: equilíbrio econômico tanto da população quanto de seu país no contexto global;
- g) Política nacional: visa a democracia baseada nos direitos humanos e o desenvolvimento de um país e de sua população;
- h) Política internacional: busca a cooperação internacional e a garantia de paz, estabelecendo um sistema de administração para o patrimônio comum da humanidade.

Esses critérios possuem como base o socialmente incluyente, o ambientalmente sustentável e o economicamente sustentado. O processo de transição do atual modelo de desenvolvimento para um modelo mais sustentável implica numa revisão sobre a maneira como os recursos naturais são utilizados e sua relação com aspectos sociais, econômicos e ambientais.

Desde o surgimento das discussões sobre desenvolvimento sustentável, várias definições foram postuladas. Ainda hoje é pauta de inúmeros debates sobre seus conceitos e suas várias vertentes. Segue na tabela 01 o resumo de alguns dos acontecimentos relacionados ao Meio Ambiente no decorrer dos anos:

Tabela 01: Acontecimentos sobre Meio Ambiente

Ano	Acontecimento
1968	Fundação do Clube de Roma
1972	Clube de Roma publica o Relatório “Os Limites do Crescimento” (que propunha crescimento zero para evitar a degradação ambiental).
1972	Conferência de Estocolmo com a criação do Pnuma (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente).
1982	PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) promoveu uma reunião em Nairóbi, Quênia, criando a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (UnCED – United Nations Conference on Environment and Development).
1987	Relatório Nosso Futuro Comum.
1989	Declaração de HAIA, preparatória da RIO 92, apontou a importância da cooperação internacional nas questões ambientais.
1992	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como Cúpula da Terra, Conferência do Rio ou Rio-92, onde foi criada a Agenda 21.
1997	Conferência Internacional sobre Meio Ambiente e Sociedade: Educação e Conscientização Pública para a Sustentabilidade, Thessaloniki, Grécia. Rio + 5 Sessão especial da Assembleia Geral da ONU realizada em Nova York.
1997	Protocolo de Kioto (protocolo segundo o qual os países industrializados reduziram as emissões de gases que provocam o efeito estufa em pelo menos 5% em relação aos níveis de 1990 até o período entre 2008 e 2012).
1999	Conferência Mundial do Clima (Bonn, Alemanha)
2000	Declaração do Milênio, na sede da ONU em Nova York, com representantes de 189 países (traçou 8 objetivos básicos a serem atingidos até 2015).
2000	Conferência Mundial do Clima (Haia, Holanda)
2002	Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável (também conhecida como Rio+10), em Joanesburgo, África do Sul.
2002	VIII Conferência Mundial do Clima, adoção da Declaração de Déli sobre Mudanças Climáticas e Desenvolvimento Sustentável (Nova Déli, Índia).

Fonte: Tabacow *et al* (2006), Almeida (2007). Adaptado pela autora.

Para Sachs (2004), a transição para o desenvolvimento sustentável começa com o gerenciamento de crises, que requer uma mudança imediata de concepção do desenvolvimento.

Em algumas profissões é fundamental o estudo da sustentabilidade aliado a sua área de atuação, gerando idéias e usando suas técnicas profissionais para o contexto em que estiver inserido.

A arquitetura não pode estar separada da problemática ambiental, à medida que mais de 90% da vida do homem se passa no interior dos espaços arquitetônicos, quaisquer que sejam. É de vital importância poder contar com adequadas qualidades ambientais nestes espaços de modo a permitir que sejam realizadas as atividades referentes a cada ambiente de forma saudável e confortável. Para isto, os espaços precisam ser desenhados de forma integrada ao meio ambiente onde se insere, garantindo aos usuários condições de conforto que satisfaçam suas necessidades psicofisiológicas (FREIXANET, 2004).

Deve-se analisar e discutir o modo como a arquitetura se acomoda a situação de finitude e escassez de recursos naturais e de modalidades que obriguem a práticas muito mais cuidadosas no uso da energia, na minimização de resíduos oriundos da construção civil, entre outros fenômenos que fazem com que comecemos a pensar que estamos em um mundo de ciclos interativos. Na cultura da sustentabilidade, portanto, não temos margem para nos abstrairmos do futuro (FERNANDEZ, 2006).

Segundo Nascimento (2007), a construção civil é, ao lado da geração de energia, o setor que mais polui. É, ao mesmo tempo, uma das que menos adotam tecnologias e processos para evitar o desperdício, traduzido-se em agressão ao meio ambiente.

Casado¹ (2008) aponta alguns dos prejuízos ambientais gerados através da Construção Civil:

- Poluição atmosférica
 - Para cada tonelada de cimento produzido são gerados 600 kg de CO₂ na natureza;
 - Para cada tonelada de aço produzido são gerados 2500 kg de CO₂ na atmosfera;
 - 5% das emissões diretas de CO₂ do planeta é gerado pela CC e outros 25% indiretos.
- Consumo de energia dos materiais
 - Para cada tonelada de areia ou brita produzida são consumidos 10 kwh;
 - Para cada tonelada de gesso produzido são consumidos 1000 kwh;
 - Para cada tonelada de cimento produzido são consumidos 2200 kwh;
 - Para cada tonelada de aço produzido são consumidos 10000 kwh;
 - Para cada tonelada de alumínio produzido são consumidos 56000 kwh.

De acordo com Duarte e Gonçalves (2006), a partir das preocupações com o consumo de energia, originadas na década de 1970, o tema da arquitetura sustentável evoluiu para outros aspectos do impacto ambiental da construção, como o impacto gerado pelos processos de industrialização dos materiais e a busca por sistemas prediais mais eficientes.

¹ Marcos Casado, gerente técnico do GBC Brasil (LEED).

Para Reis e Cunha (2006), as estreitas relações de energia com o meio ambiente e o desenvolvimento indicam a necessidade de mudança de paradigma de desenvolvimento, onde se pode ressaltar que:

- A energia teve papel preponderante em vários desastres ecológicos e humanos das últimas décadas, em especial naqueles relacionados com aquecimento global, uso e degradação do solo e da terra, chuva ácida, poluição de águas subterrâneas e de superfície, produção de resíduos sólidos e perigosos, etc.
- O modelo de planejamento energético mundial adotado até os anos 80, orientado com base na disponibilidade crescente da oferta para satisfazer e incentivar a demanda por energia, resultou em aumento acelerado das questões ambientais e sociais correlatas, assim como do esgotamento dos recursos naturais.
- O enfoque a partir da oferta resultou na implantação de grandes projetos de “desenvolvimento”, fortemente intensivos em capital e, na maioria das vezes, causadores de significativos problemas ambientais e sociais.

Watson e Labs (1992 *apud* BATISTA, 2006) afirmam que a abordagem equilibrada acerca das condições de aquecimento, resfriamento e iluminação natural no decorrer das estações do ano é a meta primordial do desenho adaptado ao clima, a denominada “arquitetura bioclimática”.

1.1 O Bioclimatismo e a Sustentabilidade aplicados à Arquitetura

O progresso tecnológico e social e a sustentabilidade ambiental devem estar sempre em equilíbrio, gerando tecnologias limpas, sem prejudicar a biodiversidade e os ecossistemas.

O bioclimatismo não é um estilo arquitetônico, como, por exemplo, o gótico, o moderno, o neoclássico, entre outros. Trata-se de uma abordagem que busca aproximar o clima do lugar às construções humanas. De acordo com Bustos Romero (2001), uma arquitetura bioclimática é aquela que consegue transformar o edifício em um mediador entre o clima externo e o ambiente interno de um edifício. Afirma, também, que as concepções bioclimáticas podem ser aplicadas ao espaço urbano, de forma que os ambientes resultantes possam transformar-se em “filtros” dos elementos do clima adversos às condições de saúde e conforto térmico do homem.

A chamada arquitetura bioclimática busca a harmonização das construções ao clima e características gerais locais, refletindo-se num partido arquitetônico que visa a maximização das condições de conforto ambiental com uma minimização da quantidade de energia das edificações (SOUZA, 2008).

Na década de 60, os irmãos Olgyay aplicaram conceitos da bioclimatologia à arquitetura, tendo em vista a do conforto térmico humano e criaram a expressão “projeto bioclimático”, desenvolvendo também um diagrama bioclimático (ver figura 02) que propõe estratégias para adaptação da arquitetura ao clima (LAMBERTS *et al*, 1997).

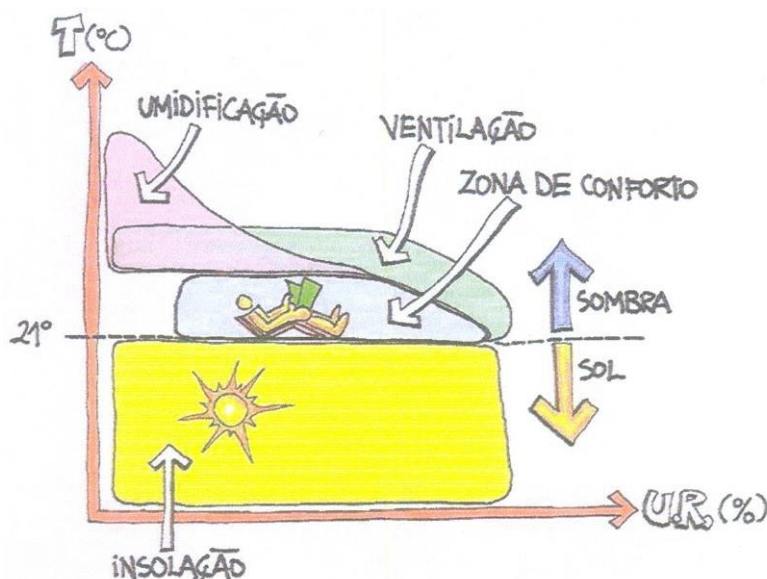


Figura 02: Carta Bioclimática de Olgyay
Fonte: Lamberts *et al* (1997)

Em 1969, Givoni elaborou novos estudos e criou uma carta bioclimática considerada mais evoluída do que a dos irmãos Olgyay, por ter sido desenhada sobre uma carta psicrométrica convencional e por ter utilizado também umidade absoluta como referência. A maior evolução da carta de Givoni em relação a de Olgyay deve-se ao fato de que considera a possibilidade de estudar os limites da zona de conforto como consequência da utilização de diferentes estratégias bioclimáticas. Relaciona as condições climáticas externas com determinados princípios de projeto da edificação, buscando, desta forma, alcançar condições internas de conforto térmico. A carta revisada por Givoni e Milne (1979) procurou adaptar a carta original para climas mediterrâneos e tropicais para ser utilizada em cidades da Venezuela. Os limites, tanto da zona de conforto quanto das demais estratégias, ampliaram-se, principalmente no que se refere às estratégias de ventilação e massa térmica (ANDRADE, 1996). Com base em análises para selecionar uma carta bioclimática (ver figura 03) para ser adotada no Brasil, chegou-se à conclusão que o trabalho de Givoni de 1992 para países em desenvolvimento seria o mais adequado para às condições brasileiras (LAMBERTS *et al*, 1997).

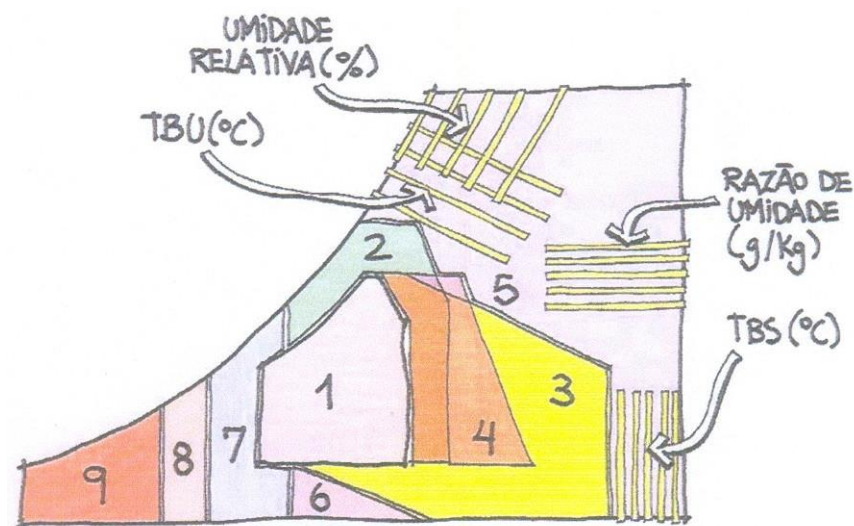


Figura 03: Carta Bioclimática de Givoni² (adotada pelo Brasil)
Fonte: Lamberts *et al* (1997)

Onde, o significado de cada número é:

- 1- Zona de Conforto
- 2- Zona de Ventilação
- 3- Zona de Resfriamento Evaporativo
- 4- Zona de Massa Térmica para Resfriamento
- 5- Zona de Ar Condicionado
- 6- Zona de Umidificação
- 7- Zona de Massa Térmica para Aquecimento
- 8- Zona de Aquecimento Solar Passivo
- 9- Zona de Aquecimento Artificial

Os conceitos são:

- 1) Zona de Conforto

Nas condições delimitadas por esta zona (ver figura 04) haverá uma grande probabilidade de que as pessoas se sintam em conforto térmico³. Percebe-se que o organismo humano pode

² Carta construída sobre o diagrama psicrométrico, que relaciona a temperatura do ar e a umidade relativa. Obtendo os valores destas variáveis para os principais períodos do ano climático da localidade, o arquiteto poderá ter indicações fundamentais sobre a estratégia bioclimática a ser adotada no desenho do edifício (LAMBERTS *et al*, 1997).

³ Conforto térmico é um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. Se o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem sente conforto térmico (ASHRAE *apud* LAMBERTS *et al*, 1997).

estar em conforto mesmo em diversos limites de umidade (entre 20% e 80%) e de temperatura (entre 18°C e 29°C). Em situações de temperatura próxima a 29°C é importante controlar a incidência de radiação solar sobre as pessoas, evitando assim o excesso de calor (GIVONI *apud* LAMBERTS *et al*, 1997).

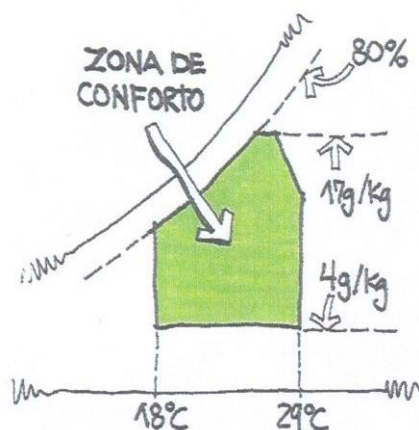


Figura 04: Zona de Conforto
Fonte: Lamberts *et al* (1997)

2) Zona de Ventilação

Os espaços exteriores devem ser amplos, evitando barreiras edificadas para favorecer a boa distribuição do movimento do ar (LAMBERTS *et al*, 1997).

Devem ser adotadas estratégias de ventilação de acordo com a zona bioclimática⁴ na qual a edificação está localizada (ver figuras 05 e 06).

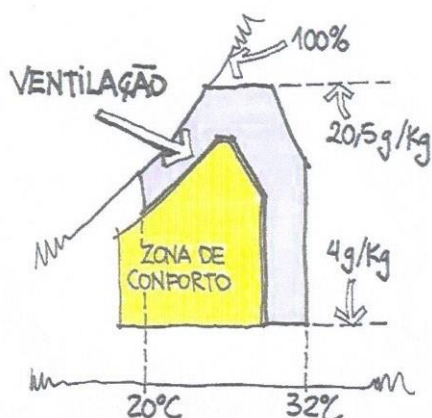


Figura 05: Zona de Ventilação
Fonte: Lamberts *et al* (1997)



Figura 06: Ventilação diurna e noturna
Fonte: Lamberts *et al* (1997)

⁴ O Zoneamento Bioclimático Brasileiro pode ser consultado no site http://www.labee.ufsc.br/conforto/textos/termica/parte3_SET2004.htm.

3) Zona de Resfriamento Evaporativo

Exemplos de resfriamento evaporativo direto são o uso de vegetação, fontes de água ou outro recurso que se fundamente na evaporação da água diretamente no ambiente que se quer resfriar (ver figura 07).

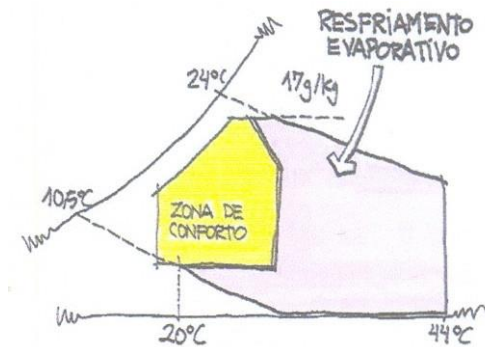


Figura 07: Zona de Resfriamento Evaporativo
Fonte: Lamberts *et al* (1997)

4) Zona de Massa Térmica para Resfriamento

O uso desta estratégia pode diminuir a amplitude da temperatura exterior em relação a interior, evitando os picos. O calor armazenado na estrutura térmica da edificação durante o dia é devolvido ao ambiente à noite, quando as temperaturas externas diminuem. De forma complementar, a estrutura resfriada durante a noite mantém-se fria durante a maior parte do dia, reduzindo as temperaturas interiores nestes períodos (ver figura 08).

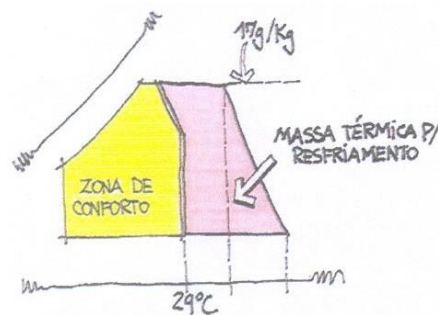


Figura 08: Zona de massa térmica para resfriamento
Fonte: Lamberts *et al* (1997)

5) Zona de Ar Condicionado

O uso de sistemas naturais de resfriamento pode não ser suficiente em certas condições de clima quente, mas eles poderão, se empregados conjuntamente ao ar condicionado, reduzir a dependência do ambiente ao uso deste e, conseqüentemente, o consumo de energia (ver figura 09).

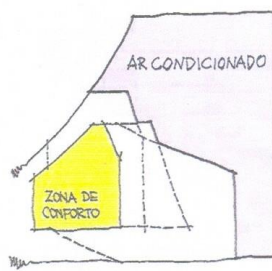


Figura 09: Zona de ar condicionado
Fonte: Lamberts *et al* (1997)

6) Zona de Umidificação

Quando a umidade do ar for muito baixa e a temperatura inferior a 27°C, haverá desconforto térmico devido à secura do ar. Nestes casos, a umidificação do ar melhora a sensação de conforto e produz um efeito de resfriamento evaporativo (ver figura 10).

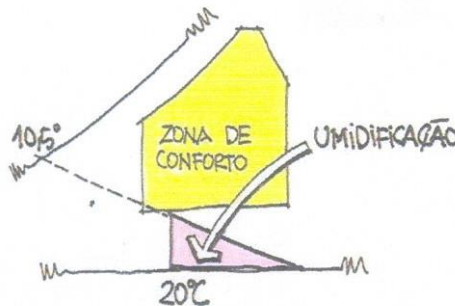


Figura 10: Zona de Umidificação
Fonte: Lamberts *et al* (1997)

7) Zona de Massa Térmica para Aquecimento

Essa região situa-se na carta entre a temperatura de 14°C e 20°C. Nela pode-se utilizar a massa térmica junto ao aquecimento solar passivo ou o aquecimento solar passivo com isolamento térmico (ver figura 11).

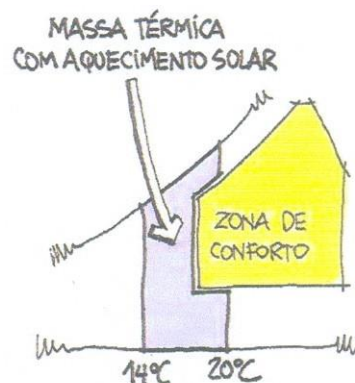


Figura 11: Zona de Massa Térmica para Aquecimento
Fonte: Lamberts *et al* (1997)

8) Zona de Aquecimento Solar Passivo

É recomendado o isolamento térmico do edifício de forma mais rigorosa, pois as perdas de calor tenderão a ser muito grandes. O edifício deve incorporar superfícies envidraçadas orientadas ao sol, aberturas reduzidas nas orientações menos favoráveis e proporções apropriadas de espaços exteriores para conseguir sol no inverno. Localizado entre a temperatura de 10,5°C e 14°C (ver figura 12).

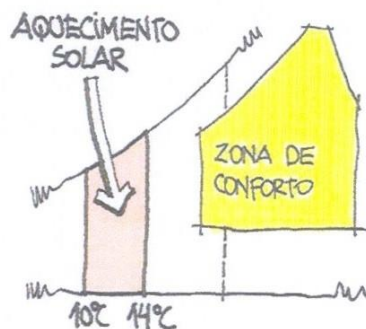


Figura 12: Zona de Aquecimento Solar Passivo
Fonte: Lamberts *et al* (1997)

9) Zona de Aquecimento Artificial

Em locais muito frios (com temperaturas inferiores a 10,5°C), o aquecimento solar passivo pode não ser suficiente para obtenção do conforto. Nestes casos, o uso de aquecimento artificial é recomendado (ver figura 13).

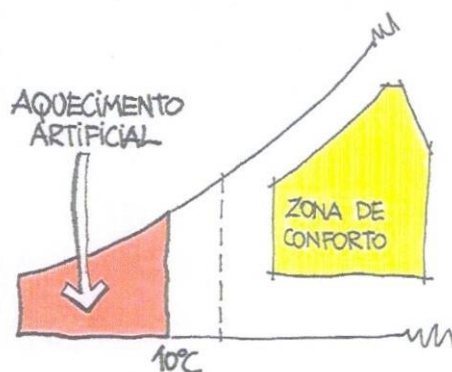


Figura 13: Zona de Aquecimento Artificial
Fonte: Lamberts *et al* (1997)

Segundo Graeff (1959), o clima merece especial atenção por parte dos arquitetos, porque, atuando de igual modo sobre todos os edifícios de uma região, constituem fator de unificação do acervo arquitetônico regional. A ação do clima sobre os edifícios de um lugar faz com que nas diferentes obras apareçam elementos arquitetônicos e soluções semelhantes.

Para Rogers (2001), os edifícios não são simples mercadorias, eles formam o pano de fundo de nossa vida na cidade. Arquitetura é a arte à qual estamos expostos dia e noite.

A arquitetura bioclimática visa a utilização de meios passivos, como, por exemplo, o uso de materiais adequados ao clima, a orientação das edificações em relação ao sol, tanto para captação de luz quanto de calor, previsão de aberturas laterais e/ ou zenitais para uma boa iluminação natural do edifício e orientação das aberturas para os ventos predominantes. Bittencourt (2006) sugere que a ventilação natural é apontada, frequentemente, como a estratégia bioclimática mais eficiente para a obtenção do conforto térmico nos espaços urbanos e arquitetônicos em climas quentes e úmidos.

O clima frio corresponde às temperaturas abaixo da faixa de 14 a 16°C com umidade relativa variável. Nessas condições atmosféricas a atenção do arquiteto deve ser dirigida no sentido de minimizar as perdas de calor por convecção. O clima temperado é aquele em que a temperatura varia entre 16°C a 31°C, também com umidade variável. O clima quente úmido é aquele em que as temperaturas máximas estão acima dos 30°C associadas a umidades relativas acima de 50%. O clima quente e seco corresponde a uma associação de temperaturas máximas acima de 31°C e umidade relativa inferiores a 50%. O trabalho do arquiteto consiste na análise de alternativas de projeto diante das diversas demandas, entre elas, as estratégias físicas para a solução de adversidades climáticas (KINSEL; SILVA, 2008).

Segundo Viggiano (2008), as diretrizes bioclimáticas são proposições genéricas que norteiam as decisões de projeto e geram soluções arquitetônicas propostas a partir do estudo dos elementos e fatores climáticos que devem estar presente em todas as fases do projeto.

Os climas se configuram a partir dos fatores e dos elementos climáticos, onde os fatores climáticos globais são a radiação solar, a latitude e a altitude, os ventos e as massas de água e terra; já os fatores climáticos locais são a topografia, a vegetação e a superfície do solo; os elementos climáticos são temperatura, umidade do ar, precipitações e movimento do ar (VIGGIANO, 2008).

De acordo com Arnhold (*apud* CORBELLA, 2008), quando a arquitetura bioclimática está engajada em um projeto maior, que visa não apenas ao conforto do usuário, mas também à preservação ambiental e ao bem-estar coletivo, ela é chamada de arquitetura sustentável, onde se pensa no edifício, no entorno e na sustentabilidade do planeta. Corbella (2003) ainda afirma que a Arquitetura Sustentável é a continuidade mais natural da Bioclimática, considerando também a integração do edifício à totalidade do meio ambiente, de forma a torná-lo parte de um conjunto maior. É a arquitetura que quer criar prédios objetivando a

melhoria da qualidade de vida do ser humano no ambiente construído e no seu entorno, integrados com as características da vida e do clima locais, consumindo a menor quantidade de energia para a obtenção do conforto ambiental, para legar um mundo menos poluído para as futuras gerações.

A arquitetura sustentável visa a redução dos impactos sobre o meio ambiente, prevendo os materiais corretos para construir (TABACOW *et al*, 2006).

Casado (2008) define Construção Sustentável, Construção ecológica e Green Building:

- Construção Sustentável:

Proporciona ambiente saudável e adequado para as pessoas desenvolverem as suas atividades, minimizando os impactos ambientais e preservando os recursos naturais. Gera resultados financeiros sustentáveis para os negócios e promove o desenvolvimento da sociedade sem comprometer as gerações futuras.

- Construção Ecológica:

Permite a integração entre o homem e a natureza, com um mínimo de alteração e impacto sobre o meio ambiente, usando recursos naturais de maneira integrada e, quase sempre, de forma instintiva e intuitiva.

- Green Building:

São edificações nas quais foram aplicadas medidas construtivas e procedimentais que buscam o aumento de sua eficiência no uso de recursos, com foco na redução dos impactos sócio-ambientais. Isto é feito por meio de um processo que abrange ciclo de vida completo das edificações.

Segundo Fuentes *et al* (2006), os três princípios nos quais todas as edificações deveriam se basear são:

- Projetar para um clima;
- Projetar para o meio ambiente social e físico;
- Projetar para o tempo.

A implementação de uma arquitetura sustentável baseada na adaptação climática local, enquanto célula da cidade contribuirá para a mudança do atual paradigma de desenvolvimento e reduzirá o consumo energético a partir do aproveitamento do potencial climático (SATTLER, 2001).

É necessário haver o interesse do arquiteto em aproximar a natureza ao homem, adequando a edificação ao clima local e relacionando-a às devidas forma e função. De acordo

com Santos (1988), o espaço deve ser considerado como um conjunto indissociável de que participam de um lado, certos arranjos de objetos geográficos, objetos naturais e objetos sociais, e, de outro, a vida que os preenche e os anima, ou seja, a sociedade em movimento. O conteúdo não é independente da forma e cada forma encerra uma fração do conteúdo. Dessa maneira, o pensamento de Santos se relaciona com o que Rogers (2001) escreveu: “a arquitetura deve promover a sobrevivência das cidades de forma mais pacífica com o meio ambiente, contribuindo para a educação da sociedade numa época em que se necessita de mudanças no comportamento e atitude na vida cotidiana. A cidade, como habitat humano, deve fortalecer a cidadania e contribuir para a formação dos seus habitantes”. Já para Fernandez Alba (*apud* HICKEL, 2007), as citações de Santos e Rogers estão muito longe de serem alcançadas, ele enfatiza que:

“o homem está reduzido a um objeto alienado na cidade, com espaço interior cheio de mensagens contraditórias, e uma geografia exterior plena de manufaturas iconográficas que robotizam sua consciência e lesionam o equilíbrio da natureza. A arquitetura, em parte significativa, parece atender aos anseios de uma classe média em ascensão, lastrada em desajustes sociais, ambiciosa por aparências e empenhada em rasurar o tempo. Talvez, porque a demanda dessa nova classe (ou sociedade) – produto desse mundo globalizado – requeira como elemento integrador o substrato do simulacro. Isso produz uma arquitetura eloqüente em molduras, enfática em formas e perversa na simulação do lugar”.

1.2 Sustentabilidade do Espaço Construído

Segundo Gonçalves e Duarte (2006), o estudo dos precedentes arquitetônicos mostra, a partir da Segunda Guerra Mundial, a banalização da arquitetura do Estilo Internacional, que, acompanhada pela crença de que a tecnologia de sistemas prediais oferecia meios para o controle total das condições ambientais de qualquer edifício, levou à repetição das caixas de vidro e ao exacerbado consumo de energia nas décadas seguintes, espalhando-se por cidades de todo o mundo. As premissas fundamentais de projeto e seu impacto nas condições de conforto ambiental e no consumo de energia não eram tidas como determinantes.

Para Adam (2001), a sustentabilidade do ambiente construído deve integrar harmoniosamente o edifício, o homem e o clima, considerando estratégias de arquitetura bioclimática e de conforto ambiental.

O ambiente construído de forma sustentável, segundo Kronka (2001), deve primordialmente preocupar-se com a eficiência energética do edifício, a correta especificação

dos materiais, a proteção da paisagem natural, além de contribuir para a sustentabilidade do planejamento territorial e o adequado reaproveitamento futuro da edificação visando outros usos.

O quadro 01 representa o esquema considerando três dimensões de sustentabilidade nas edificações: ecológica, que aborda a proteção de recursos e a proteção de ecossistemas; econômica, a utilização de recursos a longo prazo e a utilização da edificação a custos baixos; e a cultural e social, que abrange a proteção da saúde e conforto e a preservação dos valores sociais e culturais.

Quadro 01: Esquema das três dimensões da sustentabilidade na construção

Sustentabilidade das Edificações	
Sustentabilidade Ecológica	Proteção de Recursos
	Proteção do Ecossistema
Sustentabilidade Econômica	Utilização de recursos a longo prazo
	Utilização a custos baixos
Sustentabilidade Cultural e Social	Proteção da saúde e conforto
	Preservação dos valores sociais e culturais

Fonte: KUAA e LEE *apud* TEIXEIRA, 2005. Adaptado pela autora.

Os edifícios deveriam inspirar e compor cidades que celebrassem a sociedade e respeitassem a natureza (ROGERS, 2001). As edificações que não se relacionam ao clima local e ao meio ambiente geram cidades insustentáveis.

De acordo com Leff (2001), não há nada mais insustentável que o fato urbano, onde se originam parte dos principais desequilíbrios do mundo atual. Os ambientes urbano-arquitetônicos sempre acompanharam o desenvolvimento do atual paradigma economicista, assim como, suas mazelas, deseconomias, desequilíbrios e externalidades. Rogers (2001) também enfoca que em nenhum outro lugar a implementação da sustentabilidade pode ser mais poderosa e benéfica do que nas cidades, só que estas se caracterizam como os maiores agentes destruidores do ecossistema e a maior ameaça para a sobrevivência da humanidade do planeta, a cidade, como habitat humano, deve fortalecer a cidadania e contribuir para a formação dos seus habitantes.

O espaço construído deve atuar como um reflexo do cliente e do arquiteto, constituído na preocupação com a paisagem e a sociedade, compondo esse processo de forma que possa promover uma integração entre as partes e o todo, evitando o frequente aparecimento de grandes obras isoladas, que não se adequam à dinâmica cultural, social e ambiental do espaço escolhido.

Fuentes *et al* (2006) argumentam que em algum momento de um futuro não tão distante os projetistas serão forçados a levar em consideração suas responsabilidades ambientais globais. Isso será feito através de regulamentação de edificações, aumentos de preço de combustíveis e das taxas de carbono. O quanto antes começarmos a mudar a arquitetura de um processo de arte guiada pela aparência a um processo de arte guiada pelo desempenho, melhor preparados estaremos para lançar as fundações da edificação da era pós-combustível fóssil.

De acordo com Corbella (2003), no século XXI a arquitetura, sem desprezar o belo e a plasticidade das formas, o conforto e a funcionalidade, terá que forçosamente reencontrar o meio ambiente cujo equilíbrio é de fundamental importância para a sobrevivência da espécie humana na Terra.

2 A ENERGIA E A ÁGUA COMO FATORES DETERMINANTES PARA O SÉCULO XXI

De acordo com o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, o consumo de energia e de água precisam ser gerenciados para que se reduzam os impactos ambientais diretamente relacionadas a atividades de construção. Alguns princípios para a redução dos impactos ambientais relacionados à energia e à água podem ser observados no quadro 02.

Quadro 02: Princípios para a redução de impactos ambientais da energia e água

Princípios para a redução dos impactos ambientais	
Energia	Água
- Otimização do desempenho térmico do edifício; - Uso de equipamentos eficientes; - Uso de energia renovável; - Minimização dos problemas de ilha de calor; - Estratégias de ventilação natural; - Conforto térmico; - Aproveitamento da luz natural.	- Permeabilidade do solo; - Aproveitamento de águas pluviais; - Limitação do uso de água tratada; - Introdução de equipamentos economizadores.

Fonte: <http://www.cbcs.org.br>, tabela adaptada pela autora.

A seguir, serão identificadas a importância da energia e da água no meio ambiente e a relação entre elas e o espaço construído.

2.1 Energia X Meio Ambiente

Cerca de 2 bilhões de pessoas no mundo não têm acesso à energia elétrica sendo esse um dos maiores desafios do novo século. No Brasil, estima-se que de 12 a 20 milhões de pessoas não possuem este benefício (REIS; CUNHA, 2006).

A energia é um dos vetores básicos de infra-estrutura necessária para o desenvolvimento humano, seja do ponto de vista global, regional ou mesmo de uma pequena comunidade isolada. Outros vetores básicos são água e saneamento, transporte e telecomunicações (REIS *et al*, 2005).

A disponibilidade de energia é condição básica para o desenvolvimento econômico, fazendo parte da agenda estratégica de qualquer país. Pensando em termos de desenvolvimento sustentável é imprescindível sua economia e uso eficiente, visto que muitas fontes de energia são não renováveis.

Para Sachs (1993), a melhor solução é a utilização de energias limpas, associadas a programas de eficiência energética que reduzem o desperdício e os custos ambientais.

Ghisi e Tinker (2004) afirmam que o consumo de energia de um edifício depende, entre outros fatores, das condições climáticas referentes à sua localização e da disponibilidade de luz natural.

2.1.1 A crise energética

A partir de 1970 começaram as preocupações com o consumo energético devido à chamada “crise do petróleo”.

Oliveira (2003) cita que:

A energia, sob a ótica do Relatório de Brundtland, visa o aumento dos suprimentos energéticos em quantidade suficiente para atender às necessidades humanas com uma elevação mínima de 3% da renda per capita dos países em desenvolvimento; adoção de medidas que busquem a conservação e a eficiência energética, minimizando o desperdício de recursos primários; cuidados com a saúde pública e os riscos inerentes às fontes energéticas; proteção da biosfera e prevenção de formas mais localizadas de poluição. Quanto às incertezas e riscos ambientais o Relatório destaca as mudanças climáticas decorrentes do efeito estufa, riscos de acidentes nucleares e a escassez cada vez maior de lenha nos países em desenvolvimento.

Segundo Goldemberg (1998), grande parte dos problemas ambientais são causados pela energia, seja através da produção de eletricidade provinda de fontes não renováveis, seja do setor de transportes ou da indústria, originados, muitas vezes, na queima de combustíveis fósseis ou da biomassa, contribuindo diretamente para a poluição do ar e, conseqüentemente, para a degradação da camada de ozônio. Oliveira (2003) complementa Goldemberg (1998) afirmando que em “termos globais, os sistemas energéticos são a causa do aumento em 2/3 da emissão de gases do efeito estufa. Portanto, o consumo de energia é a atividade humana mais diretamente ligada à potencial mudança climática e seus impactos diretos sobre a saúde humana e os ecossistemas”.

O edifício deve ser capaz de abrigar a função para o qual foi desenhado e deve prover conforto adequado aos seus ocupantes (KINSEL; SILVA, 2008). Na construção de um edifício, o consumo de energia para a produção dos materiais representa 96,41% do total gasto, ficando os demais itens (transporte, escavação e instalação dos materiais) reduzidos a 3,59% (CORCUERA, 1998).

Os edifícios que gastam muita energia necessitam constantemente de manutenção e apresentam elevados custos operacionais. A arquitetura atual deve levar em conta as condições favoráveis ao aproveitamento da iluminação e ventilação natural, a eficiência dos equipamentos elétricos e eletrônicos e a sustentabilidade da água através de seu

reaproveitamento, eliminação dos desperdícios e reciclagem, tratamento adequado de dejetos líquidos e sólidos, reintroduzindo-os, de forma positiva, aos ciclos naturais da região.

Reis e Cunha (2006) afirmam que a energia elétrica deve, certamente, considerar as constatações e recomendações voltadas à construção de um modelo sustentável de desenvolvimento para o setor de energia, estabelecidas com base na avaliação das relações da energia com o meio ambiente e o desenvolvimento e no conceito de sustentabilidade:

- Diminuição do uso de combustíveis fósseis (carvão, óleo e gás) e maior utilização de tecnologias e combustíveis e recursos renováveis, com o intuito de construir uma matriz energética renovável a longo prazo.
- Aumento da eficiência do setor energético em todo o seu ciclo de vida, envolvendo atividades que vão desde a prospecção e utilização dos recursos naturais até a desmontagem dos projetos e o seu impacto ao meio ambiente.
- Desenvolvimento tecnológico do setor energético na busca de maior eficiência e, principalmente, para encontrar alternativas ambientalmente benéficas ou menos impactantes.
- Mudanças nos setores produtivos como um todo, em especial naqueles relacionados com o setor da energia, voltadas principalmente ao desenvolvimento de materiais; aumento de eficiência no uso de materiais, transporte e combustíveis; melhoria das atividades de produção de equipamentos e materiais; aumento da utilização de recursos locais, principalmente nas áreas mais pobres dos países não desenvolvidos, visando ao desenvolvimento sustentável local e à solidificação de uma base para futura inserção no cenário energético global.
- Estabelecimento de políticas energéticas voltadas a favorecer a formação de mercados para as tecnologias ambientalmente benéficas ou de menor impacto ambiental e a incentivar sua utilização como substitutas das alternativas não sustentáveis.

O custo da energia gera efeitos profundos sobre o desenvolvimento social e econômico de uma nação, portanto, deve sempre ser produzida, distribuída e usada com o máximo de eficiência e o mínimo de impacto ambiental e social. De acordo com Ferreira (2004), o futuro de qualquer país, desenvolvido ou em desenvolvimento, depende de sua disponibilidade energética e de seus recursos naturais, bases de qualquer processo de crescimento.

2.1.2 Energias alternativas

Segundo Oliveira (2003), a crise ambiental está exigindo posturas dos pesquisadores, tais como a redefinição de conceitos como progresso e novas perspectivas de análise para questões como a globalização da economia e a crescente complexidade dos processos sociais.

Para Almeida (2007), a viabilidade econômica das fontes alternativas de energia (solar, eólica, das ondas, das marés, geotérmica, etc) continuará dependendo de apoio governamental.

No Brasil, a grande fonte de energia elétrica no início do século XXI é a geração hidrelétrica, o que deve ainda perdurar por um longo tempo, graças ao grande potencial ainda disponível (REIS *et al*, 2005).

A energia renovável é aquela que é obtida de fontes naturais capazes de se regenerar, e, portanto, virtualmente inesgotáveis, como, por exemplo o sol, vento, oceanos, matéria orgânica, calor da terra. São consideradas como energias alternativas ao modelo energético tradicional, tanto pela sua disponibilidade (presente e futura) garantida (diferente dos combustíveis fósseis que precisam de milhares de anos para a sua formação) como pelo seu menor impacto ambiental. Alguns exemplos dessas energias são:

- Biomassa:

Pode ser produzida em forma de resíduos da agricultura (palha), resíduos industriais (lascas de madeira) e resíduos vegetais (bagaço da cana) ou resíduos do consumidor (lixo), podendo ser queimada para produzir calor ou eletricidade.

Segundo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE, 2008), a queima de biomassa no lugar do combustível fóssil pode reduzir o problema do aquecimento global já que biomassa é “neutra em carbono”. Ao crescer, as plantas removem a mesma quantidade de dióxido de carbono da atmosfera, a qual é enviada de volta quando a biomassa é queimada. Portanto, não existe mudança no conteúdo de dióxido de carbono da atmosfera. Mas, de acordo com a Organização Mundial de Saúde, a queima da biomassa pelas pessoas carentes é o principal problema de saúde nos ambientes fechados devido a poluição do ar. A lenha tem sua renovabilidade questionada por causa da insustentabilidade de seu consumo.



Foto 01: Biomassa

Fonte: <http://www.renovaveis.tecnopt.com/category/energias/energiabiomassa/>

- Eólica:

De acordo com o LABEEE (2008), estimativas apontam uma capacidade total de 143,5 GW, sendo 52% somente no Nordeste. Em todo o Brasil, e especialmente nessa região, a faixa litorânea apresenta ventos muito adequados para o aproveitamento em larga escala da energia eólica. No Ceará, em 1999 foi construído o primeiro parque eólico do mundo sobre dunas de areia, na praia da Taíba, no município de São Gonçalo do Amarante. Com 10 aerogeradores, tem capacidade total instalada de 5 MW. A energia elétrica anual produzida é da ordem de 17,5 milhões de kWh, suficiente para suprir de forma limpa e renovável as necessidades domiciliares de uma população de cerca de 50 mil pessoas.



Foto 02: Energia Eólica

Fonte: http://www.eca.usp.br/njr/voxsscientiae/ercio_ignacio_38.htm

- Energia Geotérmica:

É a energia que provém do calor do centro da terra. Segundo o LABEEE (2008), a possibilidade de utilizar essa força para produzir energia elétrica é testada desde o início do século XX, com a primeira usina entrando em operação efetiva em 1913, em Lardello, na Itália. O funcionamento de uma usina geotérmica consiste em injetar água até uma camada profunda da crosta terrestre, fazendo o líquido voltar aquecido em velocidade suficiente para mover turbinas. Também são aproveitados gêiseres naturais que brotam na superfície ou são feitas perfurações até as "caldeiras naturais" subterrâneas.



Foto 03: Energia Geotérmica

Fonte: http://it.photaki.com/foto-blue-lagoon-islanda_21806.htm

- Biogás:

Reis *et al* (2005) afirmam que o biogás é semelhante ao gás oriundo da fermentação natural de aterros sanitários, com composição de cerca de 50 a 70% de gás metano e o restante de dióxido de carbono. Mas, ao contrário do ocorrido nos aterros, esse gás é produzido artificialmente em dispositivos denominados biodigestores ou bio-reactores. Esses dispositivos são receptáculos capazes de manter as condições de pleno desenvolvimento dos organismos vivos anaeróbicos que realizam a fermentação dos materiais orgânicos nos resíduos sólidos. O resíduo obtido nesse processo possui características fertilizantes.

O efluente possui propriedades fertilizantes. Além de água, o líquido efluente, conhecido como biofertilizante, apresenta elementos químicos como nitrogênio, fósforo e potássio em quantidades e formas químicas tais que podem ser usados diretamente na adubação de espécies vegetais através de fertirrigação (MENDES, 2009).

O material a ser fermentado deve possuir em torno de 90 a 95 % de umidade em relação ao peso. Tanto muita água quanto pouca água são prejudiciais. O teor da água varia de acordo com as matérias-primas destinadas à fermentação. Esterco de bovino (que possui em média 84% de umidade) precisa ser diluído em 100% de seu peso em água. Já o de suínos (com 19%) precisa de 130% de seu peso em água. O de ovinos e caprinos, em 320% .

Segue na figura 14 o processo de biometanação envolve a conversão anaeróbica de biomassa em metano.

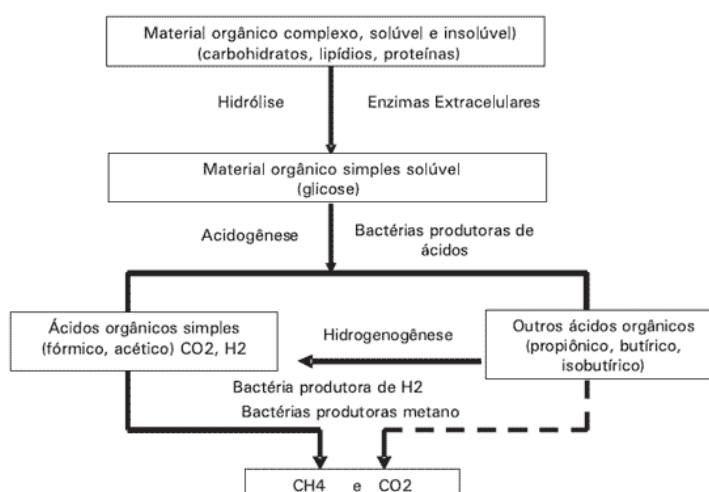


Figura 14: Processo de Biometanação

Fonte: <http://www.biodieselbr.com/energia/biogas/biodigestor.htm>

Segundo Mendes (2009), um biodigestor pode ser feito com tijolos maciços ou com argamassa armada (ferrocimento). As vantagens do biodigestor são:

- atende de maneira simples, eficiente e barata, desde uma única residência até a cidade inteira.
- o sistema adequa o efluente à emissão em solos e protege o meio ambiente fazendo o tratamento sem qualquer contato prévio com o solo.
- o sistema se vale da ação das bactérias presentes no esgoto, que promovem a biodigestão e que também serão úteis quando houver o lançamento do efluente no solo, ensejando tanto a formação de húmus como a de compostagem. Possui um funcionamento simples, o esgoto sanitário é acumulado no sistema, de modo hermético e, à medida que vai recebendo material orgânico novo, vai liberando automaticamente, um efluente líquido, biodegradado, nitrogenado e fosfatado que nada mais é do que o produto anaeróbico do esgoto biologicamente tratado. Biodigerido, este efluente é um excelente fertilizante.



Foto 04: Biosistema em construção composto de biodigestor
 Fonte: http://www.verdesaine.net/saneamento_ecologico

- Solar:

A energia solar pode servir para o aquecimento de água ou para a obtenção de energia elétrica através dos painéis fotovoltaicos que geram eletricidade, permitindo o acúmulo e produzindo energia para o consumo próprio. La Rovere (1994) aborda que o Brasil foi o primeiro país do Terceiro Mundo a fabricar comercialmente a célula fotovoltaica, a partir do silício monocristalino, não se limitando à simples montagem dos painéis solares.

O impacto ambiental da energia solar está na extração do minério utilizado na produção da célula fotovoltaica, causando também, nessa etapa de fabricação, danos à natureza.

A energia solar pode ser dividida em passiva e ativa, conforme será apresentado a seguir:

a) Passiva

A energia solar passiva é aquela que acontece devido ao aproveitamento da energia para aquecimento de edifícios ou prédios, através de concepções de estratégias construtivas,

sendo extremamente importante para a arquitetura. A atividade profissional deve ser orientada para que toda a ação do projeto englobe também as preocupações ambientais.

Segundo Vianna (2001), existe um conjunto de regras e estratégias bioclimáticas, selecionadas dependendo do clima do local.

A energia solar passiva está intimamente ligada aos edifícios e ao planejamento urbano, não visando à utilização de equipamentos para conversão energética. Trata-se de uma interação entre sol e edifícios, de aproveitar a radiação solar para aumentar os níveis de eficiência energética e de conforto, ao mesmo tempo em que contribui para uma evidente diminuição dos consumos. Neste contexto, o aproveitamento da radiação solar tem em conta a correta localização dos edifícios, a sua orientação e construção. A dicotomia energia X arquitetura passa a ter um papel preponderante na medida em que as questões climáticas passam a ser encaradas como pilares fundamentais que alicerçam qualquer projeto. Um tipo de arquitetura que dê especial ênfase a interação entre sol e edifícios contribuirá, certamente, para uma clara redução das necessidades energéticas.

Para Vianna (2001), além da orientação, a forma do edifício também influi na carga térmica recebida por ele. A forma deve ser escolhida em função da orientação disponível de maneira a minimizar essa carga e, conseqüentemente, o consumo da energia operante.

b) Ativa

Transforma os raios solares em energia térmica ou fotovoltaica, conforme será apresentado adiante:

- Térmica:

A energia solar térmica traz como um de seus maiores benefícios, a redução do consumo energético através do uso do chuveiro elétrico, que é um dos principais vilões da demanda do sistema de energia. Para Rodrigues (2004), isso ocorre devido a alta potência dos equipamentos e pelo uso restrito a horários determinados e comuns a grande parte dos usuários. Os chuveiros elétricos provocam um aumento de 121% na potência média instalada e elevam em 365% a demanda média, o que significa que, no período em que são utilizados, aumentam em 4,5 vezes o consumo médio.

Segundo Rodrigues (2008), os coletores instalados diminuem o consumo no pico de demanda do sistema elétrico; diminuem o investimento em sistemas de distribuição; aumentam a qualidade da energia elétrica fornecida; diminuem a pressão por investimentos na oferta de eletricidade; são em geral produzidos por empresas de pequeno e médio portes; geram mais emprego por unidade de energia que fontes convencionais centralizadas;

diminuem poluição local gerada por termoelétricas; diminuem impactos ambientais da instalação de hidrelétricas; diminuem emissão de gases estufa (mesmo em matrizes energéticas relativamente limpas como a brasileira).

As fotos 05 e 06 mostram um exemplo de sistema de aquecimento solar em edificações verticais, localizado no bairro de Jatiúca, Maceió – AL.



Foto 05: Placas solares
Fonte: Cipesa, 2007



Foto 06: Placas solares
Fonte: Cipesa, 2007

Segundo Rodrigues (2004), o país que possui o maior mercado de coletores solares do mundo é a China, com 5,5 milhões de m^2 de coletores em 2001. Os coletores estão presentes em cerca de 75% das residências unifamiliares, 20% nas multifamiliares, 5% das edificações comerciais e industriais. Em Israel, 80% das residências possuem o sistema, devido a obrigatoriedade de uso exposto numa legislação vigente a mais de 20 anos. Já no Japão, cerca de 15% das residências são equipadas com esses coletores solares.

De acordo com a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA), o aquecimento solar é um excelente investimento e é uma tecnologia que se paga no decorrer do tempo com as economias que proporciona, evitando-se gastos excessivos com energia elétrica ou gás.

- Fotovoltaica:

De acordo com Alvim (1994), a unidade básica de um sistema de conversão de energia solar é a célula fotovoltaica, que tem a propriedade de converter luz em energia elétrica por meio da transferência de energia dos fótons¹ incidentes sobre as mesmas aos elétrons que compõem determinado material.

¹ São partículas de luz (Fonte: <http://www.fing.edu.uy/if/cursos/fismod/cederj/aula03.pdf>).

Segundo Shoedel (*apud* CERQUEIRA, 2000), o efeito fotovoltaico foi descoberto em 1839 por Alexandre Edmont Becquerel, mas somente em 1883 a primeira célula fotovoltaica foi produzida por Smith, com uma eficiência baixa, de aproximadamente 1%. A primeira célula de silício (material mais utilizado na produção dessas células na atualidade) foi produzida em 1954 por Person, Fuller, Chapin (com eficiência de 5%). E, ao longo dos anos, essa produção vêm evoluindo: em 1958 apareceu o primeiro satélite com suprimento fotovoltaico; 1966 começou a produção de célula fotovoltaica de filme fino ($\text{CdS}/\text{Cu}_2\text{O}$); 1974, primeira célula de silício amorfo; 1983, primeira central fotovoltaica com potência instalada maior que 1 MW; 1985, primeira célula solar de silicone com uma eficiência maior que 20 %; 1989, primeira célula composta, com eficiência maior que 30% com concentração de luz; 1995, sistemas fotovoltaicos geram mais de 800 milhões de kW de eletricidade. Ver figura 15, que mostra um dos processos de obtenção das células solares.

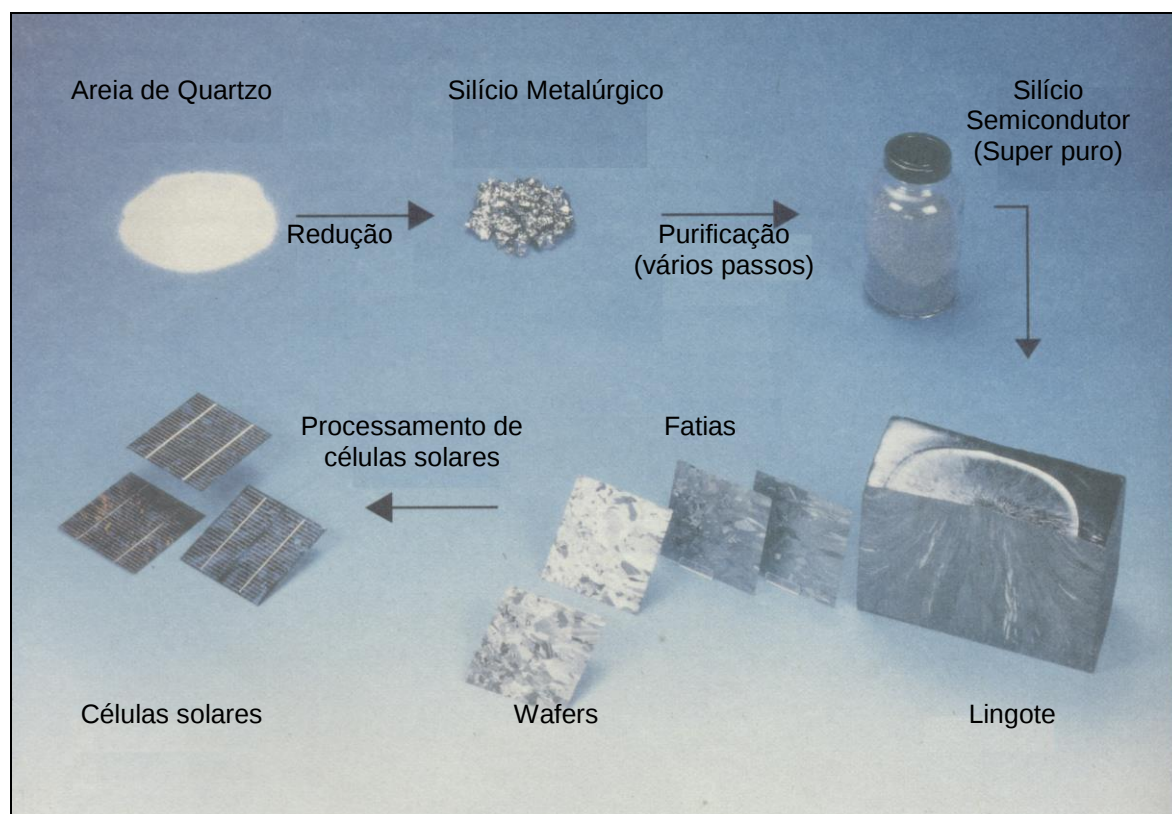


Figura 15: Da areia até a célula fotovoltaica
Fonte: Räuber e Armin (*apud* CERQUEIRA, 2000)

Reis e Cunha (2006) afirmam que, além do conjunto de módulos fotovoltaicos que formam o painel solar, os principais constituintes de um sistema fotovoltaico são o regulador de tensão, o sistema para armazenamento de energia (baterias que serão carregadas quando a energia produzida for maior que a necessidade da carga e que alimentarão a mesma carga

quando não houver produção de energia suficiente pelo painel, como à noite, por exemplo) e o inversor de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), necessário quando o sistema for usado para alimentar cargas em CA ou conectado à rede.

Lima (1994) afirma que o silício próprio para as células provém de um resíduo da produção de silício para “chips” de computadores, e questiona a pequena quantidade de células fabricadas, que acaba elevando o preço dos produtos. Ele faz uma crítica ao posicionamento da indústria, que produz chips em larga escala sem preocupar-se com seus custos, em nome da competitividade futura. Enfoca que a indústria não se dá conta de que a tecnologia fotovoltaica seria de extrema importância para as economias nacionais. Ainda de acordo com Lima (1994), entre os países em desenvolvimento, a Índia, o México, o SriLanka, o Quênia e a Indonésia possuem programas arrojados de energia solar. Já no cenário mundial os destaques são EUA e Alemanha.

Um novo processo consegue produzir estruturas flexíveis de microcélulas de silício que mantêm uma razoável eficiência de conversão. Estas células solares poderão ser também mais baratas, pois utilizam apenas 10% do silício habitual. O método foi desenvolvido por uma equipe de investigação da University of Illinois, liderada por John Rogers. As células são constituídas por pequenas barras recortadas a partir de uma placa de silício monocristalino e possuem 1,5 mm de comprimento, 0,05 mm de largura, e 0,015 mm de espessura. Posteriormente, estes artefactos são depositados sobre um substrato de vidro ou plástico flexível por meio de um carimbo feito de um polímero suave. As células possuem uma eficiência de conversão de 12%. O resultado final é superior ao conseguido pelos sistemas de película fina, mas bastante abaixo dos valores de sistemas comerciais rígidos, que andam na roda dos 20%. A tecnologia permite criar módulos pequenos e suficientemente flexíveis para serem enrolados à volta de um lápis (PINTO, 2009).



Foto 07: Microcélulas de silício dos novos painéis flexíveis
Fonte: Pinto (2009).

No Brasil, a energia solar fotovoltaica é mais utilizada nas regiões Norte e Nordeste, em comunidades isoladas da rede elétrica. De acordo com Lima (1994), o fato do país possuir grande parte do seu território situado entre a linha do Equador e o Trópico de Capricórnio, o privilegia por ter uma certa uniformidade de incidência de energia solar na superfície horizontal, o que facilita sua captação ao longo do ano. E de acordo com a Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF), o potencial de insolação no Nordeste é o melhor do país e atinge valores de $242,5 \text{ W/m}^2$, em média.

Alvim (1994) afirma que um importante aspecto para a eficiência de um sistema fotovoltaico é a sua capacidade de captar, a maior parte do tempo possível, a radiação solar direta, ou seja, ter o sol incidindo diretamente sobre seus painéis. O procedimento mais usual para possibilitar maior eficiência na captação de energia solar fotovoltaica é posicionar os painéis inclinados em relação à horizontal com um ângulo igual a latitude do local.

Segundo Oliveira (1994), há também os sistemas denominados edificações fotovoltaicas conectadas à rede de energia de distribuição de energia elétrica (EFCR), onde a fachada ou o teto das edificações são utilizados como suportes aos geradores fotovoltaicos, podendo ser diretamente inserida na rede de distribuição de eletricidade ou utilizada em qualquer um dos equipamentos elétricos instalados na edificação. As edificações fotovoltaicas passam a ser produtoras independentes de energia, ou seja, se houver consumo elétrico durante um dia de sol, passa a utilizar a energia produzida por seu próprio sistema. Se não houver consumo diurno ou este for inferior à geração solar naquele dia, a energia produzida em excesso passa a ser disponibilizada para a companhia distribuidora de eletricidade. Durante

a noite, período onde não há geração fotovoltaica de energia, toda a demanda é suprida pela rede elétrica.

O atendimento a comunidades rurais através da linha de distribuição rural torna-se inviável, dado a distância que se encontram da rede a ser derivada. Nesses casos, os sistemas fotovoltaicos apresentam resultados bastante satisfatórios (LIMA, 1994). Reis *et al* (2005), complementam o ponto de vista de Lima (1994), afirmando que no atual estado da arte da tecnologia fotovoltaica, ela só encontra viabilidade econômica em aplicações de pequeno porte em sistemas rurais isolados (iluminação, bombeamento de água etc.), serviços profissionais (retransmissores de sinais, aplicações marítimas) e produtos de consumo (relógio, calculadoras).

2.1.3 Etiquetagem de Eficiência Energética em Edificações

A Lei de Eficiência Energética, aprovada em 17 de Outubro de 2001, instituiu o estabelecimento de níveis mínimos de eficiência energética ou máximos de consumo no Brasil, por meio de mecanismos de reconhecida eficácia com o objetivo de tornar mais eficiente o uso de energia no país (Ministério de Minas e Energia, 2001).

A eficiência energética apresenta-se como um dos tópicos centrais para a conservação de energia, constituindo-se numa variável resultante da interação de diversos fatores econômicos, políticos e sociais. Por isso mesmo, ela é influenciada diretamente por mudanças estruturais na economia, caracterizadas por alterações nos padrões tecnológicos e no conteúdo energético de todo o sistema produtivo. A análise da eficiência energética permite o estudo da evolução da demanda e suprimento de energia, dos hábitos de consumo e das alterações efetuadas na economia e sociedade (Reis *et al*, 2005).

Uma das políticas públicas do Brasil na área de eficiência energética é o Plano para Eficiência Energética do Programa de Eficiência Energética em Edificações (PROCEL EDIFICA). Trata-se de um Plano de ação com 6 vertentes e 26 projetos, incluindo a criação de uma regulamentação para edificações eficientes. As vertentes abordam:

- requisitos básicos para arquitetura bioclimática;
- indicadores de eficiência energética em edificações;
- certificação de materiais e equipamentos;
- procedimentos para regulamentação/legislação;
- remoção de barreiras para implementação de projetos;
- projetos educacionais e projetos de interesse social.

A Regulamentação para Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, foi desenvolvida entre 2004 e 2006 pelo LabEEE do Departamento de Engenharia Civil da UFSC. A regulamentação terá caráter voluntário até 2012, quando passará a ser norma obrigatória para todos os edifícios (DRUSIAN, 2008).

A concessão da etiqueta será realizada nas diferentes fases do edifício:

- projeto de nova edificação;
- edificação concluída, após o Habite-se;
- edificação existente, após a reforma com vistas à melhoria da eficiência energética.

Segundo o professor Roberto Lamberts (*apud* DRUSIAN, 2008), um dos responsáveis pela Regulamentação, a transição terá que ser acompanhada com treinamento de pessoal e capacitação dos laboratórios para análise e emissão da etiqueta. Afirma que o processo depende da resposta do mercado, mas, pelo que tem visto, deve ser boa e liderada pelos grandes empreendimentos. Ele aposta que a regulamentação será uma aliada do projetista e reconhece que muitos profissionais da área não avaliam os impactos de seus projetos, projetando edifícios que não são eficientes.

A etiqueta é dividida em quatro partes: Envoltória, Sistema de Iluminação, Sistema de Condicionamento de Ar e a edificação como um todo. A avaliação da Envoltória é obrigatória para obter qualquer outra etiqueta.

A equação geral da edificação é calculada pela fórmula abaixo:

$$PT=0,30.\{(EqNumEnv.AC/AU)+[(1-AC/AU).5]\}+0,30.(EqNumDPI)+0,40.\{(EqNumCA.AC/AU)+[(1-AC/AU).5]\}$$

Onde:

PT= Pontuação

EqNumEnv= Equivalente Numérico da Envoltória

AC= Área Condicionada (m²)

AU= Área Útil (m²)

EqNumDPI= Equivalente Numérico da Densidade de Potência de Iluminação

EqNumCA= Equivalente Numérico do Condicionamento de Ar

A etiquetagem de eficiência energética de edifícios deve atender aos requisitos relativos ao desempenho da envoltória (peso 3 - 30%), à eficiência e potência instalada do sistema de iluminação (peso 3 - 30%) e à eficiência do sistema de condicionamento do ar (peso 4 - 40%).

O número encontrado no resultado da equação geral deve ser analisado de acordo com a tabela 02:

Tabela 02: Classificação Geral da Edificação

PT	Classificação Final
$\geq 4,5$ a 5	A
$\geq 3,5$ a $< 4,5$	B
$\geq 2,5$ a $< 3,5$	C
$\geq 1,5$ a $< 2,5$	D
$< 1,5$	E

Fonte: Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

A etiqueta representativa da eficiência energética nas edificações poderá ser observada na figura 16:

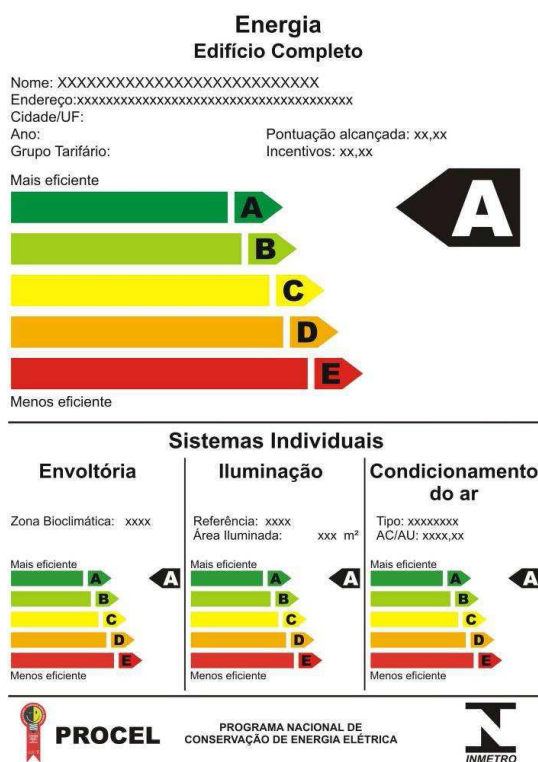


Figura 16: Certificação de Eficiência Energética em Edificações

Fonte: Manual para uso do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, Método Prescritivo, Versão 1.1

Para encontrar o Equivalente Numérico da Envoltória deve-se levar em consideração vários fatores, tais como o Zoneamento Bioclimático Brasileiro (figura 17), dimensões da edificação, aberturas com materiais translúcidos ou vidros e o uso de protetores solares.

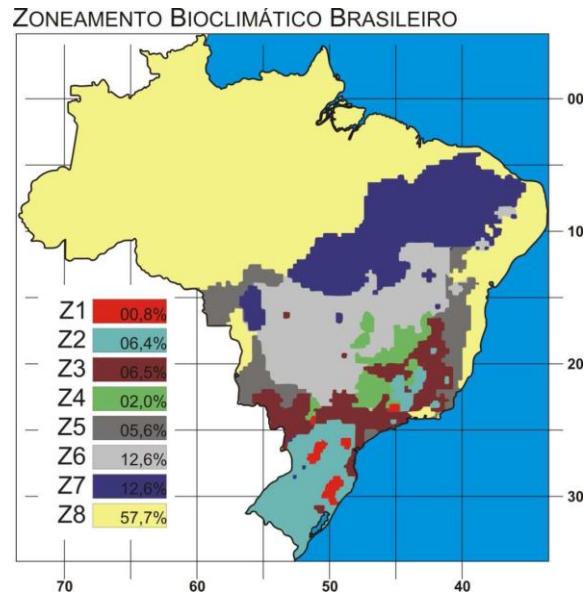


Figura 17: Zoneamento bioclimático brasileiro

Fonte: Manual para uso do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, Método Prescritivo, Versão 1.1

Segundo o Manual para uso do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (Método Prescritivo, Versão 1.1), “a orientação das fachadas influencia na eficiência da envoltória. Por este motivo é necessário definir a orientação de cada fachada”. Esta definição é feita através da implantação de um edifício dentro de um quadrante definido da seguinte forma:

- I. De 0 a 45,0° e de 315,1° a 360,0° a orientação geográfica é Norte;
- II. De 45,10° a 135,0° , a orientação geográfica é Leste;
- III. De 135,10° a 225,0° , a orientação geográfica é Sul;
- IV. De 225,10° a 315,0° , a orientação geográfica é Oeste.

A Figura 18 apresenta a rosa dos ventos com os quadrantes. O Norte utilizado é o geográfico.

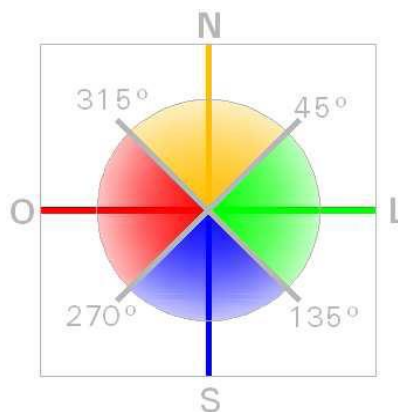


Figura 18: Rosa dos Ventos com quadrantes

Fonte: Manual para uso do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, Método Prescritivo, Versão 1.1

O Sistema de iluminação descreve o método de cálculo do limite de potência de iluminação interna para cada ambiente de uma edificação² e deve atender alguns pré-requisitos, como mostra a tabela 03:

Tabela 03: Pré-requisitos para classificação do Nível de Eficiência do Sistema de Iluminação

Pré-requisito	Nível A	Nível B	Nível C
Divisão dos circuitos	Sim	Sim	Sim
Contribuição da luz natural	Sim	Sim	
Desligamento automático do sistema de iluminação	Sim		

Fonte: Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

O Sistema de Condicionamento de Ar descreve o método de obtenção do nível de eficiência através de parâmetros tabelados pelo INMETRO ou ASHRAE e aplica-se para os ambientes internos dos edifícios ou para zonas térmicas³. O pré-requisito específico para atingir o nível de eficiência A, segundo a Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, é que os condicionadores devem estar sombreados permanentemente e com ventilação adequada para não interferir em sua eficiência, sendo avaliados separadamente em cada ambiente.

O estudo da Envoltória, Sistema de Iluminação e Sistema de Condicionamento de Ar será melhor detalhado no capítulo 4 (a partir da p.144), analisando as dificuldades da aplicação prática dos requisitos e verificando o nível de classificação de eficiência energética encontrado para o museu de paleontologia abordado na presente dissertação.

De acordo com a Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, “as iniciativas que aumentam a eficiência da edificação poderão receber um incentivo de até um ponto na classificação geral”. Para tanto, essas iniciativas deverão ser justificadas e a economia gerada deve ser comprovada. Elas podem ser:

- sistemas e equipamentos que racionalizem o uso da água, tais como economizadores de torneira, sanitários com sensores, aproveitamento de água pluvial, devem proporcionar uma economia mínima de 20% no consumo anual de água do edifício, considerando práticas correntes de dimensionamento;
- sistemas ou fontes renováveis de energia:

² Aula teórica de Juliana Oliveira (UFAL, Maio de 2009).

- edifícios com atividades como restaurantes, hotéis, hospitais e outros que tenham demanda de água quente em suas instalações e que utilizarem aquecimento solar de água devem provar atendimento com uma fração solar igual ou superior a 60%;
- energia eólica ou painéis fotovoltaicos devem proporcionar uma economia mínima de 10% no consumo anual de energia elétrica do edifício;
- sistemas de cogeração devem proporcionar uma economia mínima de 30% no consumo anual de energia elétrica do edifício;
- inovações técnicas ou de sistemas que comprovadamente aumentem a eficiência energética da edificação, proporcionando uma economia mínima de 30% do consumo anual de energia elétrica.

No início de Julho de 2009, foram divulgados os cinco edifícios que já receberam a Etiqueta de Eficiência Energética em Edificações (REIS, 2009):

- Agência da Caixa Econômica Federal (CEF) em Curitiba, no Paraná;
- Projeto da sede administrativa da Caixa Econômica Federal em Belém, no Pará;
- Edifício da Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina (SATC), em Criciúma, Santa Catarina;
- Edifício da Faculdade de Tecnologia Nova Palhoça (Fatenp), em Nova Palhoça, Santa Catarina;
- Projeto do Centro de Tecnologias Sociais para Gestão da Água (Cetragua), da Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis.

A orientação da energia elétrica para o desenvolvimento sustentável, ao indicar a necessidade de uma visão integrada multi e interdisciplinar, impõe um desafio adicional ao setor energético, que ainda tem muito a fazer nesse sentido, pois precisa aprimorar ainda as ações que vêm sendo desenvolvidas mais recentemente pela legislação ambiental. É importante sempre considerar que a construção de um modelo sustentável de desenvolvimento é um processo de longo prazo não apenas nas análises de alternativas, mas também com relação à sua disseminação entre os atores do setor energético e na sociedade em geral (REIS; CUNHA, 2006).

2.2 Água X Meio Ambiente

A água é um dos bens mais preciosos da humanidade e já apresenta problemas de escassez em algumas regiões do mundo. Na maioria das vezes, tal escassez é gerada devido ao seu mau uso. Segundo Montoia (2008), ela será um dos grandes desafios do século 21.

³ Aula teórica de Juliana Oliveira (UFAL, Maio de 2009).

De acordo com Reis e Cunha (2006), um bilhão de pessoas não têm acesso à água.

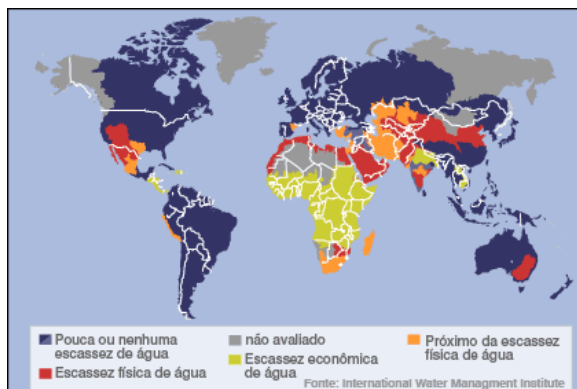


Figura 19: Mapa de escassez de água pelo mundo

Fonte: <http://tecnocientista.info/ndNews.asp?cod=2355>

Unglert (2007) aponta que a água ocupa 70% da superfície da Terra. A maior parte, 97%, é salgada. Apenas 3% do total é água doce e, desses, 0,01% vai para os rios, ficando disponível para uso. O restante está em geleiras, icebergs e em subsolos muito profundos. Ou seja, o que pode ser potencialmente consumido é uma pequena fração.

Tabela 04: Produção hídrica do mundo por região

Regiões do Mundo	Vazão Média (m ³ /s)	Porcentagem (%)
Ásia	458.000	31,6
América do Sul	334.000	23,1
América do Norte	260.000	18,0
África	145.000	10,0
Europa	102.000	7,0
Antártida	73.000	5,0
Oceania	65.000	4,5
Austrália e Tasmânia	11.000	0,8
Total	1.448.000	100,0

Fonte: Tomaz (2003)

Tabela 05: Produção hídrica de superfície da América do Sul

América do Sul	Vazão Média (m ³ /s)	Porcentagem (%)
Brasil	177.900	53
Outros países	156.100	47
Total	334.000	100

Fonte: Tomaz (2003)

Tabela 06: Disponibilidade hídrica do Brasil por regiões

Região do Brasil	Vazão (km ³ /ano)	Porcentagem (%)
Norte	3.845,5	68,5
Nordeste	186,2	3,3
Sudeste	334,2	6,0
Sul	365,4	6,5
Centro-Oeste	878,7	15,7
Total	5.610,0	100

Fonte: Tomaz (2003)

Montoia (2008) enfatiza que a água é hoje chamada de “Ouro Azul” do novo século e ocupa, em importância, o espaço que o petróleo teve no século XX. Daí o empenho e a prioridade que a ONU dá ao assunto há mais de 30 anos.

Segundo Malvezzi (*apud* ARRUDA, 2003), a crise progressiva da água é uma questão complexa, já que dota o produto de valor econômico. Ele enfoca que é preciso acompanhar com lucidez a crise da água, porque ela também se transformou em oportunidade de negócio, pois hoje se fala em crise da água, escassez de água, valor econômico da água, ouro azul, água como mercadoria, privatização das águas, enfim, toda uma linguagem de mercado aplicada sobre esse elemento essencial a qualquer forma de vida conhecida. Enfoca ainda que a população não pode ficar em paz enquanto a oligarquia internacional da água decreta, através de seus estrategistas, que a água é um bem escasso, dotado de valor econômico, e que a melhor maneira de gerenciar a escassez é o mercado.

Alguns países ricos fazem uso da água de maneira eficiente, ligada a um Sistema de Gestão Ambiental e aliados à aplicação do princípio poluidor-pagador no uso da água bruta. Nesses países, as tarifas cobradas pelos serviços de saneamento refletem não só os custos de suprimento de água potável, mas também de recolha e tratamento dos efluentes. Através dessa política, o rio Reno, que estava poluído há 30 anos, hoje se compara ao que era há 100 anos atrás. De 1985 a 1994, na França o preço do metro cúbico de água subiu cerca de 92% (SANTOS, 2003).

As medidas não convencionais para economia da água, segundo Tomaz (2001), são o uso do “grey water”, bacias sanitárias para compostagem, dessalinização, aproveitamento de água de drenagem do subsolo em prédios de apartamentos e o aproveitamento da água de chuva, conforme poderá ser verificado a seguir:

a) “Grey water”

É o esgoto residencial oriundo da torneira do banheiro, do chuveiro, da banheira, da máquina de lavar roupas. Não inclui os esgotos das bacias sanitárias (black water), das torneiras das cozinhas e nem das máquinas de lavar pratos. Existem para serem adquiridos na Califórnia cerca de 20 sistemas que usam o grey water cujo custo varia de US\$ 200,00 a US\$ 1000,00. O uso de grey water reduz o consumo de água na Califórnia de cerca de 15 a 25%.

b) Bacias sanitárias para compostagem

São bacias sanitárias que fabricam um adubo natural, onde é usado um processo aeróbio para quebrar o material orgânico produzindo o CO₂. Nestas bacias praticamente não se usa água, havendo economia da mesma em cerca de 28%. O custo de uma bacia de

compostagem varia, nos Estados Unidos, de US\$ 750,00 a US\$ 1200,00. Não produz odor, tem fácil instalação e necessita de ventilação.

c) Dessalinização de água do mar ou salobra

Está sendo usada desde a década de 1950. São muito usadas no Oriente Médio nos países detentores de petróleo. As técnicas utilizadas são osmose reversa e destilação.

d) Aproveitamento de água de drenagem do subsolo em prédios de apartamentos

Em prédios de apartamentos, em geral, as garagens são feitas através de escavações no subsolo. Frequentemente é encontrada água dos lençóis freáticos, que são bombeadas para as águas pluviais ou as redes de esgotos sanitários dos serviços públicos.

Uma alternativa é usar estas águas para a rega de jardins, plantas e limpeza de pátios.

e) Aproveitamento de águas de chuva

No Brasil, a água de chuva é mais utilizada no Nordeste. Na maioria das vezes, a água de chuva é mais utilizada em descargas nas bacias sanitárias e em rega de jardins.

Na presente pesquisa será dado um enfoque maior ao aproveitamento de água de chuva nas edificações, conforme poderá ser observado adiante.

2.2.1 Captação de águas de chuva em edificações

O Brasil possui o maior potencial hídrico do mundo, porém é mal distribuído, como pode ser observado em sua região semiárida, na qual os estados que fazem parte dessa região, sofrem com a má distribuição de chuvas durante o ano.

Uma das soluções do Governo Federal para suprir a falta d'água nessas áreas foi a execução de cisternas (ver foto 08) que captam a água da chuva diretamente dos telhados das edificações. A construção de cisternas trouxe benefícios também à saúde dos habitantes, pois o armazenamento das águas pluviais era feito (ainda acontece em alguns locais) em barragens. Essas barragens eram reservatórios obtidos através de escavação no solo, onde o consumo de água ocorre sem o devido tratamento, ocasionando diversos tipos de doenças.



Foto 08: Projeto Cisternas do Programa Fome Zero
Fonte: Cerqueira, 2000

Muitos utilizam a cisterna de água de chuva enterrada no solo, mas, segundo Roberto Lamberts (*apud* JOHN, 2008), a experiência mostra que isso acarreta contaminações e infiltrações por conta do próprio lençol freático. Portanto, explica que a melhor solução para a cisterna é estar na superfície do solo.

De acordo com Ghisi e Gómez (2008), as desvantagens do aproveitamento de águas pluviais são a variação da intensidade pluviométrica, a manutenção pode ser difícil para o usuário, falta de normalização e informações no código de obras, não ser reconhecido pelo setor público como uma alternativa de suprimento de água, risco para crianças (quando não projetado adequadamente), pode ocupar espaço valioso.

Além de aproveitar a água de chuva, as pessoas devem preocupar-se também com a utilização de equipamentos de baixo consumo de água, como, por exemplo, vasos com caixa acoplada⁴, onde o usuário possa escolher entre dois volumes de água, torneiras que regulem a vazão através de pulverizador⁵, arejador⁶ ou sensor de presença.

A foto 09 exemplifica uma edificação com captação de água de chuva no telhado.



Foto 09: Edificação com captação de água da chuva
Fonte: <http://www.engeplas.com.br/agua.html>

A água da chuva pode ser usada para fins não potáveis nas edificações, como, por exemplo, descarga de banheiros, rega de jardins, lavagem de calçadas, entre outros, reduzindo o consumo da água potável.

Vários prédios brasileiros já possuem essa forma de captação de águas pluviais e, além disso, possuem uma medição de água individualizada, ou seja, cada responsável pelo apartamento pagará somente o que consumir, sendo uma maneira justa de economizar tanto o dinheiro como esse recurso natural limitado.

⁴ Volumes disponíveis: 9 e 4,5 litros ou 6 e 3 litros.

⁵ É um dispositivo fixado na saída da torneira, porém não tem orifícios laterais para a introdução de ar. Transforma o jato de água em um feixe de pequenos jatos semelhante a um chuveirinho.

⁶ Dispositivo fixado na saída da torneira, reduzindo a seção da passagem da água, por meio de peças perfuradas ou telas finas; possui orifícios na superfície lateral para a entrada de ar durante o escoamento da água

Nas edificações verticais, de acordo com a Construtora Cipesa⁷, o reservatório acumula a água das chuvas, que cai por gravidade. Quando acumulada há uma bomba pneumática que mantém o sistema todo abastecido, podendo ser reutilizada na lavagem de carros, irrigação de jardins, descargas, etc. Na falta da água de chuva, entra a da concessionária do Estado. Atualmente, na mesma construtora está sendo feito também o sistema de recirculação, no qual a água desce, passa pelo apartamento todo e escorre para a caldeira, não havendo o desperdício. Além dessas tecnologias o sistema de acumulação, tanto de água fria como de água quente, é feito em ppr, que é um material diferente do pvc, ele é colado através de termofusão⁸ e mais moderno.

Algumas cidades brasileiras, como Ponta Grossa, no Paraná, aprovaram leis que obrigam a captação e o armazenamento de águas pluviais, buscando evitar também a ocorrência de enchentes.

O gerenciamento do uso da água e a procura por novas alternativas de abastecimento como o aproveitamento das águas pluviais, a dessalinização da água do mar, a reposição das águas subterrâneas e o reuso da água estão inseridos no contexto do desenvolvimento sustentável (AGENDA 21, 2001).

A ONU, em seu alerta sobre degradação ambiental no planeta, enfatiza que a água é o recurso natural mais degradado pelo homem.

A captação e o aproveitamento de água da chuva é uma alternativa que contribui para a preservação ambiental dos recursos hídricos, reduz o custo com água tratada e previne enchentes e alagamentos, principalmente em regiões com grandes áreas impermeabilizadas. Aproveitar essa água nas edificações significa muito mais do que reduzir o consumo e as despesas com água tratada, representa a importância de todo ser humano ter direito a água de boa qualidade. Tomaz (2001) aponta que o aproveitamento apresenta problemas devido ao custo da cisterna que normalmente é de concreto armado. O custo amortizado do uso da água de chuva é de R\$ 4,50/m³, embora menor que o custo de água do SAAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto), que é R\$ 5,50/ m³.

Os sistemas de abastecimento, de coleta e tratamento das águas residuárias e das águas pluviais devem ser projetados de forma sistêmica, sempre objetivando o equilíbrio sustentado do meio urbano inserido no meio ambiente (BARRETO, 2008).

⁷ Comunicação verbal em Junho de 2007, com o engenheiro Sandro Silva, da Construtora Cipesa Engenharia S.A. Maceió, Alagoas.

⁸ Processo no qual o tubo e a conexão se aquecem durante poucos segundos nos bocais teflonados do termofusor e em seguida se fundem (Fonte: <http://www.supercon.com.br/novidades.html>).

O programa Netuno, desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Catarina, possibilita a verificação da economia de água tratada relativa ao consumo de água estimado para o aproveitamento de água pluvial para um dado volume do reservatório, em usos onde a água não necessita de tratamento. Segundo Oliveira (*apud* AMORIM; PEREIRA, 2008), através dele é possível testar a economia oferecida para diversos volumes de reservatório até se obter aquele que apresenta o maior percentual de economia com menor custo. Os dados são referentes à Santa Catarina, em futuras versões, prevê-se a disponibilidade de dados para mais regiões.

Os dados de entrada necessários são área de cobertura da edificação, consumo diário de água per capita, precipitação pluviométrica da região, coeficiente de perdas e percentual de água potável para usos não potáveis que poderia ser substituída por água pluvial. O volume de reservatório inferior é um dado de entrada do programa que precisa ser adotado. O valor adotado deve ser maior que a demanda diária de água pluvial, para que supra esse consumo diário e possa manter uma reserva para épocas de baixa precipitação pluviométrica (GHISI; MARINOSKI, 2008).

De acordo com Tomaz (2003), os componentes principais para captação de água de chuva são:

- Área de captação
Geralmente são os telhados, podendo estar inclinado, pouco inclinado ou plano.
- Calhas
Para a captação são necessárias calhas e coletores de águas pluviais que podem ser de PVC ou metálicos.
- “By Pass”
A primeira chuva, que contém muita sujeira dos telhados, pode ser removida manualmente com o uso de tubulações ou automaticamente através de dispositivos de autolimpeza em que o homem não precisa fazer nenhuma operação.
- Peneira
Usada para remover materiais em suspensão, com tela de 0,2 mm a 1,0 mm.
- Reservatório
Podem estar apoiado, enterrado ou elevado, ser de concreto armado, alvenaria de tijolos comuns, alvenaria de bloco armado, plástico, poliéster, etc. Deve-se evitar a entrada de luz do sol no reservatório devido ao crescimento de algas.

- Extravasor

Deve ser instalado no reservatório e possuir dispositivo para evitar a entrada de pequenos animais.

O aproveitamento da água pluvial aparece como uma alternativa eficiente para a redução do consumo de água potável, que, de acordo com Amorim e Pereira (2008), funciona indiretamente como uma medida não estrutural para a drenagem urbana.

3 CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

Siciliano *et al* (2008) esclarecem que elaborar um projeto de arquitetura com melhor desempenho ambiental é projetar levando-se em conta o uso eficiente da energia, da água, de materiais certificados e renováveis, o aproveitamento de condições naturais locais, a qualidade ambiental interna e externa dos edifícios e a utilização consciente dos equipamentos e do edifício pelo usuário.

Segundo Sobreira (2007), Selos Verdes ou Certificações Ambientais são atestados de cumprimento na utilização de protocolos de construção e/ou qualidade no sentido de garantir o menor impacto ambiental e o menor consumo de energia para o edifício construído ou produto beneficiado.

O Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE, 2008) sugere que, para que se atinja a sustentabilidade das edificações, antes de tudo é necessário que seja criado um referencial que estabeleça a partir de quais critérios, se analisa a inclusão de preocupações ambientais, sociais e econômicas na concepção e execução de um edifício.

A partir da década de 90, alguns países adotaram sistemas de certificação ambiental para que as edificações pudessem atingir um maior grau de sustentabilidade, como pode ser observado na quadro 03:

Quadro 03: Principais sistemas existentes para avaliação ambiental de edifícios

País	Sistema	Comentários
Reino Unido	BREEAM (BRE Environmental Assessment Method)	Sistema com base em critérios e “benchmarks”, para várias tipologias de edifícios. Um terço dos itens avaliados são parte de um bloco opcional de avaliação de gestão e operação para edifícios em uso. Os créditos são ponderados para gerar um índice de desempenho ambiental do edifício. O sistema é atualizado regularmente (a cada 3-5 anos) (BALDWIN <i>et al.</i> , 1998). Foi o primeiro sistema e embasou os vários sistemas orientados ao mercado subsequentes (SILVA, 2007).
	BRE EcoHomes	Sistema com base em critérios e “benchmarks”, seguindo a estrutura de categorias do BREEAM for Offices e o conceito de avaliação de edifício-base, projeto e aquisição, gestão & operação. Os créditos são ponderados para gerar um índice global de desempenho ambiental (BRE, 2003).

	PROBE(Post-occupancy Review of Building Engineering)	Projeto de pesquisa para melhorar a retroalimentação sobre desempenho de edifícios, através de avaliações pós-ocupação (com base em entrevistas técnicas e com os usuários) e de método publicado de avaliação e relato de energia (COHEN et al., 2001).
Internacional iiSBE	GBC (Green Building Challenge) GBTool	Sistema com base em critérios e “benchmarks” hierárquicos. Ponderação ajustável ao contexto de avaliação (COLE; LARSSON, 2000).
Hong Kong	HK-BEAM (Hong Kong Building Environmental Assessment Method)	Adaptação do BREEAM 93 para Hong Kong, em versões para edifícios de escritórios novos (CET, 1999a) ou em uso (CET, 1999b) e residenciais (CET, 1999c). Não pondera.
Estados Unidos	LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)	Inspirado no BREEAM. Sistema com base em critérios e “benchmarks”. O sistema é atualizado regularmente (a cada 3-5 anos) e versões para outras tipologias estão em estágio piloto. Na versão para edifícios existentes, a linguagem ou as normas de referência foram modificados para refletir a etapa de operação do edifício (USGBC, 2001).
	LEED for Homes	Variação atualmente em desenvolvimento do LEED especificamente para a avaliação de unidades residenciais. Objetiva reconhecer e premiar as residências que incorporem práticas de excelência ambiental. Mantém os TM níveis de desempenho do LEED e praticamente as mesmas categorias de avaliação, exceto “localização e conexões” e “conscientização do usuários”, que foram adicionadas (USGBC, 2005).
	MSDG (Minnesota Sustainable Design Guide)	Sistema com base em critérios (emprego de estratégias de projeto ambientalmente responsável). Ferramenta de auxílio ao projeto (CARMODY et al. 2000).
Suécia	EcoEffect	Método de LCA ¹ para calcular e avaliar cargas ambientais causadas por um edifício ao longo de uma vida útil assumida. Avalia uso de energia, uso de materiais, ambiente interno, ambiente externo e custos ao longo do ciclo de vida (LCC). A avaliação de uso de energia e de uso de materiais é feita com base em LCA, enquanto a avaliação de ambiente interno e de ambiente externo é feita com base em critérios. Um software de apoio, no momento com base de dados limitada, foi desenvolvido para cálculo dos impactos ambientais e para apresentação dos resultados (GLAUMANN, 1999).
	Environmental Status of Buildings	Sistema com base em critérios e “benchmarks”, modificado segundo as necessidades dos membros. Sem LCA ou ponderação (GLAUMANN; VON

¹ Life Cycle Assessment (em português significa Avaliação do Ciclo de Vida).

		PLATEN, 2002).
Dinamarca	BEAT 2002 (Building Environmental Assessment Tool)	Método de LCA, desenvolvido pelo SBI , que trata os efeitos ambientais da perspectiva do uso de energia e materiais (GLAUMANN; VON PLATEN, 2002).
Noruega	EcoProfile	Sistema com base em critérios e benchmarks hierárquicos, influenciado pelo BREEAM. Possui duas versões: edifícios comerciais e residenciais (PETTERSEN, 2002; GLAUMANN; VON PLATEN, 2002).
Finlândia	Promise Environmental Classification System for Buildings	Sistema com base em critérios e “benchmarks”, com ponderação fixa para quatro categorias: saúde humana (25%), recursos naturais (15%), consequências ecológicas (40%) e gestão de risco (20%) (AHO, 2002; HUOVILA <i>et al.</i> , 2002).
Canadá	BEPAC (Building Environmental Performance Assessment Criteria)	Inspirado no BREEAM e dedicado a edifícios comerciais novos ou existentes. O sistema é orientado a incentivos, e distingue critérios de projeto e de gestão separados para o edifício-base e para as formas de ocupação que ele abriga (COLE; ROUSSEAU; THEAKER, 1993).
	BREEAM Canada	Adaptação do BREEAM (SKOPEK, 2002).
Áustria	Comprehensive Renovation	Sistema com base em critérios e “benchmarks”, para residências para estimular renovações abrangentes em vez de parciais (GEISLER, 2002).
Alemanha	EPIQR	Avaliação de edifícios existentes para fins de melhoria ou reparo (LÜTZKENDORF, 2002).
França	NF Bâtiments Tertiaires Démarche HQE	Sistema com base em critérios e “benchmarks”. Sua ponderação é baseada no perfil de desempenho específico definido para cada projeto. Inclui avaliação da gestão do desenvolvimento do empreendimento. O resultado é um perfil de desempenho global, detalhado pelas 14 preocupações ambientais definidas pela Associação HQE (CSTB, 2005).
	Certification Habitat & Environnement	Sistema desenvolvido especificamente para a certificação de edifícios habitacionais novos, coletivos e multifamiliares. O resultado apresenta-se sob a forma de um perfil de desempenho mínimo considerando 7 temas (QUALITEL, 2005).
Japão	CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency)	Sistema com base em critérios e “benchmarks”. Composto por várias ferramentas para diferentes estágios do ciclo de vida. Inspirada na GBTool, a ferramenta de projeto trabalha com um índice de eficiência ambiental do edifício (BEE), e aplica ponderação fixa e em todos os níveis (JSBC, 2002).
	BEAT (Building Environmental assessment Tool)	Ferramenta LCA publicada pelo BRI (Building Research Institute), em 1991.
Austrália	NABERS (National Australian	Sistema com base em critérios e “benchmarks”. Para edifícios novos e existentes. Atribui uma classificação

	Building Environment Rating Scheme)	única, a partir de critérios diferentes para proprietários e usuários. Em estágio-piloto. Os níveis de classificação são revisados anualmente (VALE <i>et al</i> , 2001).
	Green Star	Sistema com base em critérios e “benchmarks”, que pretende abranger várias tipologias de edifícios. No momento, apenas a versão para escritórios está implementada. (GBCA, 2005).

Fonte: Silva (2007)

Para John (2009), o sistema de certificação dos países desenvolvidos parte de um sofisticado conjunto de políticas para o desenvolvimento sustentável e, também, da política industrial.

Silva (2007) aponta que os sistemas de avaliação:

- enfrentam - ou em algum momento enfrentaram – três pontos metodológicos críticos muito bem definidos:
 - estabelecimento de uma estrutura de avaliação e do conjunto de indicadores correspondente;
 - sistema consensual para ponderação para agregação de resultados;
 - referências e metas de desempenho para os indicadores utilizados.
- partilham o objetivo de encorajar a demanda do mercado por níveis superiores de desempenho ambiental:
 - provendo avaliações ora detalhadas, para o diagnóstico de eventuais necessidades de intervenção no estoque construído, ora simplificadas, para orientar projetistas ou sustentar a atribuição de selos ambientais para edifícios.
- concentram-se, principalmente, na dimensão *ambiental* da sustentabilidade:
 - a mais óbvia delas diz respeito à natureza da agenda para a sustentabilidade em países desenvolvidos.

As ferramentas para avaliação da sustentabilidade de edifícios, que incluam requisitos ambientais, sociais e econômicos podem ser de grande auxílio a projetistas e construtores, uma vez que se tornam um guia de orientação na escolha de alternativas construtivas e tecnológicas de menor impacto ao meio ambiente. Na medida em que os projetos são pensados de forma coerente com o ambiente em que estão inseridos, haverá menor consumo de recursos com menores custos de manutenção tanto em termos de energia, água e materiais (LAMBERTS, 2006).

O conceito de sustentabilidade pressupõe que os componentes ambiental, social e econômico estejam em um mesmo nível hierárquico. A maior parte dos sistemas de avaliação existentes – especialmente aqueles que atribuem pontos ou créditos com base em critérios, como o LEED, BREEAM, etc. – não utiliza a LCA como ferramenta de apoio à atribuição de créditos ambientais relacionados ao uso de materiais. Esta deficiência resulta da natureza evolucionária das estruturas dos sistemas de avaliação ambiental e da ausência de dados ambientais apropriados e consensualmente aceitos, mas pode ser superada pela integração de ferramentas de suporte à decisão com base em LCA aos sistemas de avaliação ambiental (SILVA, 2007).

A aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida², freqüentemente integrada aos processos de tomada de decisões nos setores empresarial e industrial, é reconhecidamente de grande valia para o setor da construção civil. Tal situação decorre dos expressivos impactos ambientais produzidos nas diversas fases do processo construtivo – desde a fase de extração e fabricação de matérias-primas até a renovação ou demolição da estrutura –, avaliados por meio das repercussões de emissões atmosféricas, consumo de recursos naturais, demandas energéticas e geração de resíduos sólidos e líquidos. Entretanto, é necessário ressaltar que o desenvolvimento de estudos de ACV em edificações requer algumas alterações devido, entre outros aspectos, às diferenças apresentadas com relação ao ciclo de vida de produtos industriais que envolvem, normalmente, um curto espaço de tempo. Obras de engenharia, ao contrário de produtos com vida útil de semanas ou meses, são, em geral, caracterizadas por uma vida útil que se estende por alguns anos, décadas ou mesmo séculos (PEREIRA *et al*, 2006).

Existem atualmente no Brasil dois modelos de certificação de empreendimentos: o modelo americano que adota as normas LEED como referência e é coordenado pelo Green Building Council do Brasil e o modelo francês AQUA (HQE) que adota um referencial técnico adaptado ao Brasil e é coordenado pela Fundação Vanzolini da USP. No campo dos materiais e produtos, temos o Selo Ecológico do Instituto Falcão Bauer que avalia a sustentabilidade a partir da Análise do Ciclo de Vida do produto e das boas práticas ambientais e sociais da empresa fabricante (SOUZA, 2008).

O projeto de certificação HQE, de acordo com Silva (2007), surgiu da necessidade de garantir-se a qualidade dos inúmeros empreendimentos que começaram a surgir na França. O

² É um método utilizado para avaliar o impacto ambiental de bens e serviços. A análise do ciclo de vida de um produto, processo ou atividade é uma avaliação sistemática que quantifica os fluxos de energia e de materiais no ciclo de vida do produto (LABEEE, 2008).

projeto baseou-se nos referenciais elaborados em 2002 pelo Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), e foi experimentado, no período de 2003 a 2004, em cerca de 20 empreendimentos franceses, selecionados pela Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) com a finalidade de validar a metodologia de certificação de operações HQE na França. Sua versão oficial, como norma integrante da Associação Francesa de Normatização (AFNOR), foi publicada em fevereiro de 2005. Assim, o primeiro certificado da norma NF Bâtiments Tertiaires Démarche HQE foi emitido em março de 2005.

A World Green Building Council enfoca que a certificação HQE é composta por duas partes inter-relacionadas:

- referencial SMO – Système de Management d’Operation (Sistema de Gestão do Empreendimento, onde não somente o edifício é certificado, mas o empreendimento em todo o seu desenvolvimento, não apenas na fase de projeto);
- referencial QEB – Qualité Environnementale du Bâtiment (Qualidade Ambiental do Edifício).

O primeiro pode ser considerado universal (válido para o Brasil); e o segundo é adaptado às construções e à legislação francesas, mais focado na gestão e no processo. Na certificação HQE não há escalas de atribuição do certificado, o empreendimento é ou não é ambientalmente correto, respondendo a um perfil ambiental coerente. As categorias e requisitos para obtenção de créditos são 14, onde o empreendedor deverá priorizar, dentre as 14 categorias, no mínimo 4, que responderão às exigências do nível Performant; 3 que responderão às exigências do nível Très Performant e as demais (7) deverão atender às exigências do nível Base. Seguem abaixo as categorias estabelecidas por este tipo de certificação:

- Eco-construção
 1. Relação do edifício com seu entorno;
 2. Escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos;
 3. Canteiro de obras com baixo impacto ambiental.
- Eco-gestão
 4. Gestão de energia;
 5. Gestão da água;
 6. Gestão dos resíduos de uso e operação do edifício;

- 7. Manutenção – permanência do desempenho ambiental.
- Conforto
 - 8. Conforto higrotérmico
 - 9. Conforto acústico
 - 10. Conforto visual
 - 11. Conforto olfativo
- Saúde
 - 12. Qualidade sanitária dos ambientes
 - 13. Qualidade sanitária do ar
 - 14. Qualidade sanitária da água.

De acordo com Casado (2008), o processo de certificação HQE se dá mediante avaliação ao final de cada fase, sendo emitido certificado:

1. No final da programação (definição do empreendimento)
 - certificado pode ser usado no lançamento.
2. No final da concepção (conclusão dos projetos)
 - confirma a capacidade dos projetos para atingir o objetivo proposto.
3. No final da realização (entrega do empreendimento)
 - confirma a efetividade de implantação do empreendimento com relação ao desempenho proposto.

O Sistema LEED de Certificação faz uma análise baseada em pré-requisitos³ e pontuações⁴.

A forma de apresentação dos créditos, segundo Casado (2008), se faz pela apresentação de 3 tipos de documentos e, na maioria dos casos estas são declarações de atendimento à determinadas normas, não sendo necessário o fornecimento de plantas com títulos ou unidades em inglês, mas sim os cálculos e os memoriais de projetos e sistemas.

- Documentos:
 - Template ou declaração padrão LEED assinada por projetista ou responsável;
 - Plantas e memoriais descritivos de projetos e sistemas;
 - Cálculos (parte desenvolvida na própria declaração padrão ou fornecidas como anexos).

³ São requisitos mínimos a serem atendidos pelo projeto, para que o mesmo tenha direito a acumulação de pontos para certificação, caso não sejam atendidos o projeto não poderá ser certificado (CASADO, 2008).

⁴ A pontuação varia de acordo com a categoria a ser atendida, a partir de um número mínimo de pontos a construção poderá ser certificada, podendo ser: Certificada, Prata, Ouro ou Platina (CASADO, 2008).

A grande maioria dos sistemas adequa-se melhor à avaliação de edifícios novos ou projetos, trabalhando no plano do desempenho potencial, sendo raros os exemplos de sistemas neste segundo caso. Poucos sistemas distinguem claramente entre o desempenho ambiental com base em propriedades inerentes ao edifício (desempenho potencial) e o desempenho real do edifício em operação (ZIMMERMANN *et al*, 2002 *apud* SILVA, 2007).

As categorias, pré-requisitos e pontuações no processo de certificação LEED, segundo Casado (2008), são:

- LEED NC: novas construções e grandes projetos de renovação.

Quadro 04: LEED-NC

Categorias	Pré-requisitos	Pontos possíveis
Espaço Sustentável (SS)	1	14
Eficiência do Uso da Água (WE)	0	5
Energia e Atmosfera (EA)	3	17
Materiais e Recursos (MR)	1	13
Qualidade Ambiental Interna (EA)	2	15
Inovação e Processos	0	5
Total	7	69

- LEED EB: edifícios existentes.

Quadro 05: LEED EB

Categorias	Pré-requisitos	Pontos possíveis
Espaço Sustentável (SS)	2	14
Eficiência do Uso da Água (WE)	2	5
Energia e Atmosfera (EA)	3	23
Materiais e Recursos (MR)	3	16
Qualidade Ambiental Interna (EA)	4	22
Inovação e Processos	0	5
Total	14	85

- LEED CI: projetos de interiores e edifícios comerciais.

Quadro 06: LEED CI

Categorias	Pré-requisitos	Pontos possíveis
Espaço Sustentável (SS)	0	7
Eficiência do Uso da Água (WE)	0	2
Energia e Atmosfera (EA)	3	12
Materiais e Recursos (MR)	1	14
Qualidade Ambiental Interna (EA)	2	17
Inovação e Processos	0	5
Total	6	57

- LEED CS: projetos da envoltória e parte central do edifício.

Quadro 07: LEED CS

Categorias	Pré-requisitos	Pontos possíveis
Espaço Sustentável (SS)	1	15
Eficiência do Uso da Água (WE)	0	5
Energia e Atmosfera (EA)	3	14
Materiais e Recursos (MR)	1	11
Qualidade Ambiental Interna (EA)	2	11
Inovação e Processos	0	5
Total	7	61

- LEED Schools: escolas.

Quadro 08: LEED Schools

Categorias	Pré-requisitos	Pontos possíveis
Espaço Sustentável (SS)	2	16
Eficiência do Uso da Água (WE)	0	7
Energia e Atmosfera (EA)	3	17
Materiais e Recursos (MR)	1	13
Qualidade Ambiental Interna (EA)	3	20
Inovação e Processos	0	5
Total	9	79

- LEED ND: desenvolvimento de bairro (localidades), Piloto.

Quadro 09: LEED ND

Categorias	Pré-requisitos	Pontos possíveis
Articulação e Localização Estratégica (AES)	6	30
Bairro e Projeto Padrão (BPP)	2	39
Tecnologia: Energia, Materiais e Água (TEMA)	1	31
Inovação e Processos	0	6
Total	9	106

- LEED Home: não utilizado no Brasil;
- LEED Retail: Lojas (em desenvolvimento)
Hospitais (em desenvolvimento)

O primeiro prédio da América do Sul a receber o selo LEED foi a agência do Banco Real/ABN Amro (Cotia- SP), que se enquadra na categoria LEED - NC.



Foto 10: Agência do Banco Real/ABN Amro

Fonte: http://www.gbcbrasil.org.br/pt/index.php?pag=certificacao.php&certificado=cert_leedRegistrados.php

Dois dos diversos exemplos de edifícios certificados pelo LEED no Brasil são o Prédio Bracor e a Unidade Dumont Villares:



Foto 11: Prédio Bracor Petrobrás, Rio de Janeiro

Fonte: <http://www.gbcbrasil.org.br/pt/index.php?pag=videos.php>



Foto 12: Unidade Dumont Villares, São Paulo

Fonte: <http://www.gbcbrasil.org.br/pt/index.php?pag=videos.php>

Casado (2008) afirma que o LEED:

- Serve para projetos que diminuem a poluição, economizam energia, racionalizam o uso da água e utilizam materiais reciclados e não agressivos;
- Utiliza critério de classificação elaborado pelo USGBC;
- Utiliza critério voluntário criado com base em consenso;
- Objetiva o desenvolvimento de edifícios de alta performance e sustentáveis;
- É orientado para o mercado;
- Possui reconhecimento internacional.

De acordo com o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE, 2008), algumas críticas atribuídas ao LEED são:

- O alto custo (monetário, de tempo e esforço): 1 a 5% é adicionado ao orçamento em função de consultorias, comissionamento, simulação, registro;

- O foco na obtenção de pontos para a certificação e não na responsabilidade ambiental;
- A complexidade da simulação energética requerida;
- A burocracia engessada que resulta na lentidão do processo e em montanhas de documentos;
- Desencaminhamento dos benefícios das edificações sustentáveis por permitir que apenas os requisitos desejáveis sejam atendidos (além dos pré-requisitos) sem que o resultado final seja afetado;
- As exigências dos projetos não são regionais, criando com isso dificuldades na avaliação final, uma vez que as características e prioridades variam de região para região.

Silva (2007) aponta que o LEED é, provavelmente, o método disponível mais amigável enquanto ferramenta de projeto, o que facilita a sua incorporação à prática profissional. Com uma estrutura simples a ponto de ser, por isso, criticada, o LEED é baseado em especificação de desempenho em vez de critérios prescritivos, e toma por referência princípios ambientais e de uso de energia consolidados em normas e recomendações de organismos de terceira parte com credibilidade reconhecida, como a ASHRAE; a ASTM; a EPA; e o DOE. Estas práticas de efetividade já conhecida são então balanceadas com princípios emergentes, de forma a estimular a adoção de tecnologias e conceitos inovadores. A singularidade do LEED resulta principalmente do fato de ser um documento consensual, aprovado pelas 13 categorias da indústria de construção representadas no conselho gestor do sistema. O apoio de associações e fabricantes de materiais e produtos favoreceu a ampla disseminação deste sistema nos EUA, que agora começa a estender-se para o Canadá.

Segundo Casado (2008), o procedimento de certificação LEED é feito através do registro de projeto, coleta de informações pelo time de projetos, cálculo e preparação de memoriais e plantas, envio da primeira fase (projetos), coleta e preparação de documentos da 2ª fase, envio da segunda fase (construção final), treinamento para ocupação, pré ocupação e pós entrega, análise para certificação. Já o custo da certificação baseia-se:

- No registro do projeto junto ao USGBC – R\$ 1.080,00
- Na análise de projeto – R\$ 2.700,00 em construções com até 4645 m²
R\$ 13.500,00 em construções com até 46451 m²
- Na certificação da obra – R\$1.350,00 em construções com até 4645 m²
R\$ 13.500,00 em construções com até 46451 m²
- Na consultoria (não obrigatória) – aproximadamente 0,5 a 1% do custo da obra.

Sobreira *et al* (2007) afirmam que uma das críticas que se faz aos tipos de “certificações importadas” é a pouca importância relacionada à qualidade do projeto de arquitetura propriamente dito, dentre os critérios de avaliação. Sugere ainda que à medida que buscam parâmetros e critérios universais para avaliar a condição “verde”, ambiental ou sustentável de um empreendimento, afastam-se da diversidade inerente à pluralidade de situações existentes no local que o mesmo será implantado e do julgamento do meio.

De acordo com o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável⁵ (CBCS), os critérios de certificação devem ser utilizados como referências auxiliares, mas não determinantes na escolha de materiais e sistemas construtivos.

As certificações podem ser muito importantes para a consolidação da sustentabilidade das edificações, porém devem ser levados em consideração os aspectos do lugar e da população que nele reside.

Os sistemas de adoção voluntária, pretendem que o próprio mercado impulse a elevação do padrão ambiental, seja por comprometimento ambiental ou por questão de competitividade e diferenciação mercadológica (SILVA, 2007).

Duarte e Gonçalves (2006) afirmam que a certificação constitui-se em um sistema de avaliação no qual é quantificado o grau de sustentabilidade de um projeto de acordo com determinados critérios de desempenho, que podem englobar desde consumo de energia até tópicos como o impacto ambiental gerado por tintas, por exemplo. Por lidar com critérios de desempenho, em geral, os sistemas de avaliação são revistos a cada dois anos. Da mesma forma, os edifícios certificados devem passar pela verificação de desempenho a cada dois anos.

Silva (2007) afirma que os indicadores de sustentabilidade do ambiente construído descrevem os seus impactos ambientais, econômicos e sociais para projetistas, proprietários, usuários, gestores, desenvolvedores de políticas públicas e demais partes interessadas da indústria de construção. Segundo ela, há um trabalho do ISO/TC59/SC1733 na preparação de um conjunto de normas sobre sustentabilidade de edifícios e ativos construídos, que inclui um texto específico sobre princípios para indicação de sustentabilidade de um edifício ou grupo de edifícios (ISO,2005a). Com o uso dessa norma, pretende-se que as avaliações de sustentabilidade de edifícios sejam feitas segundo uma estrutura comum e uma coleção principal de indicadores, definidos na ISO AWI 21932 (2002c) e na ISO TS 21929 (ISO, 2005b).

⁵ Disponível em <<http://www.cbcs.org.br>>. Acesso em: 10 dez. 2008.

Para Duarte e Gonçalves (2006), o objetivo maior de um edifício sustentável deve ser fazer desse uma solução ambiental, social e economicamente viável no contexto global da sustentabilidade. Nesse sentido, as noções de impacto ambiental não devem ser resumidas às questões de consumo de energia, e sim ser ampliadas para os contextos local e global.

A certificação é apenas uma ferramenta de avaliação de empreendimentos e produtos. A prática efetiva da sustentabilidade na construção tem uma dimensão bastante mais ampla que a certificação. Envolve atitude e postura empresarial para desenvolvimento de empreendimentos, projetos, fabricação de materiais, execução de obras e uso e consumo consciente. Para fortalecer o movimento da construção sustentável faz-se também necessária a participação do Estado na formulação de políticas públicas e das escolas e universidades na adoção dos conceitos de sustentabilidade na formação de arquitetos, engenheiros e demais profissões que atuam no mercado da construção (SOUZA, 2008).

3.1 Materiais X Avaliação do Ciclo de Vida das Edificações

Segundo Souza (2008), os processos de fabricação de materiais, execução de obras e uso e operação de empreendimentos geram emissões significativas de carbono e contribuem para o aquecimento global do planeta.

A indústria da construção civil exerce impacto significativo sobre a economia de uma nação e, portanto, pequenas alterações nas diversas fases do processo construtivo podem promover, além de mudanças importantes na eficiência ambiental e redução dos gastos operacionais de uma obra, maior incentivo em investimentos no setor. Nesse mercado de competitividade crescente e submetido a instrumentos de comando de controle (legislação e normas) e de melhoria contínua, a escolha de materiais de construção representa um importante campo da engenharia ambientalmente responsável (PEREIRA *et al*, 2006).

A indústria de materiais de construção brasileira representa cerca de 5% do PIB e tem implicações sociais significativas, abrangendo aspectos relativos à geração de empregos, impostos, impacto local nas comunidades, etc. Estes impactos são ainda mais relevantes se observado que o setor da construção possui grande capilaridade na economia (LIMA *et al*, 2007).

De acordo com o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (2008), o projeto de um edifício como um todo não pode ser separado da escolha de materiais e componentes, os quais fazem parte do edifício, abordando que:

- O impacto ambiental dos materiais está associado à produção do ambiente construído. Obras da construção civil consomem cerca de 75% dos recursos naturais extraídos da natureza.
- A produção de materiais, transporte e uso contribui para a poluição global em geral, pela liberação de gases do efeito estufa, poluição do ar, e liberação de CO₂;
- Uma construção mais sustentável depende da seleção adequada dos materiais e componentes.

Os critérios para a seleção adequada de materiais são a Energia Embutida⁶ e a Avaliação do Ciclo de Vida.

Fuentes *et al* (2006) argumenta que os fatores determinados pelas qualidades dos materiais, são, por exemplo:

- Energia necessária para produzir o material;
- Emissão de CO₂ resultante da fabricação do material;
- Impacto no meio ambiente local resultante da extração do material (por exemplo, pedras numa pedreira, a madeira retirada de uma floresta);
- Toxicidade do material;
- Transporte do material durante sua fabricação e entrega no sítio da obra;
- Grau de poluição resultante do material no final de sua vida útil.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) se destaca, atualmente, como ferramenta de excelência para análise e escolha de alternativas, sob uma perspectiva puramente ambiental. O seu princípio consiste em analisar as repercussões ambientais de um produto ou atividade, a partir de um inventário de entradas e saídas (matérias-primas e energia, produto, subprodutos e resíduos) do sistema considerado (PEREIRA *et al*, 2006).

O produto final da arquitetura para a sustentabilidade ambiental é a síntese entre conceitos arquitetônicos, fundamentos do conforto ambiental, técnicas construtivas e de operação predial, e a esperada eficiência energética, seja no projeto de um novo edifício, seja na reabilitação tecnológica de um edifício existente. No entanto, o sucesso do desempenho ambiental e energético do edifício não pode ser garantido em nenhuma das etapas de projeto. Apesar dos estudos detalhados de simulação das condições ambientais, o gerenciamento dos sistemas prediais, juntamente com o cumprimento dos padrões de ocupação previamente

⁶ É a energia consumida por todo o processo associado com a produção de um edifício, a partir da aquisição de recursos naturais até a entrega do produto (LABEEE, 2008).

definidos e o comportamento e as expectativas dos usuários é que responderão pelo desempenho final do edifício (DUARTE; GONÇALVES, 2006).

Para atingir um projeto verdadeiramente otimizado energeticamente, é preciso investigar tanto a energia operacional⁷ quanto a incorporada ou embutida⁸, sendo o total de energia utilizada durante a vida de uma edificação a soma da energia operacional e da energia incorporada utilizadas durante o ciclo de vida da mesma. Como têm ocorrido melhorias na eficiência do uso da energia operacional das edificações, a energia incorporada passou a ter maior importância no total de energia utilizada por um edifício, durante seu ciclo de vida (YOHANIS; NORTON, 2002 *apud* SATTLER; MANFREDINI, 2005)

O princípio utilizado na escolha de um material, em um conjunto de opções que cumprem uma mesma função, pode ser utilizado na concepção de uma edificação composta de vários materiais. Assim, é possível vislumbrar a idéia de que todas as etapas construtivas e gerenciais de uma obra passariam por um processo de ACV, de modo que se considere a menor repercussão ambiental, associada ao seu ciclo de vida: construção, uso e demolição. A indústria da construção civil exerce impacto significativo sobre a economia de uma nação e, portanto, pequenas alterações nas diversas fases do processo construtivo podem promover, além de mudanças importantes na eficiência ambiental e redução dos gastos operacionais de uma obra, maior incentivo em investimentos no setor (PEREIRA *et al*, 2006).

O ciclo de vida da edificação é um importante aliado para a construção civil. Segundo Kim e Kingdom (1998 *apud* CALDAS, 2001), ele é um dos princípios do desenho sustentável, junto com a economia dos recursos e o desenho humanizado, como pode ser observado no quadro 10.

⁷ Utilizada para aquecimento, refrigeração, ventilação, iluminação e serviços na edificação, usualmente expressa em termos anuais (SATTLER; MANFREDINI, 2005).

⁸ Utilizada na construção da edificação. Incluindo o conteúdo energético dos materiais e componentes construtivos, trata-se da energia que foi usada desde as fontes primárias (extração) até o processo de manufatura e transporte ao local, assim como a energia usada no processo de construção (SATTLER; MANFREDINI, 2005).

Quadro 10: Princípios do desenho sustentável

Princípios do Desenho Sustentável		
Princípio	Descrição	Estratégia
1	Economia de recursos	Conservação de recursos energéticos
		Conservação de recursos hídricos
		Conservação de matérias-primas
2	Ciclo de vida do edifício	Pré-construção
		Construção
		Pós-construção
3	Desenho humanizado	Preservação das condições naturais
		Desenho urbano e planejamento local
		Desenho para o conforto humano

Fonte: Kim e Rigdon (1998 *apud* CALDAS, 2001)

Cada princípio abordado no quadro anterior será apresentado com suas estratégias e respectivos métodos nos quadros 11, 12 e 13.

Quadro 11: Princípio 1 - Economia de Recursos

Princípio 1: Economia de Recursos		
Estratégia	Métodos	
Conservação de energia	Consciência energética aplicada ao planejamento urbano;	
	Uso de fontes alternativas de energia;	
	Uso de sistemas passivos de resfriamento e de aquecimento;	
	Aplicação do caráter da eficiência energética no desenvolvimento dos projetos;	
	Uso de materiais que incorporem baixa entropia;	
	Uso de temporizadores;	
	Proteção contra ganho de calor ou perda de calor.	
Conservação de materiais	Desenhar e construir com a perspectiva de conservação dos materiais;	
	Desenhar e construir com a perspectiva de conservação dos materiais;	
	Dimensionar racional e apropriadamente os sistemas (espaços, equipamentos, etc.) do edifício;	
	Utilizar materiais e componentes recuperados ou reciclados;	
	Buscar a utilização de materiais de construção não convencionais.	
Conservação de recursos hídricos	Reutilizar:	A água da chuva para reabastecimento;
		As águas servidas para irrigação, ou, sob tratamento, para consumo.
	Reduzir ou evitar:	Mudanças na paisagem natural, principalmente nas proximidades das fontes de água;
		O uso de válvulas de descarga e banheiras.

Fonte: Kim e Rigdon (1998 *apud* CALDAS, 2001)

Quadro 12: Princípio 2 - Ciclo de vida do edifício

Princípio 2: Ciclo de vida do edifício		
Estratégia	Métodos	
De pré-construção	Minimizar a necessidade de energia nos processos de acesso e distribuição dos materiais	
	Utilizar materiais que são...	Feitos com recursos renováveis
		Recicláveis
		Reciclados
De construção	Colhidos ou extraídos sem danos ecológicos	
	Programar a construção para minimizar os impactos no sítio onde será realizada	
	Especificar manutenções regulares com materiais atóxicos	
	Munir o edifício de dispositivos de separação dos rejeitos (lixo, esgoto)	
De pós-construção	Adaptar as estruturas existentes para novos usuários e/ou programas	
	Reutilizar os componentes e materiais do edifício	
	Reciclar os materiais e componentes do edifício	
	Reutilizar o terreno e a infra-estrutura existente	

Fonte: Kim e Rigdon (1998 *apud* CALDAS, 2001)

Quadro 13: Princípio 3 - Desenho Humanizado

Princípio 3: Desenho Humanizado	
Estratégia	Métodos
Preservação das condições naturais	Preservar toda a flora e fauna existentes
	Não modificar os elementos do ciclo hidrográfico que asseguram as fontes de água potável
	Respeitar os contornos topográficos
	Compreender os impactos das especificações do meio ambiente
Planejamento urbano do edifício	Evitar contribuir com a poluição
	Priorizar as vias para os pedestres
	Priorizar os sistemas coletivos de transporte
Voltadas para o conforto humano	Promover os confortos visual, térmico e acústico no edifício
	Promover conexão visual com o exterior
	Criar janelas com sistemas móveis
	Evitar a criação de barreiras arquitetônicas para deficientes físicos
	Promover ar limpo e fresco

Fonte: Kim e Rigdon (1998 *apud* CALDAS, 2001)

Outro aspecto importante relacionado à Construção Civil é o entulho produzido. Por esse motivo, o Governo Federal regulamentou a Resolução número 307⁹ do Conselho

⁹ Promulgada em 05 de Julho de 2009. Está disponível no site: <www.usp.br/fau/cursos/.../RESOLUCAO_CONAMA_307.pdf>.

Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos específicos da Construção Civil¹⁰.

De acordo com a Resolução 307 do CONAMA, cada município deverá possuir um Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, incorporando um Programa Municipal¹¹ e um Projeto¹² de Gerenciamento destes resíduos.

Segundo Camargo (1995), são gerados no Brasil cerca de 0,55 toneladas de entulho por habitante ao ano. Grande parte deste entulho apresenta possibilidade de ser reutilizado, como é o caso da argamassa e dos blocos de vedação (tijolos), os quais podem ser facilmente triturados para serem utilizados como agregados na produção de componentes de construção e argamassas. Esse entulho, proveniente da indústria da construção civil pode ser dividido percentualmente em:

- Argamassa - 64%
- Componentes de vedação - 30%
- Outros materiais - 6%

3.2 A Sustentabilidade sob o Enfoque de alguns Escritórios de Arquitetura que atuam na Construção Civil Alagoana

Para alguns escritórios de arquitetura que atuam no mercado imobiliário alagoano, a sustentabilidade ainda é um sonho distante. Alguns arquitetos opinaram sobre sustentabilidade e certificações ambientais:

Está havendo uma união do mundo todo em relação a sustentabilidade e, conseqüentemente, você está tendo novas tecnologias que vem assessorar a arquitetura pra esse propósito. A gente assume esse papel e tenta projetar sempre em função do que está disponível. Hoje já há uma exigência do cliente em relação a isso, com o aproveitamento de condicionantes naturais, aproveitamento de água e de luz natural, então percebe-se que existe uma consciência maior do que se tinha há dez anos atrás em relação a sustentabilidade (Edalmo Lobo¹³).

¹⁰ Resíduos da construção civil são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha. Disponível em: <www.usp.br/fau/cursos/.../RESOLUCAO_CONAMA_307.pdf>. Acesso em 31 maio 2009.

¹¹ Estabelece diretrizes técnicas e procedimentos para o exercício das responsabilidades dos pequenos geradores, em conformidade com os critérios técnicos do sistema de limpeza urbana local.

¹² Elaborados e implementados pelos geradores não enquadrados na nota de referência anterior e terão como objetivo estabelecer os procedimentos necessários para o manejo e destinação ambientalmente adequados dos resíduos.

¹³ Comunicação verbal concedida no dia 13 de Maio de 2009, no Escritório do próprio arquiteto (Escritório Edalmo Lobo), no bairro de Pajussara (Maceió, Alagoas).

Estas certificações ambientais são peças fundamentais na disseminação dos projetos sustentáveis e ganham mais importância com o crescimento da consciência da população, que é impulsionada também pela ampla divulgação e exploração deste tipo de classificação. A princípio podem ser consideradas apenas um modismo, mas quando levadas a sério e não apenas como uma oportunidade de negócio, que também são, poderão ser, num futuro próximo, fundamentais na escolha de compra de um novo imóvel (Victor D’Avila¹⁴).

A vida dos escritórios de arquitetura é uma correria só. Uma série de problemas mercadológicos nos impedem de investirmos em melhorias, programas, mão-de-obra, etc. Vivemos numa roda viva louca, sempre atrás dos prejuízos [...] Primeiro precisamos levar conhecimento aos profissionais e à população, para que o cliente também exija uma postura sustentável dos arquitetos em seus projetos de arquitetura. [...] Acho que as certificações são requisitos ainda muito distantes da nossa realidade, mas é um caminho sem volta. Espero que a velocidade com que caminhamos aumente baseada na maior divulgação destes conceitos. Existe muito marketing em cima de tudo isso, a palavra “sustentabilidade” nunca foi tão abusada e explorada equivocadamente. Mas o verdadeiro sentido desta busca é muito sério e indispensável para o futuro do planeta (Cinthia Coêlho Malta¹⁵).

A questão custo e cultura são fundamentais para a sustentabilidade. Infelizmente, quando a gente vai para a prática não se tem cliente ideal, terreno ideal, não tem como arcar com o custo disso, então tudo no mundo é a relação de custo-benefício. É óbvio que seria ótimo projetar incorporando conceitos de arquitetura bioclimática, sustentável, mas nem sempre é possível, novamente a cultura e o lado financeiro pesam de maneira predominante, é muito difícil conseguir que o cliente aceite pagar por isso. Enquanto não houver uma consciência maior, uma solução mais rentável, não se consegue pensar a longo prazo e sim a curto. E isso é natural da natureza humana, é muito difícil pensar numa solução imediata abstraindo-se do seu interesse e pensando no futuro coletivo. Não dá pra conseguir mudar as pessoas só porque a gente quer, então volta-se a ter uma série de limitações. [...] Sobre as certificações ambientais só são adotadas no Brasil pra ter um diferencial de venda, pra dizer que a edificação é exclusiva, é muito mais uma preocupação de marketing do que ambiental. Fora do Brasil é algo que o próprio governo vem cobrando, e a sociedade também, então só será viável aqui quando também for interessante economicamente. Pode não dar certo devido a falta de capital de nosso país, pois tudo que é inovador, no Brasil, torna-se ainda mais caro. Lá fora além de ter muito capital tem muita coisa fabricada lá, então o capital retorna rápido. Às vezes é mais uma preocupação com a marca dos produtos que serão utilizados ditos sustentáveis do que com o meio ambiente. [...] No caso da etiquetagem do PROCEL, na hora em que for cobrada todo mundo vai ter que incorporar nos projetos e levar mais a sério (Mariano Teixeira¹⁶).

Eu acho que a gente teria que desmistificar esta questão ambiental do jeito que está sendo tratada, porque me parece que existe um grande complô. Construindo para o lugar em que será inserido o projeto, você estará fazendo uma arquitetura ecológica que vai ter uma forma característica dessa região, construir frondoso¹⁷, com os

¹⁴ Citação concedida por meio eletrônico, no dia 20 de Maio de 2009 (atua no escritório do arquiteto Cícero Duarte – Duarte Arquitetos).

¹⁵ Citação concedida por meio eletrônico, no dia 15 de Maio de 2009 (atua na Empresa Concep Engenharia e Arquitetura).

¹⁶ Comunicação verbal concedida no dia 13 de Maio de 2009, no Escritório do próprio arquiteto (Mariano Teixeira Arquitetos, Sociedade Simples LTDA), no bairro de Pajussara (Maceió, Alagoas).

¹⁷ Construir frondoso significa construir de forma livre e espontânea, respeitando a cultura e o clima locais. Produzindo uma arquitetura vigorosa, acolhedora e envolvente, que coloque o usuário de seus espaços em harmonia com a natureza (CARMO FILHO, 2005). Expressão utilizada por Armando de Holanda em seu livro Roteiro para Construir no Nordeste.

produtos da nossa região, deixar nossas construções livres, com alpendres maiores, com áreas de transição entre a parte da frente deixando o vento fluir por dentro da edificação, isso é absolutamente ecológico e vai ter uma forma característica do lugar. A questão de beleza tá muito ligada ao equilíbrio, equilíbrio também com a natureza e nós temos que perseguir isso. [...] Em relação as certificações tenho medo, porque é aquela questão das normas e regras. Muitas vezes nós importamos um modelo sem ruminá-lo, decantá-lo, sem ver o que é fundamental pra gente, porque, às vezes, vc necessita de um consumo maior que em outro país não precisa. Eu não digo que seja modismo, mas oportunidade de negócio sempre é (Mario Aloisio¹⁸).

Em vários pontos do presente trabalho foi citado que o arquiteto precisa ser mais ético, projetar para um devido clima, preocupando-se com as condicionantes ambientais e com a cultura do local, mas nem sempre a culpa da insustentabilidade na arquitetura é do arquiteto. Muitas vezes ele é guiado pelo mercado imobiliário, que dita as regras e, infelizmente, caso não sejam cumpridas, o profissional estará fora do mercado.

Sobre a dificuldade entre projetar corretamente e projetar para um mercado imobiliário, os arquitetos também informaram seus pontos de vista:

Como profissional, é muito difícil abrir mão de uma série de condições que você consideraria melhor, mais adequada, mas não pode porque não é possível adotá-las. Algumas vezes por conta do baixo poder de compras dos clientes, outras por causa do mercado, além de haver um problema cultural de não se saber distinguir o que é a boa arquitetura. Às vezes a gente sabe que poderia fazer melhor, mas não consegue convencer as partes envolvidas no projeto. Depois de algum tempo, quando o profissional já tem seu trabalho mais reconhecido, fica um pouco mais fácil de se trabalhar, porque as pessoas já o procuram por sua linha de trabalho, já vão, mais ou menos, selecionando o profissional com o qual se identificam (Mariano Teixeira).

Na prática, como a gente atua na parte imobiliária, existem vários contra-pontos em relação ao mercado imobiliário. Você além de pensar na eficiência energética e nas condicionantes naturais, também tem que se preocupar com outros aspectos. Nós podemos até sugerir protetores solares, mas não são colocados em função do custo. Seguimos os preceitos de orientar os apartamentos ou a casa para onde há maior incidência de ventos e utilizamos o que podemos, mas fica mais caro. Tentamos aproveitar as condicionantes naturais, mas sabendo que há limitações para que possamos utilizar todas elas (Edalmo Lobo).

As iniciativas para edificações mais sustentáveis são muitas vezes “cortadas” pelos clientes devido ao custo que algumas delas acarretam, inicialmente, a obra e mesmo após explicação sobre os benefícios e o retorno a longo prazo do investimento, os projetos precisam sofrer alterações (Victor D’Avila).

Entre a teoria e a prática da arquitetura ainda existe uma lacuna muito grande, Mário Aloisio fala sobre as barreiras entre o mercado imobiliário e o ensino da arquitetura:

¹⁸ Comunicação verbal concedida no dia 27 de Maio de 2009, no Escritório do próprio arquiteto (Traço Arquitetura), no bairro de Jaraguá (Maceió, Alagoas).

As universidades se distanciam cada vez mais da realidade de mercado. Aliado a isso existem coisas complicadas de se entender, é que a prática profissional em profissões como a nossa, não são contadas em nada pra ensinar. Nas universidades americanas, os professores atuantes na sociedade têm grande apoio na universidade. Existe uma consciência do latino americano de que o profissional que se dá bem no mercado é um vilão, pois pra se dar bem no mercado tem que se comprometer e “virar” um capitalista, sendo mal visto porque se corrompeu por ele (Mario Aloisio).

Com base na opinião dos arquitetos, pode-se concluir que o mercado imobiliário alagoano ainda está muito longe de aceitar pagar por uma arquitetura baseada na minimização dos recursos naturais, visando, somente, a sustentabilidade econômica e o retorno financeiro que o empreendimento lhe trará a curto prazo.

4 ESTUDO DE CASO PARA EDIFICAÇÃO BASEADA NOS PRINCÍPIOS DE SUSTENTABILIDADE NO SEMIÁRIDO ALAGOANO: MUSEU DE PALEONTOLOGIA PARA O MUNICÍPIO DE MARAVILHA – AL

De acordo com a SUDENE, a Região Nordeste ocupa 18,27% do território brasileiro, com uma área de 1.561.177,8 km². Deste total, 962.857,3 km² localizam-se no Polígono das Secas, conforme indica a figura 20 onde na parte pintada com a cor azul destaca-se a região com o clima semiárido. Como pode ser observado, o semiárido inclui parte do estado de Minas Gerais no Polígono das Secas e traz como única exceção do Nordeste neste tipo de clima o estado do Maranhão.

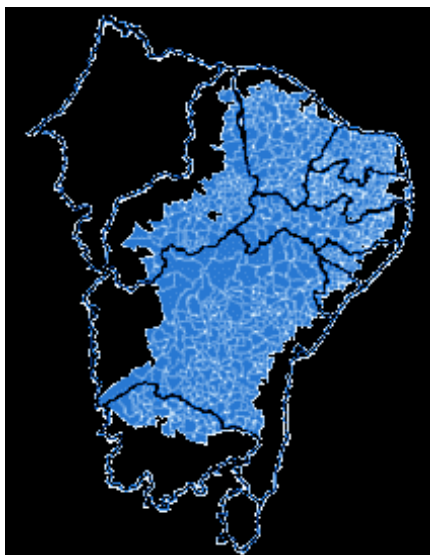


Figura 20: Mapa do Polígono das Secas (parte pintada)
Fonte: <http://www.sudene.gov.br/site/index.php?idioma=ptbr>

A região Nordeste localiza-se entre os meridianos de 35°W e 47°W e os paralelos de 1°S e 18°S. Sua economia baseia-se na agricultura açucareira e cacaueira, na exploração do petróleo e no turismo, com os principais centros industriais localizando-se nas regiões metropolitanas.

4.1 O Semiárido nordestino

Semiárido é sinônimo, para muitos, da região que apresenta a maior desigualdade social do Brasil. Uma parte do semiárido nordestino, realmente, é marcada pelo desrespeito e descaso de suas unidades federativas, seja do ponto de vista social, econômico ou cultural.

O clima semiárido caracteriza-se pela escassez de chuva. Souza (2008) enfatiza que “a maior parte do total pluviométrico anual sobre essa região concentra-se em quatro meses do ano, isto é, fevereiro, março, abril e maio, os quais compreendem sua estação chuvosa”. Marengo (2006) enfoca que “historicamente a região Nordeste sempre foi afetada por grandes cheias ou grandes secas. Essas secas estão nas características climáticas da região, as quais possuem grande variabilidade espacial e temporal na distribuição de precipitação, bem como a concentração de mais de 80% do total anual de chuva no período de quatro meses”. Observa-se que o problema da escassez de chuva no nordeste brasileiro é justamente a sua má distribuição, ou seja, mesmo que chova muito em alguns meses, a ausência dessa precipitação durante o resto do ano provoca o período de seca. O pensamento de Marengo está relacionado com o de Nimer (1979), que informa que “a climatologia do Nordeste classifica-se como uma das mais complexas do mundo devido a irregularidade de distribuição das chuvas”. Ele frisa que o fato mais negativo das precipitações sobre essa região não reside na altura dos seus totais, mas na sua distribuição anual.

Nimer tem razão quando fala da complexidade do clima nordestino, pois de acordo com Molion e Bernardo (*apud* SEGUNDO, 2001), o Nordeste Brasileiro (NEB) está submetido à influência de diversos fenômenos meteorológicos, devido à localização no extremo leste da América do Sul tropical, que lhe conferem características climáticas peculiares, únicas em semiáridos de todo mundo. Já Marengo (2006) acredita que os fatores dinâmicos associados à redução de chuva têm relação fundamentalmente com o efeito dos oceanos tropicais (Atlântico e Pacífico) especialmente o contraste térmico entre o oceano Atlântico tropical do norte e do sul, que determina a posição média da Zona de Convergência Intertropical e, portanto, de chuvas na região norte do Nordeste, enquanto o leste do Nordeste pode ser afetado por distúrbio de leste e penetrações frontais governadas pelo Atlântico do sul adjacentes à região.

A tabela 07 mostra os períodos de seca dos quatro últimos séculos no nordeste do Brasil. Como pode ser observado, no século XVI houve seca nos anos de 1603, onze anos depois em 1614 e, após setenta e oito anos, em 1692. Já no século XVII, houve uma ocorrência menor de chuvas e, pior ainda, aconteceram anos seguidos de escassez, a maior foi entre 1790 e 1794. Os anos de seca tendiam a aumentar e nos séculos XIX e, principalmente no XX, a seca tornou-se bastante constante. Segundo Barbosa (2006), a seca mais famosa na região Nordeste ocorreu no período de 1877 a 1879, onde várias pessoas morreram de fome e de doenças causadas pela fome. As secas de 1900, 1915, 1919, 1932, 1951 e 1958 provocaram fatos semelhantes, mas com menor número de vítimas.

Tabela 07: Anos de seca no nordeste brasileiro durante os últimos quatro séculos

Século XVII	Século XVIII	Século XIX	Século XX
1603	1711	1804	1900
1614	1721	1809	1902
1692	1723-24	1810	1907
	1736-37	1816-17	1915
	1744-46	1824-25	1919
	1754	1827	1932-33
	1760	1830-33	1936
	1772	1845	1941-44
	1776-77	1877-79	1951
	1784	1888-89	1953
	1790-94	1891	1958
		1898	1970
			1979-80
			1981
			1982-83
			1986-87
			1991-92
			1997-98

Fonte: Marengo, 2006.

Pensar no semiárido é enxergar além da barreira de nossos olhos, é conviver com o problema da seca e tentar encontrar soluções para amenizar essa angústia que é tão gritante no sertão e, ao mesmo tempo, fora da realidade das demais capitais nordestinas.

4.1.1 O Semiárido alagoano

Como pode ser observado no Polígono das Secas (tópico anterior), a região semiárida ocupa quase a metade do território alagoano. De acordo com Góis (2005), o estado de Alagoas está subdividido em seis mesorregiões, que são o Sertão, o Sertão do São Francisco, Baixo São Francisco, Agreste, Zona da Mata e Litoral, como mostra a figura 21.



Figura 21: Mesorregiões geográficas de Alagoas

Fonte: Góis, 2005

No sertão de Alagoas a predominância de um microclima formado pelas localidades de Mata Grande (precipitação de 1110,5 mm) e Água Branca (precipitação de 1051,4 mm) contribuíram para o aumento das precipitações pluviais na região, já a localidade de Canapi apresenta a menor precipitação pluvial média anual na região do sertão (452,6 mm), a localidade de Santana do Ipanema entre o oeste e norte do Estado apresenta uma precipitação de 754,7 mm (GÓIS, 2005). A tabela 08 apresenta alguns dos resultados citados anteriormente e identifica além da precipitação anual (representada pela letra P) e do índice de aridez (D), a evapotranspiração média anual (ETP) de algumas cidades do sertão alagoano.

Tabela 08: Elementos Climatológicos para a Mesoregião do Sertão de Alagoas

Localidades	P (mm/ano)	ETP(mm/ano)	(D)
Santana do Ipanema	754,7	1680,2	2,23
Poço das Trincheiras	804,0	1616,4	2,01
Olho D'água das Flores	727,6	1558,4	2,14
Major Isidoro	783,3	1765,9	2,39
Mata Grande	1110,5	1169,6	1,05
Canapi	452,6	1574,4	3,48
Água Branca	1051,4	1222,0	1,16

Fonte: Góis, 2005

Para Góis (2005), as atividades antrópicas, juntamente com as mudanças climáticas, são os principais fatores responsáveis pelo processo de desertificação em diversas áreas. Silva (2008) acrescenta que “a área da região do semiárido alagoano poderá aumentar em consequência da ação humana, considerando como principal fator o desmatamento desenfreado seguido da destruição das nascentes e riachos”.



Foto 13: Sertão Alagoano
Fonte: Acervo do Paleontólogo Jorge Luiz, 2007



Foto 14: Sertão Alagoano
Fonte: Silva, 2008

A vegetação dominante dessa região é a caatinga. Os tipos de vegetação estabelecidos na paisagem da caatinga no semiárido resultam de variações em extensos períodos de seca, profundidade do solo e degradação ocasionada pelas atividades humanas.

4.1.1.1 Emigração de pessoas do interior das cidades para a capital: fator negativo para o desenvolvimento do sertão

A mudança de moradia das pessoas para outras cidades deve-se, em parte, a uma baixa taxa de desenvolvimento de seus locais de origem, caracterizada pela ausência de empregos e de condições apropriadas para viver, criando, muitas vezes, uma ilusão de que nas cidades grandes tudo será resolvido. Para Santos (1978), a dicotomia entre cidade e campo é consequência da seletividade das variáveis estruturais do espaço, que favorece à cidade.

No Brasil, o êxodo rural enche as capitais, contribuindo diretamente para a geração de favelas. Nas grandes metrópoles nacionais, esses aglomerados tornaram-se marcos do cenário social. Muitas das pessoas que habitam as favelas são escravas do tráfico de drogas e alvos da criação de máscaras quanto à resolução dos problemas relacionados à miséria, que se dá pelo excesso de liberdade individual de quem mantém o poder e a ausência de tal liberdade pela classe dominada. Como disse Amartya Sen (2000), “a liberdade individual é vista como o principal objetivo do desenvolvimento incluindo oportunidades econômicas, liberdades políticas, facilidades sociais, garantias de transferência e segurança protetora”. Os indivíduos não deveriam ter apenas suas necessidades básicas supridas e sim participar de forma ativa nas tomadas de decisões dos processos sociais, empreendendo também sobre eles mesmos. Entretanto, para atingir esse mito nos países periféricos, o desenvolvimento sustentável não teria que ser rotulado de maneira tão bela em sua forma textual, mas sim no sentido que a exprime. A expansão da liberdade faz com que os seres sintam-se capazes de se cuidar e influenciar o mundo, já a ausência faz deles prisioneiros de um sistema acíclico. É essencial perceber a dinâmica entre um tempo e um espaço vivido, para que os espaços não sejam postulados e vistos como receitas aplicáveis em qualquer lugar, pois “é no lugar que se faz a história, é nele que se atribuem valores a objetos e ações, sendo que esses têm seu significado atrelado à sua existência em um lugar, a ponto de que, se retirados dos seus lugares, transforma-se em produtos ou abstrações” (SANTOS, 1997).

De acordo com o estudo do Ministério da Agricultura, atualmente a migração assume maior intensidade dentro dos próprios Estados, superando o deslocamento interestadual. A principal vertente ocorre no sentido campo/ cidade, primeiro para as cidades próximas e

depois para as cidades de maior porte. Essa situação é agravada em toda a região do Nordeste brasileiro por ocasião dos períodos de seca.

Para Mendonça (2000), sem atrativos que estimulem a população rural a permanecer em suas terras, ocorrerá certamente uma maior migração em busca de melhores condições de vida e de conforto na cidade. Segundo ele, o custo de políticas para manter essa população no seu próprio habitat é bem menor do que os novos investimentos em infraestrutura, habitação e geração de empregos que necessitarão ser feitos nas cidades, caso ela decida migrar.

4.1.1.2 Turismo nas cidades do interior de Alagoas: fator positivo para o desenvolvimento do sertão

O Brasil tem um imenso potencial turístico, baseado, principalmente, em sua diversidade natural e cultural.

Turismo, segundo a Organização Mundial do Turismo (2000 *apud* THEOBALD, 2001), está relacionado às atividades de uma pessoa que viaja para fora de seu ambiente costumeiro e cujo o objetivo principal é outro que não o exercício de uma atividade remunerada no lugar visitado.

A maioria dos turistas preferem visitar locais que os afaste de seu cotidiano. Urry (1996) afirma que os lugares são escolhidos para serem contemplados porque existe uma expectativa. Esse mesmo lugar para Tuan (*apud* CORRÊA, 1995) deve possuir um espírito, uma personalidade, havendo um sentido de lugar que se manifesta pela apreciação visual ou estética e pelos sentidos a partir de uma longa vivência.

O turismo, apesar de ser excludente para a classe social mais carente, pode, no entanto, tornar-se benéfico, gerando renda para a comunidade que habita esses pontos turísticos. Segundo Theobald (2001), os dados sobre os gastos com turismo são um dos mais importantes indicadores usados para monitorar e avaliar os efeitos dessa atividade sobre a economia de um país e sobre os vários segmentos representativos da indústria do turismo.

Na maior parte do Brasil, o turismo mais explorado é o de sol e mar. Entre os destaques, encontra-se o estado de Alagoas, que possui um dos litorais mais bonitos do país. Apesar de toda a beleza litorânea, o estado possui ainda um grande potencial natural, que privilegia também as cidades que localizam-se distantes do mar. O turismo nas cidades do interior de Alagoas poderia favorecer os habitantes locais e também a economia estadual,

sendo feito de forma sustentável¹, criando condições de dignidade e melhoria de vida para a população e valorizando os aspectos culturais e sociais sem perder a identidade do lugar.

4.1.2 Arquitetura e Clima no semiárido alagoano

O repertório arquitetônico do semiárido alagoano é considerado simples. Caldas (2002) afirma que os edifícios utilizam padrões significativamente homogêneos orientados muito menos pelas questões materiais do que pela repetição, quase mimética, de modelos desenvolvidos pelos proprietários das fazendas. Têm como tecnologias construtivas predominantes os tipos baseados no uso de tijolos cozidos e na taipa de sapo e no adobe.

As edificações localizadas na zona urbana do semiárido alagoano, não possuem recuos laterais e isso prejudica bastante a iluminação e a ventilação natural tão necessária ao conforto humano. Parte dos ambientes internos, devido à inexistência de aberturas, ocasiona elevado grau de desconforto térmico que são responsáveis por um consumo maior de energia elétrica devido à utilização de equipamentos necessários para a ventilação e pelo uso de iluminação artificial durante o dia. Uma das soluções para esses problemas seria a utilização da iluminação zenital nessas edificações. De acordo com Mascaró (1991), a orientação do edifício influi sensivelmente na quantidade de calor por ele recebida. Um edifício bem orientado consome mensalmente em média, 1,3 kw.h de energia operante por metro quadrado de área, enquanto numa má orientação com as fachadas principais expostas à maior carga térmica, o edifício consome 1,9 kwh.

Na zona rural, as residências têm uma maior liberdade quanto aos recuos laterais, frontais e de fundo, mas são prejudicadas pela ausência de proteção solar das fachadas. A utilização de vegetação de grande porte e a construção de sacadas acrescentadas ao projeto de arquitetura no sertão é de extrema importância, pois evita o calor solar que atinge a edificação. Segundo Caldas (2002), “no semiárido alagoano as técnicas, tanto de construção das edificações como de uso em atividades cotidianas, reservaram um papel significativo para a vegetação, principalmente das espécies nativas de grande porte na composição de edifícios”. Alguns exemplos de outros elementos para a proteção de fachadas, tentando evitar a iluminância excessiva que provém da abóbada celeste causada pela luz solar, tanto no campo quanto na cidade, seriam o brise-soleil (quebra-sóis) e as venezianas.

¹ De acordo com World Commission of Environment and Development (1987), o turismo sustentável é aquele que atende às necessidades dos turistas atuais, sem comprometer a possibilidade do usufruto dos recursos pelas gerações futuras (RUSCHMANN, 1999).

Frota (1995) afirma que entre as variáveis climáticas que caracterizam uma região, podem-se distinguir as que mais interferem no desempenho térmico dos espaços construídos; a oscilação diária e anual da temperatura e umidade relativa; a quantidade de radiação solar incidente; o grau de nebulosidade do céu; a predominância de época e o sentido dos ventos; os índices pluviométricos. Os valores dessas variáveis se alteram para os distintos locais da terra em função da influência de alguns fatores como circulação atmosférica, distribuição de terras e mares, relevo do solo, revestimento do solo, latitude e altitude. Ainda acrescenta que, para efeito da arquitetura, os dados climáticos mais significativos são os relativos as variações, diárias e anuais, da temperatura do ar e os índices médios de umidade relativa e precipitações atmosféricas e, quando disponível, a quantidade de radiação solar. Para Menezes e Dantas (*apud* QUERINO, 2006), a nebulosidade assume um importante papel nos modelos do balanço de radiação e clima. As nuvens reduzem a quantidade de energia solar absorvida no sistema terra atmosfera, tendo em vista que a refletividade das mesmas é bem maior do que a refletividade da atmosfera sem nuvens.

De acordo com Caldas (2002), as edificações do semiárido alagoano cristalizam o baixo desenvolvimento econômico da região e estão ligadas a situações de isolamento cultural e tecnológico. Para Mascaró (1992), o fator climático concorre com vários outros fatores (tecnológicos, simbólicos, organizativos) para determinar a aceitação do edifício e o sistema onde atuam esses fatores e a maneira como sua própria diversidade influencia a edificação representando a cultura daquela sociedade.

4.2 Contexto Histórico do Município de Maravilha – AL

Segundo Silva (2001), o município de Maravilha está situado na porção noroeste do Estado de Alagoas. Faz parte da microrregião geográfica de Batalha (Mesorregião do Sertão), e está incluído na Zona Fisiográfica do Sertão. Ocupa uma área de 346 km², compreendida com as coordenadas geográficas 09° 15' 00" e 09° 18' 47" de latitude sul e 37° 07' 56" e 37° 30' 15" de longitude oeste. Limita-se ao norte com Ouro Branco (AL), ao sul com Poço das Trincheiras (AL), à leste com Itaíba (PE) e à oeste com Canapi (AL).

De acordo com Assis (2000), o município em estudo faz parte do domínio morfoclimático das Caatingas ("mato branco" no idioma tupy, em alusão ao fato das árvores, na seca, ficarem sem folhas e assumirem coloração cinza-esbranquecida). Na região, também são identificados outros tipos de vegetação, como, por exemplo, a presença de árvores, cactáceas e bromeliáceas.

Segundo Radambrasil (*apud* SILVA, 2001), Maravilha está ligada a duas bacias hidrográficas: a do rio Capiá (porção ocidental) e do rio Ipanema (porção oriental), ambas no contato entre o médio e o baixo curso destes rios, drenando respectivamente 160 e 108 km². Fernandes Lima (1965) afirma que a bacia hidrográfica do rio Ipanema é a principal na área em estudo.

Mesmo possuindo as duas bacias, o município apresenta uma carência hídrica muito grande. Silva (2001) afirma que as propriedades locais são abastecidas com água trazida por carros-pipas cedidos pela prefeitura, utilizando-se de cisternas construídas ao lado das casas para armazenar água da chuva, que é conduzida por bicas colocadas em torno dos telhados e “cacimbas” que correspondem a depressões do embasamento cristalino normalmente assoreadas por sedimentos pleistocênicos². A atividade de retirada dos sedimentos dessas “cacimbas” para acumulação de água de chuva no inverno, tem levado à descoberta de jazigos fossilíferos de megafauna. O relevo da área apresenta um predomínio de terras com altitudes médias, em torno de 400 metros, ocorrendo na porção centro-leste de Maravilha as maiores elevações, onde alcançam mais de 800 metros, destacando-se a Serra da Caiçara, com 840 metros (segundo ponto mais elevado de Alagoas).

Silva (2001) afirma que, atualmente, a área apresenta condições morfogênicas semelhantes àquelas em que foi gerada: clima semiárido com precipitações que variam de 400 a 700 mm, vegetação de caatinga rala recobrimdo planos fracamente inclinados sobre os quais são deixadas marcas de escoamento superficial difuso, que propicia o carreamento dos materiais finos e a concentração de grossos, o que contribui para o empobrecimento dos solos.

Devido à significativa quantidade de fósseis encontrados, o município de Maravilha poderia enquadrar-se também em um tipo de turismo cultural, que, segundo Melo (2003), se caracteriza na disposição e no esforço de conhecer, pesquisar e analisar dados, obras ou fatos, em suas variadas manifestações. Ainda de acordo com Melo (2003), o turismo científico está inserido no turismo cultural. Nele se foca o interesse ou a necessidade de estudos e pesquisas, por parte dos turistas ou visitantes, tendo como foco as fontes e os objetos das ciências. Ele é também conhecido como viagem de estudos, excursão científica, viagem de pesquisa e outras denominações, que podem ser realizados tanto em locais e regiões desprovidas da estrutura urbana como em regiões dotadas de maior nível de desenvolvimento turístico.

² Esse período durou, aproximadamente, cerca de um milhão de anos. Nesse período apareceu a maioria das espécies atuais. Corresponde ao paleolítico dos arqueologistas. É também chamado época glacial ou recente, ou ainda quaternário antigo ou diluviano (GUERRA *apud* MELO, 2003).

Os fósseis, no Decreto-Lei nº 25 de 30/11/1937, são conceituados como monumentos naturais de feição notável, sujeitos ao tombamento, existindo amparo legal para a proteção deles. “A legitimidade jurídica ao tratar os fósseis como ‘monumentos culturais’ está baseada em sua importância científica e interesse para o público” (RUPERT WILD *apud* MELO, 2003).

As fotos 15, 16, 17, 18 e 19 mostram desde a exploração para encontrar os fósseis até a confecção das esculturas dos animais pré-históricos espalhadas pela cidade de Maravilha, como símbolo de suas existências no local.



Foto 15: Escavações para encontrar fósseis
Fonte: Acervo de Jorge Luiz da Silva, 2007



Foto 16: Fósseis encontrados
Fonte: Acervo de Jorge Luiz da Silva, 2007



Foto 17: Escultura do taxodonte
Fonte: Acervo próprio, 2008



Foto 18: Esculturas do tigre dente de sabre
Fonte: Acervo próprio, 2008

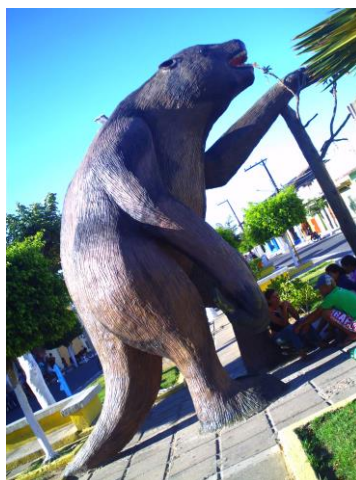


Foto 19: Escultura da preguiça gigante
Fonte: Acervo próprio, 2008

Na zona urbana do município, há um pequeno museu que guarda uma certa quantidade dos fósseis encontrados, a outra parte é levada para o Museu de História Natural da Universidade Federal de Alagoas, na cidade de Maceió. O terreno para o estudo preliminar do museu de paleontologia está localizado na fazenda Ovo da Ema³. Ver localização do terreno na figura 22 (dentro do círculo):

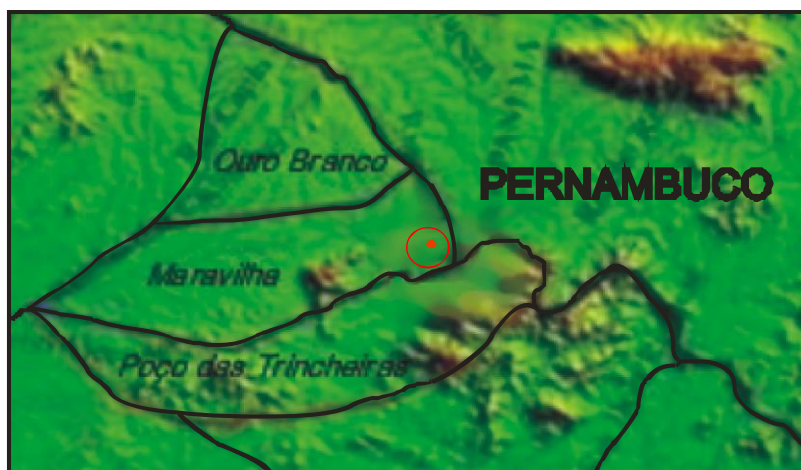


Figura 22: Mapa com a localização do terreno, em Maravilha - AL
Fonte: Jorge Luiz da Silva, 2008. Adaptado pela autora

O levantamento da topografia do terreno foi feito por José Antelmo⁴, topógrafo do município de Santana do Ipanema, Alagoas.

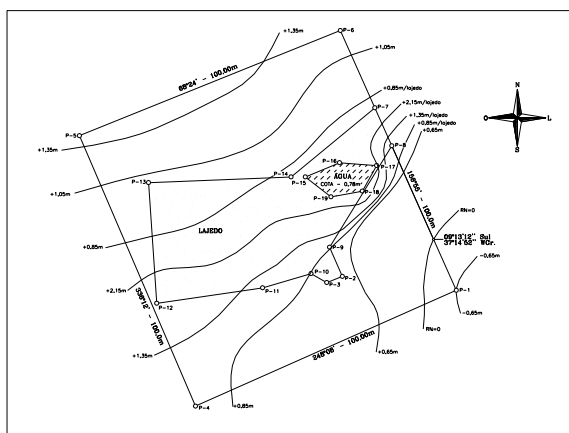


Figura 23: Levantamento topográfico do terreno em Maravilha- AL
Fonte: Topógrafo José Antelmo (2008)

³ Dista 16 km a sudeste da sede do município e tem seu acesso por uma estrada carroçável, iniciada 200 metros à direita após a saída de Maravilha em direção ao Município de Ouro Branco, seguindo a rede elétrica em direção sudeste por 15 km, numa bifurcação abaixo da linha de transmissão segue-se ao sul e a 1 km está a sede da fazenda, que pertence ao Sr. Adelmo Luiz dos Santos, compreendendo cerca de 1000 hectares (SILVA, 2001).

⁴ Dezembro de 2008.

Seguem, nas figuras 24, 25, 26, 27, 28, 29 e 30, a planta baixa do terreno, perspectiva e suas respectivas vistas digitais (orientação baseada na Regulamentação para Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos).

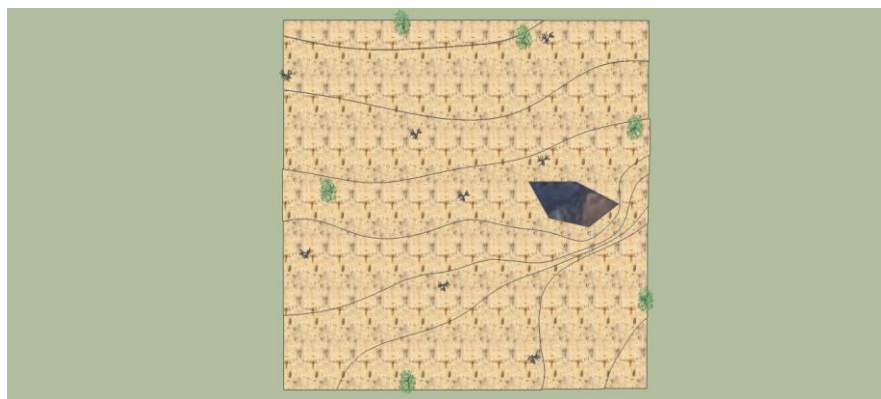


Figura 24: Planta Baixa
Fonte: A autora



Figura 25: Perspectiva
Fonte: A autora



Figura 26: Perspectiva
Fonte: A autora

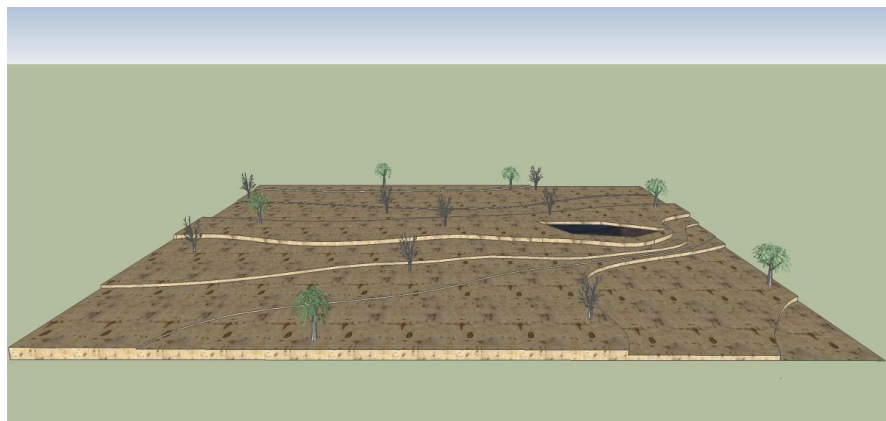


Figura 27: Vista Sul
Fonte: A autora

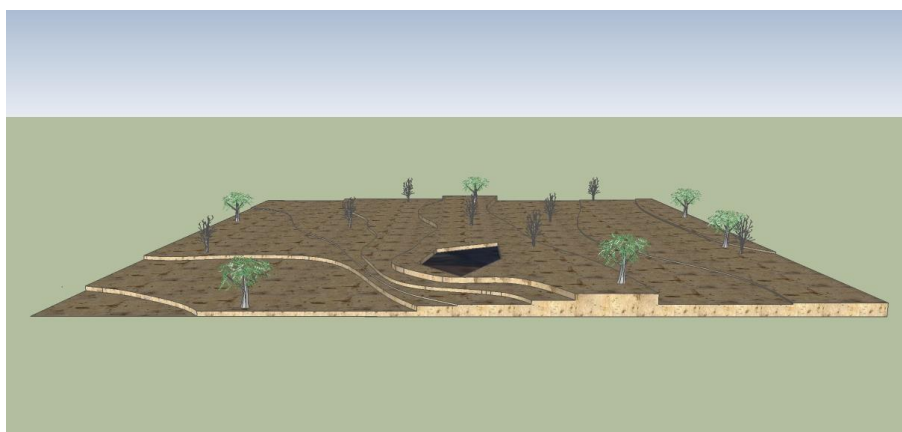


Figura 28: Vista Leste
Fonte: A autora



Figura 29: Vista Norte
Fonte: A autora

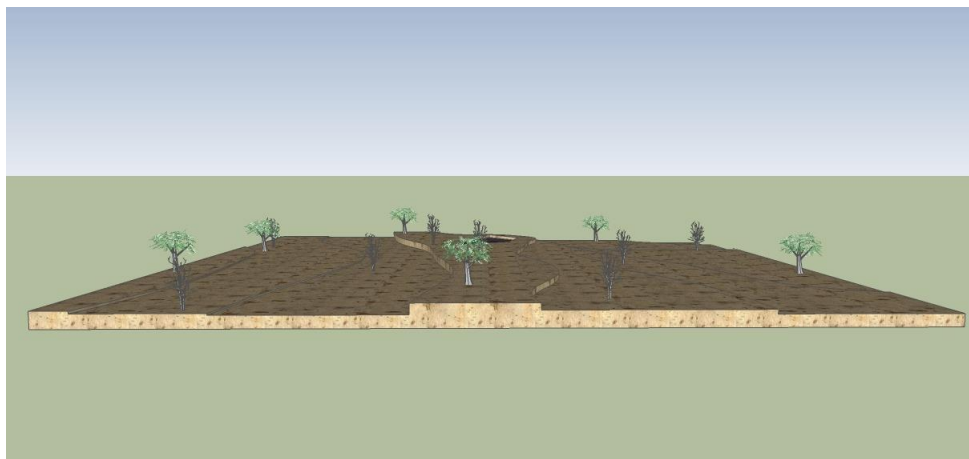


Figura 30: Vista Oeste
Fonte: A autora

Para Oliveira (2006), a criação de uma estratégia exploratória das informações científicas, no caso específico o das pesquisas paleontológicas, pode influenciar beneficemente a vida de uma comunidade. Em Peirópolis, bairro da cidade de Uberaba, em Minas Gerais, a população passava por uma crise econômica e de evasão de moradores, mas graças às atividades exercidas em um museu de paleontologia no local, o bairro transformou-se num pólo turístico bem desenvolvido.

No Brasil, há alguns museus com este enfoque, como, por exemplo:

- Museu de Paleontologia de Santana do Cariri – CE



Foto 20: Museu do Cariri

Fonte: <http://revistadobeto.blogspot.com/2008/11/iniciada-reforma-e-ampliao-do-museu-de.html>

- Museu de Paleontologia de Monte Alto – SP



Foto 21: Vista externa do Museu

Fonte: <http://acd.ufrj.br/geologia/sbp/mt-alto.htm>



Foto 22: Vista interna do Museu - Sala de exposição

Fonte: <http://acd.ufrj.br/geologia/sbp/mt-alto.htm>

- Museu de Paleontologia e Estratigrafia de Rio Claro – SP



Foto 23: Exposição de fósseis

Fonte: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/MUSEU/museu.html>

- Museu de Paleontologia e Malacologia, Belém - PA



Foto 24: Museu

Fonte: http://bioparqueamazonia.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=26&Itemid=40

O programa de necessidades para o museu que será focado no Estudo Preliminar, segue abaixo:

- Área administrativa;
- Vestiários para funcionários;
- Biblioteca;
- Lojas de souvenir;
- Auditório;
- Laboratório;
- Sala de exposição;
- Sala de pesquisa;
- Sala de acervo técnico ou reserva;
- Wc's públicos;
- Dioramas.

Maravilha, assim como grande parte do semiárido nordestino, precisa de incentivo e de políticas públicas que façam com que o verdadeiro sentido do desenvolvimento sustentável, através dos benefícios sociais, culturais, econômicos e ambientais, possa aflorar.

4.3 Elaboração do Museu de Paleontologia

O projeto de um edifício, segundo Duarte e Gonçalves (2006), deve incluir o estudo dos seguintes tópicos:

- (a) orientação solar adequada;
- (b) forma arquitetônica: adequada aos condicionantes climáticos locais e padrão de uso para a minimização da carga térmica interna;
- (c) material construtivo das superfícies opacas e transparentes: termicamente eficiente;
- (d) superfícies envidraçadas: taxa de WWR (window wall ratio) adequada às condições de conforto térmico e luminoso internos;
- (e) proteções solares externas: adequadas às fachadas;
- (f) ventilação natural: aproveitamento adequado dos ventos para resfriamento e renovação do ar interno;
- (g) aproveitamento da luz natural;
- (h) uso da vegetação;
- (i) sistemas para uso racional de água e reúso; e
- (j) materiais de baixo impacto ambiental: dentro do conceito de desenvolvimento sustentável.

Souza (2008) aborda que o maior impacto dos custos das edificações, se situa na fase de uso e operação dos empreendimentos, considerando uma vida útil de 50 anos. Para edifícios comerciais, em média, 80% dos custos acontecem nesta fase, enquanto 20% acontecem na fase de concepção, projeto e obra. Considerando que os principais recursos consumidos na fase de uso e operação são a água e a energia, é fundamental a adoção de diretrizes de sustentabilidade na etapa de projeto e construção, visando o futuro desempenho ambiental do empreendimento.

De acordo com o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (2008), um projeto sustentável deve enfatizar sombra protetora nos espaços abertos; pavimentação que não contribua para o aumento da temperatura no verão; adequada distribuição das zonas verdes no interior do núcleo urbano. Utilizando estratégias de minimização de superfícies pavimentadas, e aumento de áreas verdes; sombra e vegetação em espaços urbanos, estacionamentos; uso de pavimentos e

coberturas de cor clara; uso de telhados verdes; uso de materiais de maior refletividade e/ou emissividade à radiação solar (“cool materials”).

Bittencourt *et al* (2007) afirmam que, no caso de edificações de permanência diurna, como edifícios de pesquisa, escolas e escritórios, pode-se utilizar massa térmica. As tipologias arquitetônicas deveriam favorecer o aproveitamento da iluminação natural e dos ventos regionais, minimizando os gastos com energia. Outro fator de importância relaciona-se aos custos operacionais desses ambientes, pois, no caso dos edifícios públicos, a disponibilidade de recursos financeiros é reduzida. Se o projeto, por um lado, deve atender às condições de conforto térmico e luminoso, por outro pode contribuir para minimizar os gastos excessivos com energia elétrica.

Quantificar a ventilação é importante para o projeto arquitetônico, a fim de informar aos projetistas o valor médio da velocidade do ar nos interiores das construções em relação ao vento externo disponível. As aberturas para ventilação podem também ser localizadas no nível do telhado ou bem acima dele, na forma de captadores de vento⁵ (BITTENCOURT, 2006). O autor sugere também que, quando possível, gelsias e venezianas móveis se constituem em soluções indicadas para janelas de construções em climas quentes e úmidos, devido a possibilidade de ajustes apropriados para o controle da privacidade, vento, chuvas, raios solares e iluminação natural. Esquadrias basculantes com folhas de venezianas são também apropriadas, pois as venezianas inclinam em função da posição da folha da janela.

Os dados climáticos do local onde será inserido o projeto arquitetônico é também um dos fatores primordiais, pois a partir deles pode-se verificar, através da carta bioclimática, quais as melhores estratégias a serem adotadas.

Conforme já mencionado na presente dissertação, foi elaborado um estudo preliminar de um museu de paleontologia para o município de Maravilha – AL, onde foram aplicados os princípios de sustentabilidade estudados com a finalidade de investigar as dificuldades práticas para a produção de uma arquitetura com um maior grau de sustentabilidade, ou seja, adaptada ao clima e com menor desperdício dos recursos naturais.

Devido a escassez de dados do município de Maravilha, foram utilizados os dados climáticos do município de Pão de Açúcar, que também faz parte da mesorregião do sertão alagoano, caracterizado, também, com um clima semiárido.

⁵ São utilizados há vários séculos em regiões com clima quente e seco no Oriente Médio. Os dutos constituídos pelas torres são utilizados para diminuir a quantidade de poeira e resfriar o ar que será redirecionado para o interior da edificação, por meio de potes com água e tecidos umedificados (BITTENCOURT, 2006).

De acordo com Passos (2009), a partir da análise de dados meteorológicos de uma série histórica (1997-2007) de Pão de Açúcar obteve-se uma variação da temperatura do ar entre 23,6 °C a 32,6 °C, uma amplitude térmica sazonal de 8,1 °C, amplitude térmica diária igual a 13,4 °C, precipitação variando entre 13 mm e 100 mm, umidade relativa do ar de 53,6% a 85%, velocidade dos ventos de 1,7 m/s a 2,9 m/s e uma direção predominante dos ventos sudeste. A autora sugere “estratégias baseadas na análise dos dados do Ano Climático de Referência⁶ da cidade, inseridos na carta bioclimática de Givoni (1992), através do *software* ANALYSIS BIO (LABEEE, 2007). Os resultados da análise do Ano Climático de Referência no programa mostraram que cerca de 70% das estratégias recomendadas para a cidade são destinadas a amenizar o desconforto por calor. Por isso, para análise dos critérios de uso das estratégias foram utilizados dados horários disponíveis dentro do período mais quente na cidade (dezembro, janeiro, fevereiro e março)”.

A seguir será mostrada a carta bioclimática gerada para o município de Pão de Açúcar:

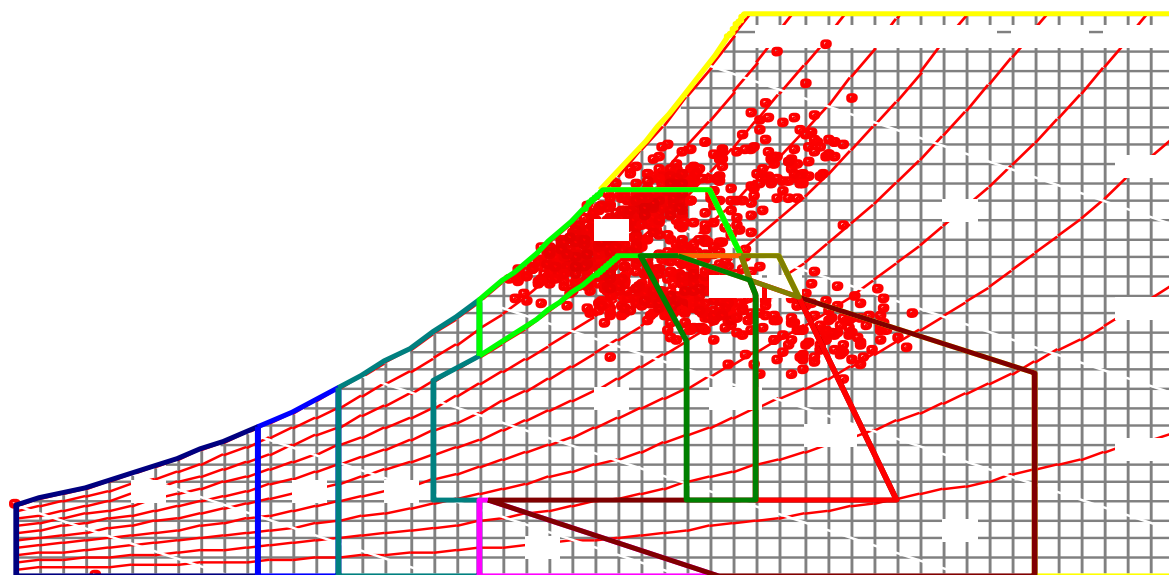


Figura 31: Carta Bioclimática gerada para Pão de Açúcar contendo dados do ano climático de referência determinado

Fonte: Passos, 2009

Segundo a Carta Bioclimática gerada para Pão de Açúcar, 85,9% das horas durante o ano provocam o desconforto por calor e apenas 13,7% apresentam conforto térmico. Já o desconforto provocado pelo frio foi mínimo, representando menos de 1% das horas. Para

⁶ Aqueles onde ocorreram com menor frequência temperaturas médias extremas, ou seja, altas ou baixas (PASSOS, 2009).

áreas em desconforto, as estratégias sugeridas foram ventilação (59,7%), massa térmica para resfriamento (22,6%), resfriamento evaporativo (25,8%) e ar condicionado (17,5%), conforme pode ser observado na tabela 09.

Tabela 09: Síntese das estratégias recomendadas para Pão de Açúcar, segundo a Carta Bioclimática de Givoni

Conforto			13.7%
Desconforto	Calor	Ventilação	59.7%
		Massa térmica p/ Resfriamento	22.6%
		Resfriamento Evaporativo	25.8%
		Ar-condicionado	17.5%
	Frio		0.09%

Fonte: Passos, 2009

Algumas das estratégias bioclimáticas para a cidade de Pão de Açúcar apresentadas por Passos (2009) divergem das propostas pela NBR 15.220-3 (ABNT, 2005).

Segundo o Zoneamento Bioclimático Brasileiro, em Alagoas a maioria das cidades cujos climas foram classificados fazem parte da Zona Bioclimática 8 (Ver figura 32).

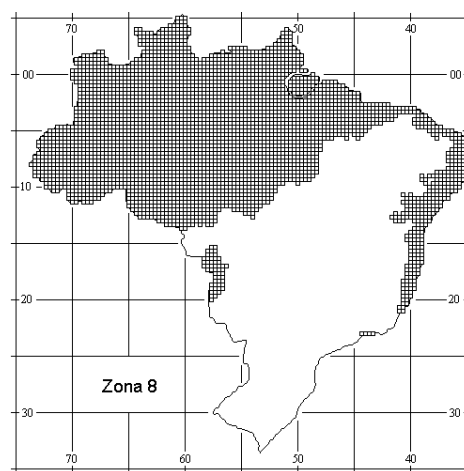


Figura 32: Zona Bioclimática 8

Fonte: http://www.labee.ufsc.br/conforto/textos/termica/parte3_SET2004.htm

De acordo com a NBR 15220 -3 (Zoneamento Bioclimático Brasileiro), as diretrizes para a Zona Bioclimática 8 são:

- Aberturas Grandes para ventilação e Sombreamento dessas aberturas.
- Os tipos de vedações externas são parede e cobertura leves e refletoras, mas a norma cita que, apesar das coberturas com telha de barro sem forro não atender a esses critérios, poderão ser aceitas na Zona 8, desde que as telhas não sejam pintadas ou esmaltadas.

- No verão, a estratégia de condicionamento térmico passivo indicada é a ventilação cruzada permanente, mas a norma afirma que o condicionamento passivo será insuficiente durante as horas mais quentes.

As estratégias de condicionamento térmico para a cidade de Pão de Açúcar, segundo o Zoneamento Bioclimático Brasileiro são:

- Desumidificação dos ambientes

As sensações térmicas são melhoradas através dela. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.

- Ventilação cruzada

Obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos.

- Resfriamento artificial

Será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por calor.

Passos (2009) verificou que há estratégias recomendadas no Zoneamento proposto pela NBR 15.220-3 (ABNT, 2005) que não estão de acordo com a análise dos dados feitos para a cidade de Pão de Açúcar, como pode ser observado no quadro 14.

Quadro 14: Contradições entre a NBR 15.220-3 (ABNT, 2005) X Passos (2009)

NBR 15.220-3	Passos (2009)
Desumidificação do ar	Constata-se que o clima de Pão de Açúcar apresenta, ao longo do ano, índices de umidade relativa do ar média que podem chegar aos 53%. Nestes casos, a desumidificação do ar é desnecessária na cidade. Pelo contrário, conforme mostraram as estratégias apontadas através da Carta Bioclimática de Givoni (1992), o resfriamento evaporativo é indicado para o período mais seco em que ocorre desconforto térmico por calor na cidade.
Ventilação cruzada	A ventilação não é a estratégia mais indicada em todos os períodos de desconforto por calor na cidade, sendo assim, no verão, quando a temperatura externa for maior que a interna, outras estratégias podem ser mais eficientes para a obtenção do conforto térmico, como, por exemplo, o resfriamento evaporativo.

Fonte: NBR 15.220-3 (ABNT, 2005), Passos (2009)

Segundo a autora, é necessário “definir parâmetros de conforto térmico mais próximos à realidade dos climas quentes, para que a escolha das estratégias a serem adotadas nos projetos possa ser apoiada numa análise mais segura acerca das preferências térmicas dos usuários”.

As estratégias bioclimáticas utilizadas no museu de paleontologia foram baseadas na síntese das estratégias bioclimáticas recomendadas para a cidade de Pão de Açúcar, que foram o uso de ventilação, massa térmica para resfriamento, resfriamento evaporativo, sombreamento e proteção contra as chuvas, conforme mostra o quadro 15.

Quadro 15: Síntese das estratégias bioclimáticas recomendadas para a cidade de Pão de Açúcar

Estratégias para Pão de Açúcar	
Ventilação Diurna	Abril a agosto (SE) regulável
Ventilação Noturna	Outubro a Março (SE) regulável
Massa Térmica para resfriamento	Em ambientes de uso diurno
Resfriamento Evaporativo	Sim
Sombreamento	Todo o ano
Proteção contra as chuvas	Abril a agosto

Fonte: Passos (2009)

A seguir, tais estratégias serão detalhadas e mostradas conforme sua aplicação no museu de paleontologia.

a) Ventilação

De acordo com Andrade (2009), a ventilação é uma estratégia de resfriamento, de perda de calor de um ambiente através da renovação do ar. Permitindo aos ocupantes de um espaço, atingir a sensação de conforto, através do aumento das trocas por convecção na superfície do corpo.

Givoni e Milne (1979 *apud* ANDRADE, 2009), afirmam que “quando tratam da estratégia da ventilação, relatam que, obviamente, o limite máximo da velocidade de ar confortável é muito diferente de um escritório para uma fábrica, onde os parâmetros do tipo de atividade desenvolvida levam em consideração o próprio limite estabelecido para utilização da ventilação natural. Esta é uma observação que demonstra que os parâmetros da velocidade do ar estão interligados com outros parâmetros, que são também responsáveis pelo conforto dos

ocupantes de um ambiente. E que estes não podem ser desconsiderados no projeto, mesmo não estando aparentemente relacionados com a definição da envoltória da edificação”.

Alguns pesquisadores (GIVONI; MILNE, 1979 *apud* ANDRADE, 2009) afirmam que para regiões quentes e secas deve haver a restrição à ventilação diária, recomendando janelas de tamanho mínimo necessário, para que, durante o dia, a temperatura interna da edificação mantenha-se em patamar inferior à externa. Segundo o estudo de Passos (2009) para a cidade de Pão de Açúcar (que também apresenta um clima quente e seco), deve-se “aproveitar a ventilação natural no interior dos ambientes mediante a disposição de aberturas para a direção predominante dos ventos (Sudeste), com exceção dos períodos de outubro a março quando as temperaturas externas são maiores que as internas (nestes casos, recomenda-se a utilização de condicionadores de ar no período da tarde)”. Recomenda-se o uso de esquadrias que permitam o controle da entrada de ar por parte dos usuários, como, por exemplo, as venezianas.

No Estudo Preliminar do museu de paleontologia, as esquadrias utilizadas são de madeira. Segundo Siqueira (2009), elas são as mais adequadas ao clima quente e seco e o consumo de energia para fabricá-las é cinco mil vezes menor do que o de uma esquadria de alumínio.

As janelas escolhidas para o projeto do museu seriam venezianas de madeira, mas, pelo fato desta esquadria não ser considerada como abertura na Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, foram colocadas janelas de madeira com vidro. As janelas altas (dos banheiros e vestiários) não terão a parte de vidro móvel, as demais terão, como poderá ser observado no exemplo da figura 33.



Figura 33: Veneziana de madeira com vidro móvel
Fonte: A autora

A figura 34 ilustra como seria a parte móvel do vidro nas janelas do Museu de Paleontologia:



Foto 34: Veneziana com vidro
 Fonte: <http://persolly.com.br/html/veneziana.html>

Na figura 35 pode ser observada algumas dessas aberturas em planta baixa.

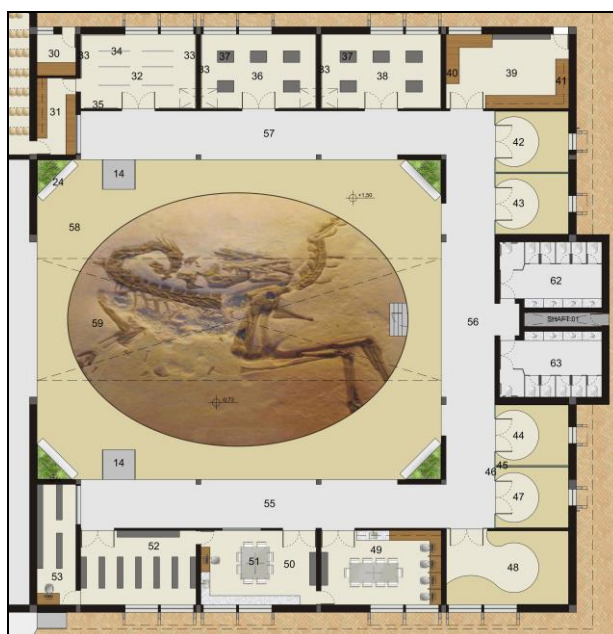


Figura 35: Planta Baixa do lado direito do museu de paleontologia
 Fonte: A autora (ver Apêndice)

Outra forma de aproveitamento da ventilação natural adotada no museu foi o uso dos captadores de vento, conforme mostram as figuras 36 e 37.

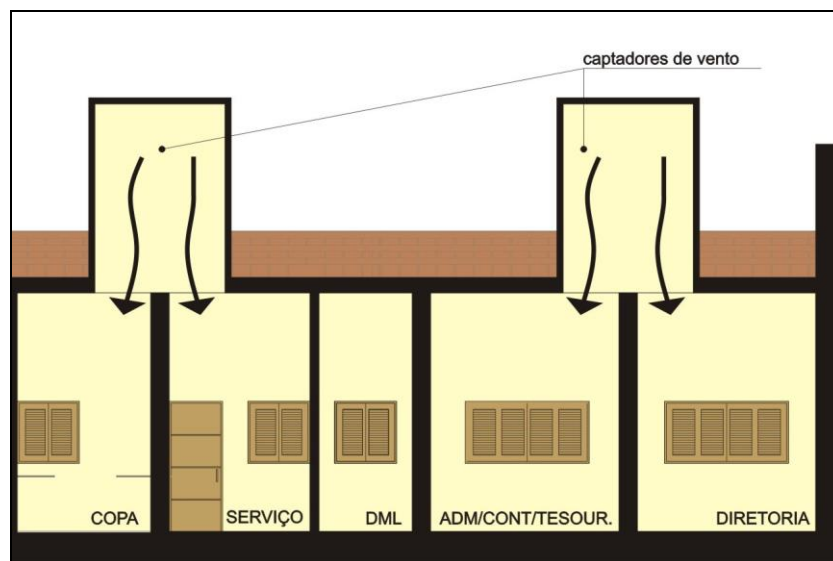


Figura 36: Captador de vento, parte integrante do Corte CC'
Fonte: A autora (ver Apêndice)



Figura 37: Captador de vento, parte integrante do Corte BB'
Fonte: A autora (ver Apêndice)

Segundo Andrade (2009), o ar condicionado não faz parte de uma estratégia relacionada com uma preocupação com o projeto bioclimático, retratando uma condição climática que não consegue ser atendida por nenhuma estratégia de resfriamento natural ou pela própria ausência de ventos. Segundo a autora, deve-se buscar o projeto bioclimático, em qualquer clima e região, para amenizar as condições climáticas externas, mesmo que o projeto não consiga responder por todas as solicitações. A importância desta preocupação encontra-se na minimização de dispêndios de energia e no esforço de atingir condições ideais de conforto.

b) Massa Térmica para Resfriamento

Segundo Andrade (2009), o efeito de capacidade térmica da massa térmica para resfriamento também é conhecido por Inércia Térmica⁷. A performance da edificação depende da dosagem e distribuição adequada destas propriedades e do período de utilização dos ambientes construídos, salientando a importância, na fase de projeto, do atendimento destes requisitos para obtenção de conforto.

Rogers (1964 *apud* ANDRADE, 2009) salienta a importância do cuidado nas condições de projeto e exemplifica a utilização de uma parede de maior massa e o seu período de ocupação em salas de aula ou escritório, até o final da tarde, onde o pico da carga de calor, devido ao retardamento térmico de sua penetração, dar-se-á somente a noite, fato este que poderá até dispensar a utilização do ar condicionado durante o dia.

“Pode-se pensar que a solução apropriada encontra-se na adequação da escolha do material a ser utilizado na envoltória da edificação, de maneira que respondam às exigências de resfriamento e aquecimento, próprias ao clima da região. A aplicação prática destes conceitos deve sofrer variações, e a experimentação seria uma forma de constatar o comportamento de sistemas construtivos comuns utilizados nesta região e confirmar as recomendações presentes na carta bioclimática adotada, ao ser aplicada para o clima em estudo” (ANDRADE, 2009).

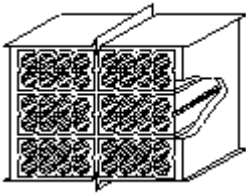
Watson e Labs (1992 *apud* BATISTA, 2006) afirmam que “quanto aos materiais construtivos empregados, deve-se optar por elementos com elevada capacidade térmica para controlar o fluxo de calor através do envoltório da edificação. Além da capacidade térmica, a condutividade térmica e a espessura do material estão diretamente relacionados ao atraso térmico e amortecimento das temperaturas internas em relação às temperaturas externas”.

Para Pão de Açúcar, Passos (2009) constatou que o uso de massa térmica é recomendado em ambientes de uso diurno, devido à temperatura externa máxima ser menor que 36°C em 73,6% dos casos e, além disto, a amplitude térmica diária média na cidade é igual a 13,4°C.

⁷ A Inércia Térmica é responsável pelo retardamento da transferência de calor externo para dentro da edificação, pois utiliza grande parte deste calor para aquecimento da própria massa de sua envoltória, mantendo o ambiente interno com a temperatura mais baixa (menor pico) durante o dia. À noite, o calor armazenado na massa por reirradiação transfere-se tanto para o ambiente externo quanto para o interno. Pode-se dizer que ocorre mudança do fluxo de troca de calor (resfriamento), no final do dia. A temperatura comparativamente eleva-se à noite, internamente, mas nunca atinge o valor máximo externo, diminuindo, desta forma, a amplitude térmica interna. (ANDRADE, 2009).

Nas paredes externas adotadas para o museu, o atraso térmico é de 10,8 horas, conforme pode ser observado na tabela 10, que especifica o material da parede, sua espessura, transmitância e capacidade térmica.

Tabela 10: Material proposto para as paredes externas do museu de paleontologia

Parede	Descrição	Transmitância térmica U [W/(m ² .K)]	Capacidade térmica CT [kJ/(m ² .K)]	Atraso térmico ϕ [horas]
	Parede dupla de tijolos de 8 furos circulares, assentados na maior dimensão. Dimensões do tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm. Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm. Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm. Espessura total da parede: 46,0 cm	0,98	368	10,8

Fonte: NBR 15.220-3 (ABNT, 2005)

As figuras 38 e 39 exemplificam a aplicação desta estratégia no museu, onde as paredes externas da edificação possuem 46 centímetros de espessura.

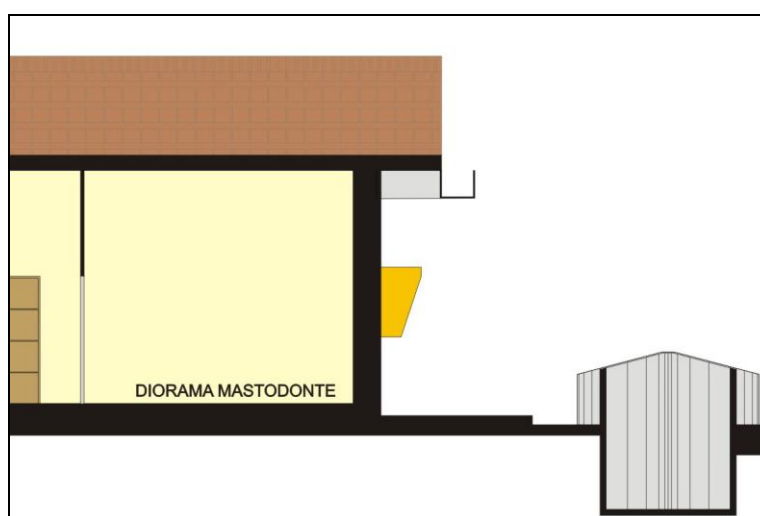


Figura 38: Parte integrante do Corte CC'
Fonte: A autora (ver Apêndice)

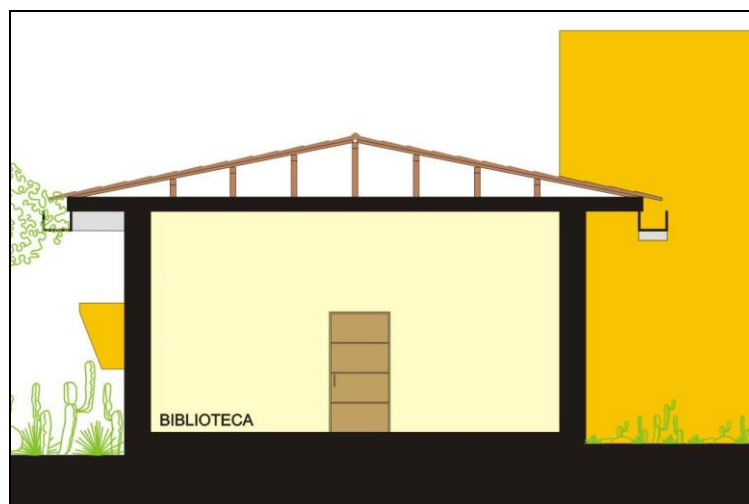


Figura 39: Parte integrante do Corte AA'
Fonte: A autora (ver Apêndice)

Segundo Givoni (1994 *apud* BATISTA, 2006), caso o edifício possua um bom isolamento térmico, materiais constituintes com densidade e condutividade térmica elevadas e seja bem sombreado, é possível reduzir a amplitude da variação de temperatura diurna em relação ao exterior, diminuindo também a temperatura máxima interna com o uso da ventilação noturna. Nesse caso, o uso da massa térmica para resfriamento também pode ser classificado como uma estratégia de condicionamento passivo. Afirma também que o desempenho térmico de uma edificação em regiões de clima quente e seco deve promover atraso térmico durante o dia no verão e resfriamento noturno nas noites (GIVONI, 1994, *apud* PASSOS, 2009).

Outro aspecto importante relacionado a esta estratégia é o uso de cores claras nas fachadas. Bansal *et al* (1992 *apud* BATISTA, 2006) afirmam que as cores das superfícies externas, influenciam diretamente as temperaturas no interior dos ambientes. “Recomenda-se que sejam empregadas cores claras e reflexivas nas fachadas para minimizar o aquecimento das superfícies e, por conseguinte, a transmissão do fluxo de calor para o interior da edificação” (GIVONI, 1997 *apud* BATISTA, 2006).

As cores utilizadas nas fachadas do museu foram a branca (que possui absorvância de 0,20 para a radiação solar) e a amarela (com absorvância de 0,30), como mostram as figuras 40 e 41.



Figura 40: Fachada Oeste
Fonte: A autora (ver Apêndice)



Figura 41: Fachada Sul
Fonte: A autora (ver Apêndice)

c) Resfriamento Evaporativo

Koenigsberger *et al* (1977 *apud* ANDRADE, 2009), afirmam que é uma estratégia destinada a climas quentes e secos, onde o aumento da umidade não se torna inconveniente, constatando ser um fenômeno que se utiliza com êxito para o resfriamento do ar, melhorando as condições de forma geral.

O resfriamento evaporativo pode ser realizado através da utilização de vegetação em jardins internos, coberturas vegetais, fontes e espelhos d'água. Entretanto, conforme Givoni e Milne (1979 *apud* ANDRADE, 2009), esta é uma estratégia que, apesar de destinar-se a regiões quentes e secas, a disponibilidade de água em abundância é uma questão limitante, sendo sua utilização assim restringida.

Morais (2004 *apud* PASSOS, 2009) constatou que a utilização de coberturas verdes é bastante eficaz na resistência às variações térmicas diárias. Esta pode representar um decréscimo de até 5°C na temperatura do ar nos ambientes internos e constituir-se em estratégia interessante se adequadamente aplicadas às edificações em climas quentes e secos.

No museu de paleontologia foram utilizados para a estratégia de resfriamento o uso de coberturas vegetais e os jardins internos, conforme indica as figuras 42 e 43.

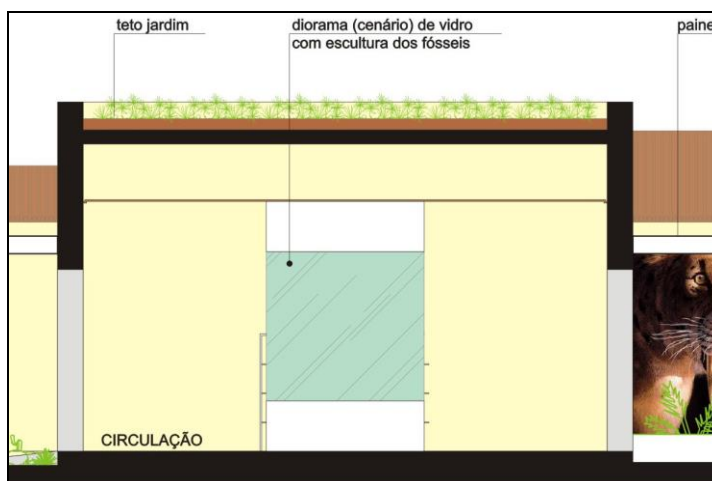


Figura 42: Cobertura vegetal (teto jardim), parte integrante do Corte DD'
Fonte: A autora (ver Apêndice)



Figura 43: Jardim interno, parte integrante do Corte DD'
 Fonte: A autora (ver Apêndice)

As fontes e espelhos d'água não foram utilizadas devido a escassez de água apresentada no clima semiárido, conforme justifica Givoni e Milne (1979 *apud* ANDRADE, 2009) anteriormente.

O uso do resfriamento evaporativo provoca a redução da temperatura do ar a partir da evaporação da água e pode acontecer de forma direta ou indireta. Denomina-se resfriamento direto quando o ar resfriado por evaporação é introduzido diretamente no ambiente interno. Por outro lado, quando há o resfriamento de algum elemento da edificação, como, por exemplo, a cobertura diz-se que houve resfriamento indireto (GIVONI, 1994 *apud* PASSOS, 2009).

Outro efeito favorável desta estratégia é observado nas coberturas de telhas cerâmicas, quando ganham umidade, através da chuva ou, diariamente, pela própria condensação da umidade do ar, quando a atmosfera reduz sua temperatura por radiação durante a noite. Este processo é relatado e estudado por Bueno *et al* (1994 *apud* ANDRADE, 2009) na superfície da cobertura de telha cerâmica que, ao perder energia por radiação durante a noite, atinge temperatura menor que a do ar, condensando a umidade junto a sua superfície, formando, um gradiente de concentração de vapor, de modo que a telha passa a absorvê-lo. Pela manhã, a telha apresenta alta umidade em seu interior e, quando a radiação solar incide sobre sua superfície, o processo inverte-se. Assim, pelo processo de evaporação da água, a energia solar é gasta com calor latente, reduzindo consideravelmente a temperatura da telha. Este processo é testado, pelos autores, através de experimentos com dois tipos de telha cerâmica: uma impermeabilizada (onde não ocorre troca de umidade) e outra ao natural. Comprovadamente, na prática, esta última foi responsável por um comportamento térmico mais favorável do que as impermeabilizadas. Concluem que, para regiões quentes, deve-se utilizar telhas cerâmicas, pois reduzem problemas térmicos das edificações, apresentando-se como mais adequada, quanto ao aspecto térmico, em relação às telhas menos permeáveis, como as de fibrocimento, porém, desde que não sejam impermeabilizadas ou vitrificadas.

A telha cerâmica ao natural foi utilizada no museu, que é também uma das recomendações da NBR 15220-3 (ver tabela 11).

Tabela 11: Proposta para parte da cobertura do museu de paleontologia

Cobertura	Descrição	Transmitância térmica U [W/(m ² .K)]	capacidade térmica CT [kJ/(m ² .K)]	atraso térmico ϕ [horas]
	Cobertura de telha de barro com laje de concreto de 25 cm Espessura da telha: 1,0 cm	1,75	568	9,3

Fonte: NBR 15220-3 (2005)

d) Sombreamento e proteção contra as chuvas

“O sombreamento é uma barreira que controla a recepção da radiação solar, contrariamente à insolação, sendo uma estratégia importante para evitar o aquecimento de um ambiente, coincidindo com as zonas de resfriamento” (ANDRADE, 2009).

Um dos elementos utilizados para proteger as fachadas do museu de paleontologia contra a radiação foi o protetor solar (brise soleil), conforme mostra a figura 44 e 45.

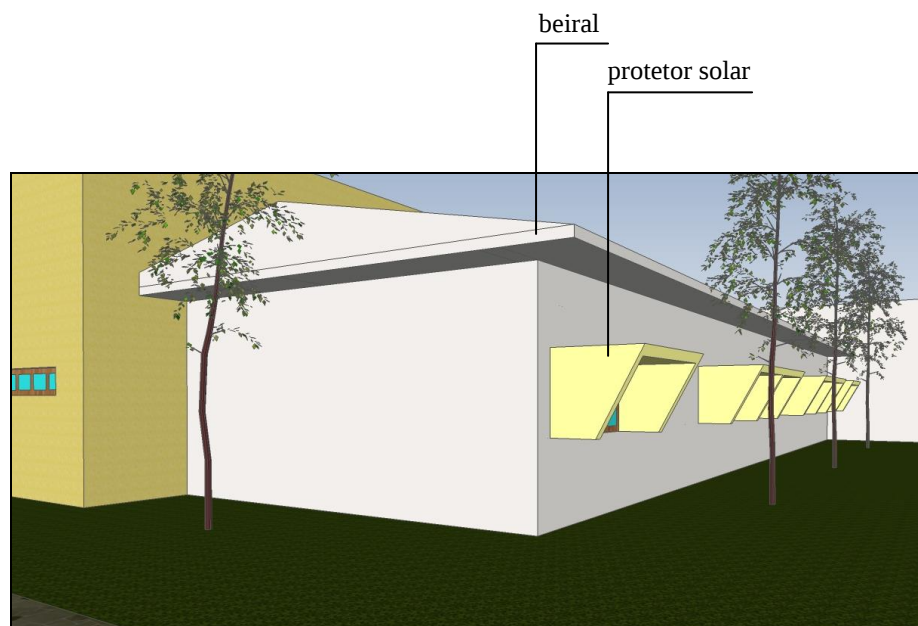


Figura 44: Perspectiva mostrando a estratégia de sombreamento no museu
Fonte: A autora

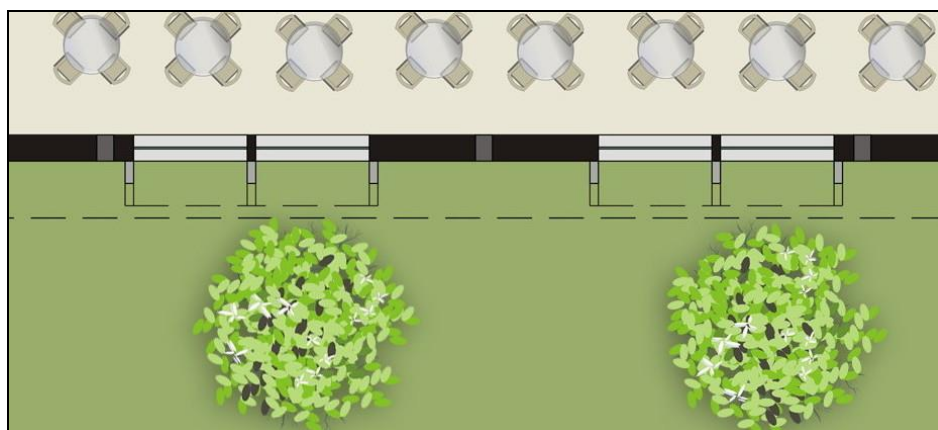


Figura 45: Planta Baixa mostrando a proteção solar no museu
Fonte: A autora

A seguir serão mostradas as cartas solares (figuras 46, 48, 50, 52) da insolação nas fachadas do museu, assim como a máscara de sombra dos protetores solares propostos (figuras 47, 49, 51, 53). Em seguida serão apresentadas as tabelas, exemplificando o sombreamento gerado pelos protetores nos solstícios de verão e inverno e nos equinócios de outono e primavera (quadros 16, 17, 18, 19).

- Fachada Norte

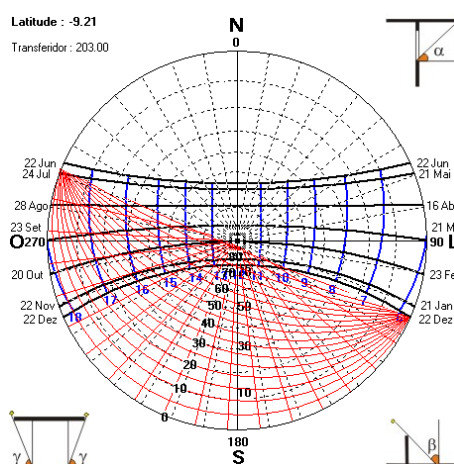


Figura 46: Insolação na Fachada Norte
Fonte: Software Sol-Ar⁸

⁸ Pode ser baixado gratuitamente no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (<http://www.labee.ufsc.br/software/analysisSOLAR.htm>).

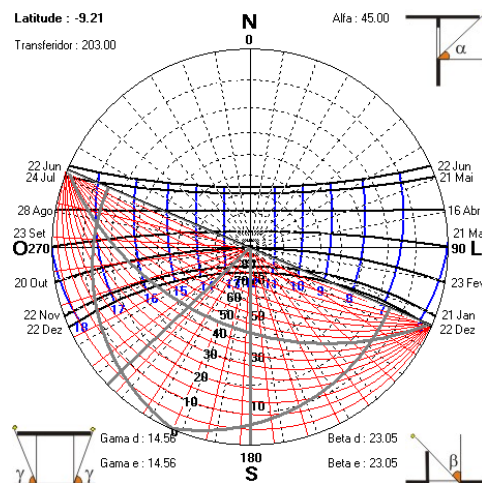
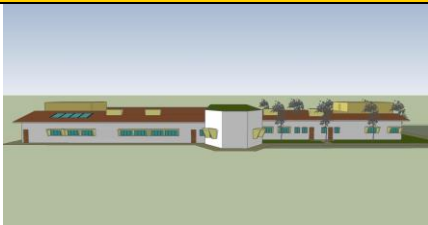
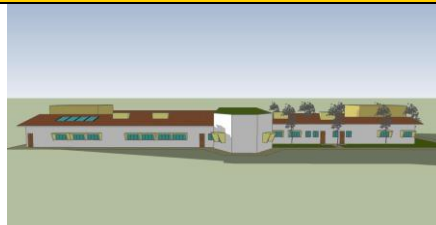


Figura 47: Máscara de sombra dos protetores solares
Fonte: Software Sol-Ar

De acordo com a figura 46, a fachada Norte, no verão, recebe sol a partir das 10:00 horas e durante toda a tarde. No inverno, recebe sol durante todo o dia e nos equinócios de outono e primavera recebe sol a partir das 12:30 horas e durante toda a tarde. Para exemplificar, segue no quadro 16 a insolação da fachada Norte no museu de paleontologia.

Quadro 16: Insolação na Fachada Norte

HORA	SOLSTÍCIO DE VERÃO 22/12	SOLSTÍCIO DE INVERNO 22/06	EQUINÓCIO DE OUTONO 21/03 EQUINÓCIO DE PRIMAVERA 23/09
6			
7			
8			

9			
10			
11			
12			
13			

14			
15			
16			
17			

- Fachada Sul

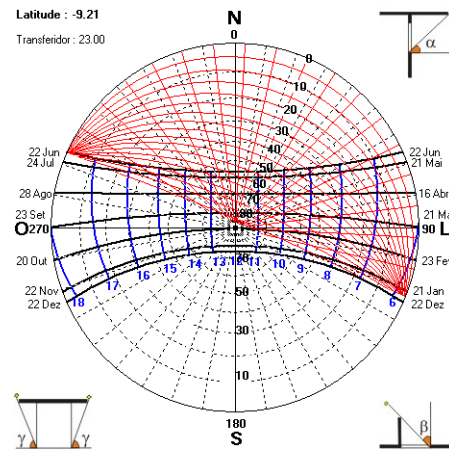


Figura 48: Insolação na Fachada Sul
Fonte: Software Sol-Ar

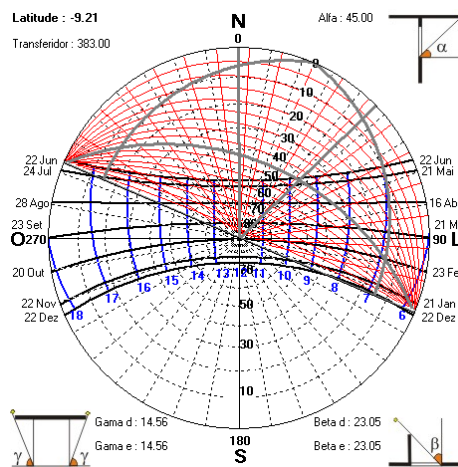
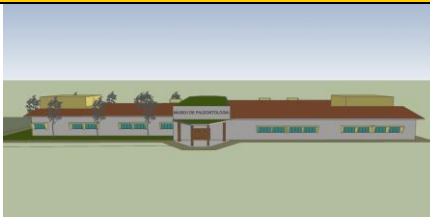


Figura 49: Máscara de sombra dos protetores solares
Fonte: Software Sol-Ar

No verão, a fachada sul recebe sol durante todo o dia. No inverno, recebe sol até às 16:30 horas e nos equinócios, até às 12:30 horas (ver quadro 17).

Quadro 17: Insolação na Fachada Sul

HORA	SOLSTÍCIO DE VERÃO 22/12	SOLSTÍCIO DE INVERNO 22/06	EQUINÓCIO DE OUTONO 21/03 EQUINÓCIO DE PRIMAVERA 23/09
6			
7			
8			

9			
10			
11			
12			
13			

14			
15			
16			
17			

- Fachada Leste

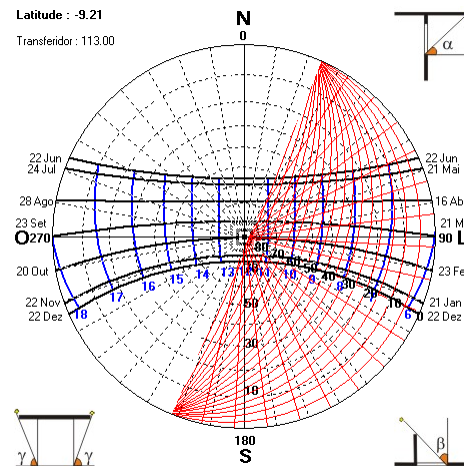


Figura 50: Insolação na Fachada Leste
Fonte: Software Sol-Ar

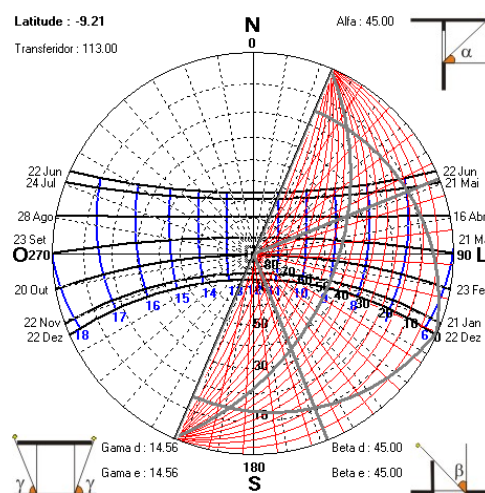


Figura 51: Máscara de sombra dos protetores solares
Fonte: Software Sol-Ar

No verão, a fachada leste recebe insolação até às 12:10 horas. No inverno, até 10:50 horas e nos equinócios até às 11:25 horas. Ver quadro 18.

Quadro 18: Insolação na Fachada Leste

HORA	SOLSTÍCIO DE VERÃO 22/12	SOLSTÍCIO DE INVERNO 22/06	EQUINÓCIO DE OUTONO 21/03 EQUINÓCIO DE PRIMAVERA 23/09
6			
7			
8			

9			
10			
11			
12			
13			

14			
15			
16			
17			

- Fachada Oeste

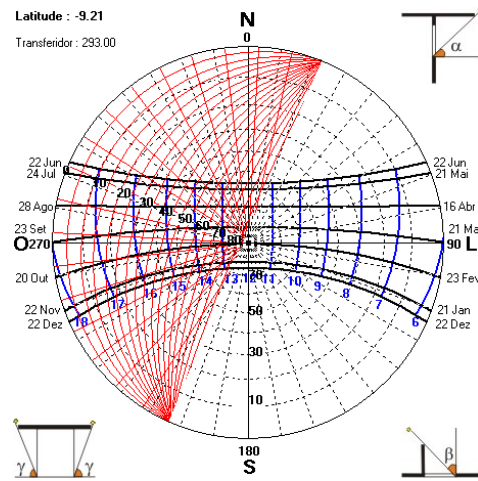


Figura 52: Insolação na Fachada Oeste
Fonte: Software Sol-Ar

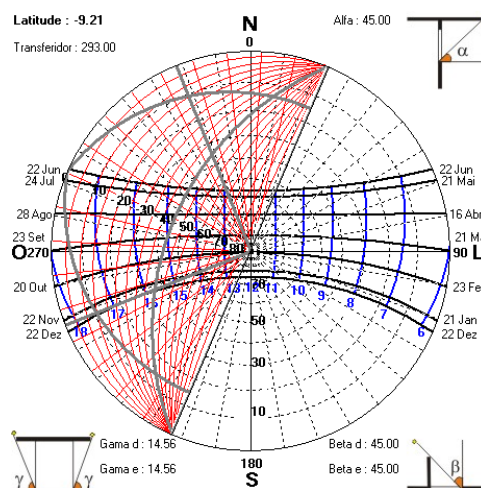
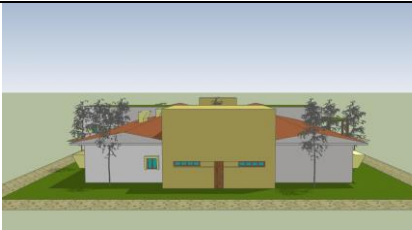
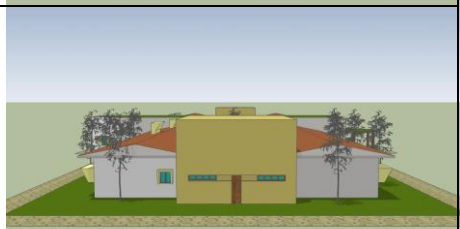
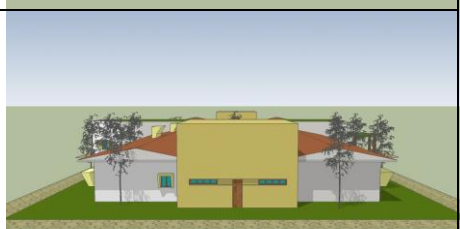


Figura 53: Máscara de sombra dos protetores solares
Fonte: Software Sol-Ar

O período de insolação da fachada oeste no verão começa às 13:00 horas e segue por toda a tarde. No inverno, recebe sol a partir das 11:10 horas e nos equinócios a partir do meio dia (ver quadro 19).

Quadro 19: Insolação na Fachada Oeste

HORA	SOLSTÍCIO DE VERÃO 22/12	SOLSTÍCIO DE INVERNO 22/06	EQUINÓCIO DE OUTONO 21/03 EQUINÓCIO DE PRIMAVERA 23/09
6			
7			
8			

9			
10			
11			
12			
13			

14			
15			
16			
17			

A vegetação também é um fator importante na estratégia de sombreamento. Segundo Givoni (1997 *apud* BATISTA, 2006), o seu uso nas áreas externas adjacentes ou integradas às edificações (pátios) proporciona o sombreamento da edificação e de suas aberturas, possibilitando a diminuição da temperatura no exterior próximo a edificação.

No estudo preliminar do museu foram propostas espécies que não necessitam de muita quantidade de água na sua manutenção, como pau de tucano (ver figura 54), que seriam utilizadas no sombreamento do pátio, segundo Siqueira (2009), possui copa alta, baixa produção de frutos e baixa queda de folhas.



Figura 54: Pau de tucano
Fonte: Siqueira (2009)

Outras espécies utilizadas são o ipê amarelo, ipê branco (ver figura 55), grama amendoim e cactos, conservando também algumas árvores existentes no terreno.



Figura 55: Ipê branco
Fonte: Siqueira (2009)

A figura 56 mostra a vegetação como estratégia de sombreamento do museu.

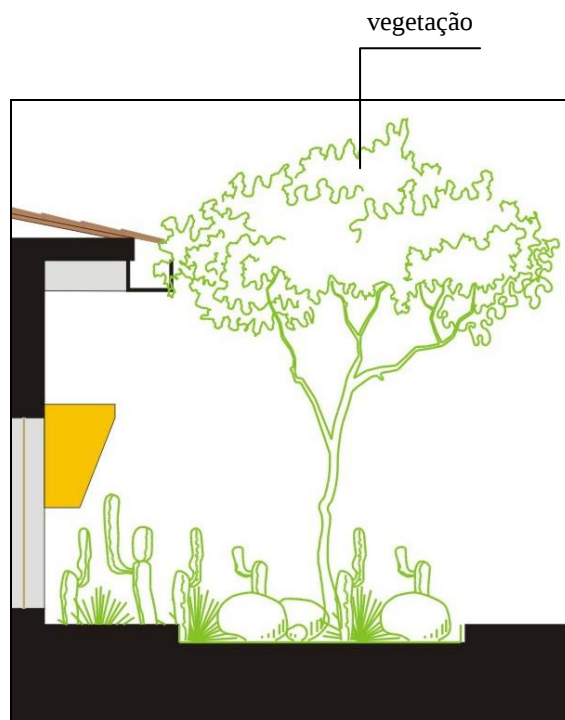


Figura 56: Estratégia de sombreamento, parte integrante do Corte AA'
 Fonte: A autora (ver Apêndice)

4.3.1 O consumo de energia e a minimização do uso de água no museu de paleontologia

a) Energia:

- Energia Solar fotovoltaica

Inicialmente, pensou-se na utilização da energia solar fotovoltaica no estudo preliminar para o museu, mas, de acordo com a pesquisa realizada, chegou-se a conclusão de que seria totalmente inviável o uso desta energia alternativa. Foram feitos dois orçamentos, sendo um propondo a geração de energia fotovoltaica para toda a edificação e outro apenas para os dois condicionadores de ar do auditório (será melhor especificado na página 182 da presente dissertação), iluminação externa e para as bombas que levarão a água de chuva e a água da concessionária local para a edificação.

Segue nas tabelas 12, 13, 14 e 15 o consumo energético, por mês, dos equipamentos e o valor dos orçamentos, segundo a Comercial Redimax⁹.

⁹ Orçamento fornecido por Marcos Rodrigues, da empresa Comercial Redimax, em São Paulo (Setembro de 2009).

Tabela 12: Consumo dos equipamentos para a geração da energia fotovoltaica

Quantidade	Equipamento ou lâmpada	Quantidade de horas diárias	Consumo total dos equipamentos (watts)
04	televisão	6	1440
04	Geladeira duplex	8	4000
11	computadores com impressora	8	16.000
06	computadores sem impressora	8	9600
416	lâmpadas fluorescentes de 20 W(cada)	4	41600
02	ar condicionado	8	2720
04	lâmpadas fluorescentes para postes de 60 W (cada)	4	960
04	bombas com certificação A do PROCEL	2	12000
Total			88320

Fonte: Comercial Redimax, São Paulo, 2009.

De acordo com a Comercial Redimax, deveriam ser utilizadas 154 placas solares para a geração de energia de todo o museu, onde cada uma custa o equivalente a R\$ 2.300,00, totalizando R\$ 354.200,00. Mas, além das placas, devem ser acrescentados outros equipamentos, como pode ser observado na tabela 13.

Tabela 13: Orçamento 01

Quantidade	Equipamento	Valor unitário	Valor total
154	placas solares	R\$ 2.300,00	R\$ 354.200,00
31	Controladores de carga	R\$ 800,00	R\$ 24.800,00
150	Baterias de 150 Amperes (cada)	R\$ 760,00	R\$ 114.000,00
05	Inversores de 5000 W	R\$ 4.200,00	R\$ 21.000,00
Total			R\$ 514.000,00

Fonte: Comercial Redimax, São Paulo, 2009.

O custo para a utilização de energia solar fotovoltaica no museu de paleontologia seria de R\$ 514.000,00. Ainda de acordo com a Comercial Redimax, a manutenção das placas deveria ser feita a cada 3 meses, utilizando vaselina nos terminais das placas, custando em torno de R\$ 1.000,00. Afirma também que as baterias possuem, em média, uma vida útil de 4 anos, devendo ser trocadas ao término deste período.

Na tabela 14 será mostrado o consumo energético para o orçamento que utilizaria a energia solar fotovoltaica para os condicionadores de ar, bombas e iluminação externa, conforme citado anteriormente.

Tabela 14: Consumo dos equipamentos para a geração da energia fotovoltaica

Quantidade	Equipamento ou lâmpada	Quantidade de horas diárias	Consumo total dos equipamentos (watts)
02	ar condicionado	8	2720
04	lâmpadas fluorescentes para postes de 60 W (cada)	4	960
04	bombas com certificação A do PROCEL	2	12000
Total			15680

Fonte: Comercial Redimax, São Paulo, 2009.

No orçamento 02, deveriam ser utilizadas 28 placas, sendo o custo total para esse sistema de R\$ 98.880,00, conforme indica a tabela 15.

Tabela 15: Orçamento 02

Quantidade	Equipamento	Valor unitário	Valor total
28	placas solares	R\$ 2.300,00	R\$ 64.400,00
06	Controladores de carga	R\$ 800,00	R\$ 4.800,00
28	Baterias de 150 Amperes (cada)	R\$ 760,00	R\$ 21.280,00
02	Inversores de 5000 W	R\$ 4.200,00	R\$ 8.400,00
Total			R\$ 98.880,00

Fonte: Comercial Redimax, São Paulo, 2009.

O fornecedor afirma que o uso de energia solar fotovoltaica para equipamentos que possuem motor é inviável, pois estes caracterizam-se pelo alto consumo no instante da partida. Aconselha o uso de equipamentos de baixo consumo e luminárias a LED para a iluminação, pois gastam, em média, 80 % a menos de energia.

- Energia distribuída pela Companhia Energética de Alagoas (CEAL)

O terreno no qual foi proposto o museu de paleontologia dista cerca de um quilômetro da rede de distribuição de energia elétrica local. Segundo a CEAL¹⁰, a estimativa de custo para o fornecimento a cada 1 km de distribuição de energia seria de R\$ 17.487,45, conforme pode ser observado na tabela 16, com os materiais utilizados e com seus respectivos valores:

Tabela 16: Custo para fornecimento a cada 1 km de distribuição de energia

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UNID	QUANT	V.UNIT.	V.TOTAL (R\$)
P04-01	ALÇA PREF OLHAL P/CB CA-CAA 21-25MM2	UN	18	3,60	64,80
F06-01	ARRUELA QUAD AÇO ZINGADO 102X103X6MM F 18M	UN	48	0,34	16,32
S06-02	ARRUELA QUAD AL 18X50X50X3MM	UN	12	1,44	17,28
M04-01	CABO DE AL NU CAA 25MM2	KG	282	12,00	3.384,00
M06-01	CABO DE COBRE NU 25MM2 TMD	KG	4	25,00	100,00
E21-01	CAIXA PROT P/SECUND DE TRAFÓ DISTRIBUIÇÃO	UN	1	66,00	66,00
	CARTUCHO ESPLORASÃO VERMELHO	UN	6	2,40	14,40
E02-03	CHAVE FUSIVEL UNIP 15KV 100A 10KA BASE C	UN	6	96,00	576,00
G04-01	CONECTOR ESTRI CUNHA P/CB 39-25MM2 AT	UN	6	6,72	40,32
C04-01	CRUZETA QUADRADA CA T 1900MM	UN	16	43,20	691,20
F14-01	GANCHO OLHAL AÇO ZINCADO DIAM 19MM	UN	15	3,31	49,65
G10-01	GRAMPO LINHA VIVA P/CB CA/CAA/CU 21-198/21 – 78MM2	UN	3	12,00	36,00
F16-05	HAST TERRA AÇO COBREADO 12,98X2000M C/CONET	UN	1	11,04	11,04
I02-01	ISOLADOR DISCO VIDRO GARF-OLHAL 15KV 165X140	UN	18	30,00	540,00
I03-01	ISOLADOR PINO PORC HIT – TOP 15KV 100X120X25MM	UN	27	9,60	259,20
I03-03	ISOLADOR PINO VIDRO ANTI-POLUIÇÃO 15KV 146X220	UN	2	34,80	69,60
P10-21	LAÇO DE DISTRIBUIÇÃO PREF. P/CB CA 21MM2	UN	1	1,62	1,62
P10-23	LAÇO DE DISTRIBUIÇÃO PREF. P/CB CAA 25MM2	UN	24	1,35	32,40
F18-01	MANILHA SAPATILIA AÇO ZINCADO 100X20X16MM	UN	15	4,80	72,00
E07-01	PARA RAIOS DISTRIBUIÇÃO 12 KV 5KA 60HZ	UN	3	84,00	252,00
F22-06	PARAFUSO CAB QUADRADA AÇO ZINCADO 16X250MM	UN	18	2,59	46,62
F22-07	PARAFUSO CAB QUADRADA AÇO ZINCADO 16X300MM	UN	3	3,02	9,06
F22-09	PARAFUSO CAB QUADRADA AÇO ZINCADO 16X400MM	UN	2	3,89	7,78
S13-09	PARAFUSO CAB QUADRADA LIG AL 16X400MM	UN	4	10,08	40,32
F72-02	PARAFUSO RD AÇO ZINCADO 16X400MM	UN	2	4,61	9,22
S72-02	PARAFUSO RD LIG AL 16X400MM	UN	4	15,55	62,20
F23-01	PINO ISOLADOR AÇO ZINCADO M 16X294MM R25MM	UN	27	6,00	162,00
S15-01	PINO ISOLADOR LIG AL M 16X294MM R25MM	UN	2	33,12	66,24
F25-01	PORCA OLHAL AÇO ZINCADO P/PARAF. 16MM C. R. 500DAN	UN	15	3,31	49,65
C06-03	POSTE DE CA DT 11M/200daN	UN	8	474,00	3.792,00
C06-04	POSTE DE CA DT 11M/400daN	UN	5	717,60	3.588,00
TOTAL DE MATERIAIS					14.126,92
TOTAL DE HOMEM/HORA					3.360,53
TOTAL GERAL					17.487,45

Fonte: CEAL, 2009.

¹⁰ Dados fornecidos pelo funcionário da CEAL, Aloisio Lacerda, em Outubro de 2009.

Se, por exemplo, a distância do terreno fosse de 4 km, só precisaria multiplicar este valor (4 km) pelo total geral mostrado anteriormente (R\$ 17.487,45), encontrando um valor de R\$ 69.949,80 (4 x 17.487,45).

Após encontrar o total geral, é necessário somá-lo ao valor da subestação, como pode ser observado na tabela 17, que possui um custo total de R\$ 6.806,67.

Tabela 17: Custo adicional da subestação para a distribuição de energia elétrica

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UNID	QUANT	V. UNIT.	V. TOTAL (R\$)
F06-01	ARRUELA QUAD AÇO ZINGADO 102X103X6MM F 18M	UN	7	0,34	2,38
M06-01	CABO DE COBRE NU 25MM2 TMO	KG	4	25,00	100,00
E21-01	CAIXA PROT P/SEGUND DE TRAFO DISTRIBUIÇÃO	UN	1	66,00	66,00
E02-03	CHAVE FUSIVEL UNIP 15KV 100° BASE C	UN	6	96,00	576,00
C04-01	CRUZETA QUADRADA CA T 1900MM	UN	1	43,20	43,20
E25-12	DISJUNTOR TERM. MAGN. TRIPOLAR - 10 A 18 KA - 60A	UN	1	37,00	37,00
D01-02	ELO FUSIVEL DE DISTRIBUIÇÃO 2H	UN	3	1,32	3,96
G10-01	GRAMPO LINHA VIVA P/CB CAA/CU 21 - 198/21 - 78MM2	UN	3	12,00	36,00
F16-05	HASTE TERRA AÇO COBREADO 12,98X2000M C/CONET	UN	1	11,02	11,04
I03-01	ISOLADOR PINO PORC HIT - TOP 15 KV 100X120X25MM	UN	3	9,60	28,80
E07-01	PARA RAIO DISTRIBUIÇÃO 12KV 5KA 60HZ	UN	3	84,00	252,00
F22-06	PARAFUSO CAB QUADRADA AÇO ZINCADO 16X250MM	UN	2	2,59	5,18
F22-07	PARAFUSO CAB QUADRADA AÇO ZINCADO 16X300MM	UN	3	3,02	9,06
F23-01	PINO ISOLADOR AÇO ZINCADO M16X294MM R25MM	UN	3	6,00	18,00
F25-01	PORCA AZUL AÇO ZINCADO P/PARAF 16MM C R 500DAN	UN	15	3,31	49,65
E16-02	TRANSFORMADOR DIST TRIF 15 KV 30 KVA	UN	1	4.075,00	4.075,00
TOTAL DE MATERIAIS					5.313,27
TOTAL DE HOMEM / HORA					1.493,40
TOTAL GERAL					6.806,67

Fonte: CEAL, 2009.

Segundo os dados fornecidos pela CEAL, o valor para a geração de energia da concessionária local (para a distância de 1 km da localização do museu) seria de R\$ 24.294,12 (17.487,45 + 6.806,67), representando uma economia significativa em relação ao custo da energia solar fotovoltaica.

Em seguida, foi feita uma estimativa do consumo mensal de energia do museu, baseado na utilização dos equipamentos (ver tabela 18).

Tabela 18: Orçamento 02

Quantidade	Equipamento ou lâmpada	Quantidade de horas diárias	Consumo total dos equipamentos (watts)
04	televisão	6	442,00
04	geladeira duplex	08	218,40
11	computadores com impressora	8	1314,5
06	computadores sem impressora	8	436,80
416	lâmpadas fluorescentes de 20	4	1297,92

	W(cada)		
02	ar condicionado	8	1131
04	bombas com certificação A do PROCEL	2	504,00
Total			4902,62

Fonte: CEAL, 2009.

O preço da energia mensal para a média de consumo descrita anteriormente, seria de R\$ 2.469,93 e, acrescentando a contribuição da iluminação pública ficaria, em média, R\$ 2.483,15.

- Biogás

O biodigestor proposto para o museu seria para suprir a necessidade diária do cozimento de alimentos para 30 pessoas, entre elas, funcionários e visitantes.

Segundo Medeiros (2009), uma pessoa consome $0,27 \text{ m}^3$ de biogás por dia. Para 30 pessoas, a quantidade necessária seria de $8,10 \text{ m}^3$ ao dia. Nesta quantidade deve-se acrescentar uma margem de segurança de 10%, ficando o consumo médio final para as 30 pessoas em torno de $8,91 \text{ m}^3$ de biogás por dia.

Para saber qual seria a necessidade de esterco bovino utilizado para esta quantidade de pessoas, pode-se basear na seguinte regra de três:

25 Kg de esterco bovino	produzem	1 m^3 de biogás/dia
X m^3 de esterco	são produzidos por	total de gás/dia

Fonte: Medeiros (2009)

Onde, substituindo-se os valores, a quantidade de esterco bovino para a produção diária de $8,91 \text{ m}^3$ de biogás seria 222,75 kg. Para identificar quantos animais supririam a produção deste esterco, basta dividir a quantidade de esterco/dia por 20 kg (Ver regra de três a seguir). Baseado nisso, chega-se a conclusão de que são necessários 11 bovinos adultos para a quantidade de 222,75 kg de esterco/dia.

1 bovino adulto	produz	20 Kg de esterco/dia
Y animais	serão produzidos por	222,75 Kg de esterco/dia

Fonte: Medeiros (2009)

Para verificar o volume ideal no tipo de biodigestor proposto, utiliza-se a seguinte relação:

1,5 m ³ de biodigestor	→ produz	1,0 m ³ de biogás/dia
Z m ³ de biodigestor	→ serão produzidos por	total de biogás / dia

Fonte: Medeiros (2009)

Substituindo-se o total de biogás/dia por 8,91 m³ (ver relação a seguir), o volume total do biodigestor é 13,37 m³.

1,5 m ³ de biodigestor	→ produz	1,0 m ³ de biogás/dia
Z m ³ de biodigestor	→ serão produzidos por	8,91 m ³ de biogás/dia

Fonte: Medeiros (2009)

Para saber o dimensionamento do biodigestor do museu, segundo Medeiros (2009), usa-se a fórmula do cilindro:

$$V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H}{4} \text{ ou } H = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2}$$

Onde V significa volume, H a altura e D é o diâmetro, sendo o valor de π igual a 3,14. O diâmetro do biodigestor do museu (conforme representado na prancha 01/08 do estudo preliminar) é de 2,50 m. Para achar a altura, substitui-se na fórmula anterior.

$$H = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 13,37}{3,14 \cdot (2,5)^2} = \frac{53,48}{19,62} = 2,73 \text{ m}$$

A altura (H) encontrada é chamada de útil, devendo ser feito outro cálculo para achar a altura real (Hr), que seria:

$$Hr = H + P + 0,10$$

Onde 0,10 m é utilizado para evitar o transbordamento da mistura (água e esterco) e P equivale a pressão em coluna d'água (os equipamentos que utilizam biogás são dimensionados para operar com a pressão de 0,15 m). Substituindo os valores na fórmula, a altura real encontrada é de 3,00 metros.

$$Hr = 2,73 + 0,15 + 0,10$$

$$Hr = 2,98 \text{ m} = 3,00 \text{ m}$$

A construção do biodigestor do museu, segundo Santos (2009), seria de aproximadamente R\$ 4.700,00.

Um botijão de 13 kg possui 29 m³ de gás liquefeito. Em um dia, segundo dados anteriores, 30 pessoas consumirão 8,91 m³ de biogás no museu, o equivalente a 9 botijões de gás em 30 dias e 108 durante o ano, considerando o valor de um botijão a R\$ 35,00, o custo final com botijões de gás de 13 kg seria de R\$ 3.780,00 durante o ano. Portanto, chega-se a conclusão de que o projeto do biodigestor para o museu de paleontologia é viável economicamente, pois em menos de 2 anos recebe-se o retorno do investimento.

Para a gestão do biodigestor, foi proposto um acesso na fachada norte do museu (parte de trás), conforme mostrado na prancha 01/08 (ver Apêndice), onde poderia ser feita a reposição dos dejetos e a manutenção do biodigestor.

b) Aproveitamento de água de chuva

Para a minimização do consumo de água no museu de paleontologia, foram propostas duas cisternas para a captação da água de chuva em suas laterais, conforme pode ser verificado na prancha 01/08 do estudo preliminar).

De acordo com Passos (2009), a partir de uma série histórica de dados da cidade de Pão de Açúcar, a precipitação mensal varia entre 13 mm e 104,10 mm, conforme já citado anteriormente, totalizando uma média de aproximadamente 510 mm de chuva por ano no local (ver gráfico 01).

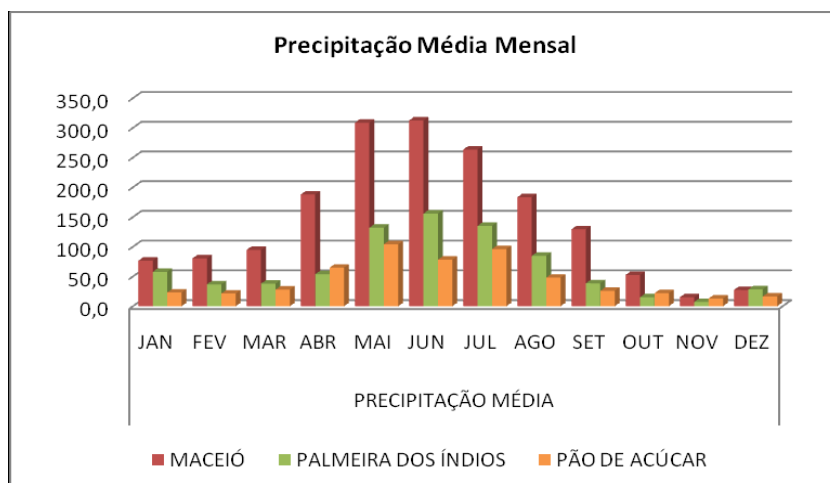


Gráfico 01: Precipitação média mensal a partir de uma série histórica de dados nas cidades de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar.
Fonte: INMET (2008 *apud* PASSOS, 2009)

Para saber o volume de água de chuva que pode ser captado através do telhado de uma edificação durante o ano, é necessário multiplicar a precipitação média da região pela área do telhado e pelo fator de perda, que é de 0,85. Então, no caso do museu de paleontologia, a

precipitação média seria de 510 mm por ano e a área de captação do telhado (parte onde possui calhas, conforme pode ser observado na prancha 01/08) de 1533,50 m². Multiplicando os dados apresentados, o volume encontrado é de 664772,25 litros de água de chuva por ano, distribuídos em duas cisternas. Utilizando o mesmo processo para a média histórica de uma série de dados durante 10 anos, encontra-se o volume aproximado de cada mês.

Tabela 19: Precipitação Mensal em Pão de Açúcar

Mês	Precipitação (mm)	Volume (l)
Janeiro	20	26069,5
Fevereiro	20	26069,5
Março	25	32586,87
Abril	59,90	78078,15
Maio	104,10	135691,75
Junho	70	91243,25
Julho	90	117312,75
Agosto	45	58656,37
Setembro	25	32586,87
Outubro	20	26069,50
Novembro	13	16945,17
Dezembro	18	23462,55
Total	510	664772,25

Segundo a Febraban (2009), o custo médio de uma cisterna do Projeto 1 milhão de cisternas, apoiado pelo Programa Fome Zero, gira em torno de R\$ 1.500,00, com prazo de entrega de cinco dias. Como o museu propõe o uso de duas, o custo total seria de R\$ 3.000,00, sendo considerado viável economicamente, devido a necessidade do armazenamento de água na região estudada.

A água de chuva armazenada nas duas cisternas seriam utilizadas nas bacias sanitárias dos banheiros e dos vestiários, na lavagem das calçadas e na manutenção do jardim. Foi proposto o uso de duas bombas, sendo uma em cada cisterna, levando a água da chuva até os

reservatórios, que possuem uma encanação independente da distribuição de água da concessionária local (CASAL), possibilitando a manutenção através dos shafts, como mostra a prancha 03/08 e 04/08 do estudo preliminar (ver Apêndice).

As calhas possuem uma declividade de, aproximadamente, 6 cm entre o ponto mais alto e o mais baixo, fazendo com que a água da chuva seja levada por gravidade para as cisternas do Programa Fome Zero.

Quanto a sustentabilidade ecológica, o projeto prima por uma minimização do consumo de energia e aproveitamento de água de chuva, tentando, também, aproveitar a topografia natural do terreno. Em relação a sustentabilidade econômica, o projeto prioriza o uso de materiais locais. Na sustentabilidade social e cultural da parte prática do projeto, tentou-se preservar as raízes históricas, culturais e naturais da população de Maravilha, através do enfoque dado aos fósseis do município.

4.3.2 Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos X Museu

Este subitem enfocará a aplicação da Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos¹¹, no museu de paleontologia mostrado anteriormente, com a finalidade de analisar a parte prática dos princípios abordados por ela e saber qual seria a classificação obtida para tal edificação.

Conforme foi observado no capítulo 2 da presente dissertação, de acordo com a Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, os requisitos básicos para análise de eficiência energética nas edificações são o desempenho térmico da envoltória (peso 3), a eficiência e potência instalada do sistema de iluminação (peso 3) e eficiência do sistema de ar condicionado (peso 4).

a) Envoltória

Segundo o Manual para uso do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - Método Prescritivo, Versão 1.1 – “envoltória são planos externos da edificação, compostos por fachadas, empenas, cobertura, brises, marquises, aberturas, assim como quaisquer elementos que os compõem”.

¹¹ Disponível em http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/Regulamentacao_Versao12_press2.pdf.

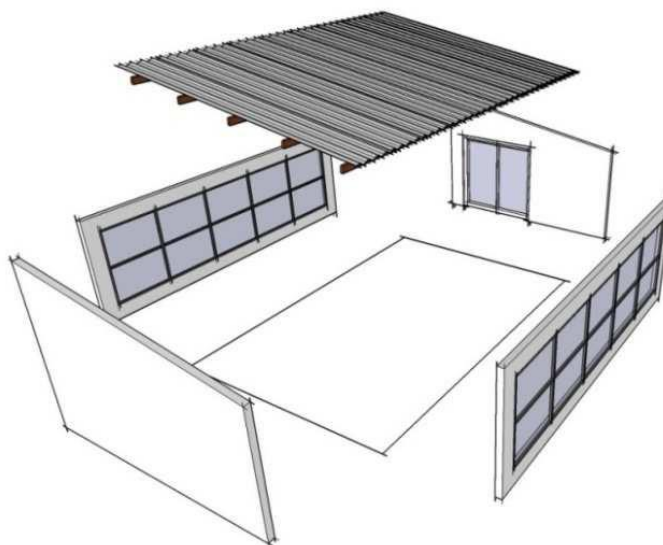


Figura 57: Partes do edifício que compõem a envoltória
 Fonte: Manual para uso do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

Para a edificação ser classificada com o nível de eficiência A na envoltória, os pré-requisitos são: levar em consideração a transmitância térmica da cobertura e das paredes; cores e absorvância de superfícies; iluminação zenital.

A transmitância térmica da cobertura e das paredes do Museu de Paleontologia apresenta-se nas tabelas 20 e 21, de acordo com os materiais empregados:

Tabela 20: Transmitância e Capacidade Térmica da Cobertura

Bloco	Cobertura	Transmitância Térmica ($\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$)	Capacidade Térmica ($\text{J}/\text{m}^2.\text{K}$)
1	Telha de barro e laje de concreto (25 cm)	1,75	568
Central	Teto jardim ¹²		
2	Telha de barro e laje de concreto (25 cm)	1,75	568

Tabela 21: Transmitância e Capacidade Térmica da Parede

Bloco	Parede	Transmitância Térmica ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$)	Capacidade Térmica ($\text{J/m}^2\cdot\text{K}$)
1	Parede dupla tijolo 8 furos (46 cm)	1,61	232
Central	Parede dupla tijolo 8 furos (46 cm)	1,61	232
2	Parede dupla tijolo 8 furos (46 cm)	1,61	232

O site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da UFSC (Projeto de Normalização em Conforto Ambiental – Térmica 3: Texto 3)¹³ disponibiliza uma tabela com transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas coberturas e paredes.

Segundo a Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, “para qualquer Zona Bioclimática, a transmitância térmica da cobertura de ambientes condicionados artificialmente não deve ultrapassar $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ e para ambientes não condicionados, não deve ultrapassar $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ ”. Também define que a transmitância térmica considerada seja uma média ponderada das diversas transmitâncias existentes quando a cobertura é composta por diferentes materiais e, portanto, por diferentes transmitâncias.

No Museu de Paleontologia, o único ambiente com condicionamento de ar é o Auditório, que está localizado no Bloco Central, possuindo teto jardim. A transmitância do restante dos ambientes é de $1,75 \text{ W/m}^2\text{K}$, portanto a transmitância da cobertura preenche o requisito para o nível de eficiência A.

Nas paredes, a transmitância térmica máxima para as Zonas Bioclimáticas 7 e 8 deve ser de $2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ para paredes com capacidade térmica máxima de $80 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ e de $3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ para paredes com capacidade térmica superior a $80 \text{ kJ/m}^2\text{K}$. Como já mencionado anteriormente, o Museu de Paleontologia está localizado na zona 8 e a transmitância da parede também está de acordo com a exigida para o nível de eficiência A, pois possui

¹² A Regulamentação não menciona a transmitância e nem absorvância do teto jardim, mas, segundo a mesma, “se a edificação apresentar teto jardim consegue pré-requisito de absorvância para o nível A”.

¹³ Disponível em: < www.labeee.ufsc.br/graduacao/ecv_5161/ecv_5161.html >.

capacidade térmica de $232 \text{ J/m}^2\text{K}$, que é maior do que $80 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ e transmitância da parede de $1,61 \text{ W/m}^2\text{K}$, na qual a máxima permitida seria de $3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Para cores e absorvância de superfícies são obrigatórios os seguintes pré-requisitos para as Zonas Bioclimáticas 2 a 8, de acordo com a Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos:

- utilização de materiais de revestimento externo de paredes com absorvância solar baixa, $\alpha < 0,4$ (cores claras);
- em coberturas não aparentes, a utilização de cor de absorvância solar baixa, $\alpha < 0,4$: telhas cerâmicas não esmaltadas ou teto jardim.

Na edificação em questão, as cores das paredes serão brancas, com absorvância de 0,20, segundo o Software Transmitância¹⁴, já para a cobertura a absorvância da telha de barro seria de 0,75.

Na edificação não possui iluminação zenital, mas caso apresentasse deveria atender ao fator solar máximo do vidro ou do sistema de abertura para os respectivos Percentuais de Aberturas Zenitais (PAZ)¹⁵. Para edificações com PAZ maior que 5%, pretendendo alcançar classificação A, deve-se utilizar simulação computacional para comprovar eficiência.

Além de verificar os pré-requisitos para o nível no qual se deseja atingir, deverão ser definidas todas as variáveis através dos cálculos baseados na edificação em estudo.

Saber qual o zoneamento bioclimático (ver figura 17) no qual localiza-se a edificação a ser analisada é fundamental, pois através dele é proposta a equação do Indicador de Consumo da envoltória (ICenv), de acordo com a zona na qual se encontra. Além disso, a equação da mesma zona pode variar conforme a área de projeção da cobertura da edificação (Apcob), sendo menor do que 500 m^2 ou maior. Observe as equações 1 e 2, propostas para a zona bioclimática 8, onde está localizado o município de Maravilha (AL) e, consequentemente, a edificação estudada.

Para área da cobertura menor que 500 m^2 a fórmula do Indicador de Consumo da envoltória é:

$$\text{ICenv} = 454,47 \cdot \text{FA} - 1641,37 \cdot \text{FF} + 33,47 \cdot \text{PAFT} + 7,06 \cdot \text{FS} + 0,31 \cdot \text{AVS} - 0,29 \cdot \text{AHS} - 1,27 \cdot \text{PAFT} \cdot \text{AVS} + 0,33 \cdot \text{PAFT} \cdot \text{AHS} + 718$$

Equação 1: Indicador de Consumo da Envoltória para cobertura menor que 500 m^2

Nas maiores que 500 m^2 usa-se:

¹⁴ Pode ser baixado gratuitamente pelo site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (<http://www.labeee.ufsc.br/software/software.html>).

$$IC_{env} = -160,36.FA - 1277,29.FF - 19,21.PAFT + 2,95.FS + 0,36.AVS - 0,16.AHS + 290,25.FF.PAFT + 0,01PAFT.AVS.AHS - 120,58$$

Equação 2: Indicador de Consumo da Envoltória para cobertura maior que 500 m²

A equação do Indicador que será utilizado no presente trabalho é a segunda, pois a edificação possui a área de projeção da cobertura igual a 2206,14 m², ou seja, maior do que 500 m².

Algumas das variáveis identificadas no decorrer deste subitem com seus respectivos significados apresentam-se na tabela 22:

Tabela 22: Variáveis e Conceitos

VARIÁVEIS	CONCEITOS
PT= Pontuação Total	é a equação geral da edificação.
EqNumEnv = Equivalente Numérico da Envoltória	É o nível de eficiência energética adquirido no pré-requisito da envoltória.
AC= Área Condicionada (m ²)	Área de piso dos ambientes condicionados.
AU= Área Útil (m ²)	Área útil é a área realmente disponível para ocupação, medida entre os paramentos internos das paredes que delimitam o ambiente, excluindo garagens. É a largura de cada ambiente multiplicada pelo seu comprimento.
Apcob= Área de projeção da cobertura (m ²)	Área da projeção horizontal da cobertura ou área de projeção média dos pavimentos, excluindo subsolos. É a largura do telhado multiplicada pelo seu comprimento.
IC= Indicador de Consumo	Calculada por meio da equação IC _{env} com os dados do projeto do edifício.
A _{tot} = Área total de piso (m ²)	Soma das áreas de piso fechadas de construção, medidas externamente.
A _{env} = Área da envoltória (m ²)	soma das áreas das fachadas e empenas e da área de cobertura, incluindo a área das aberturas.
AVS= Ângulo Vertical de Sombreamento, entre 0 e 45° (graus)	ângulo formado entre 2 planos que contêm a base da abertura.
AHS= Ângulo Horizontal de Sombreamento, entre 0 e 45°	ângulo formado entre 2 planos verticais

¹⁵ Percentual de Área de Abertura zenital na cobertura. Refere-se exclusivamente a aberturas em superfícies com inclinação inferior a 60° em relação ao plano horizontal (Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos).

(graus)	
FF= Fator de Forma	razão entre a área da envoltória e o volume do edifício (A_{env}/ V_{tot}).
FA= Fator Altura	razão entre a área de projeção da cobertura e a área de piso (A_{pcob}/ A_{tot})
FS= Fator Solar	razão entre o ganho de calor que entra num ambiente através de uma abertura e a radiação solar incidente nesta mesma abertura.
PAF _T = Percentual de Abertura na Fachada total (adimensional, para uso na equação)	É calculado pela razão entre a soma das áreas de abertura envidraçada, ou com fechamento transparente ou translúcido, de cada fachada e a área total de fachada da edificação
V _{tot} = Volume total da edificação (m ³)	volume delimitado pelos fechamentos externos do edifício (fachadas e cobertura), com exceção de pátios internos descobertos

O Fator de Forma (FF) para análise das edificações na zona bioclimática 8 e com área de projeção de cobertura superior a 500 m² deverá ser maior ou igual a 0,17.

Tabela 23: Fator de forma máximo e mínimo por zona bioclimática

Zona Bioclimática	Ape < 500m ² Fator de forma máximo	Ape > 500m ² Fator de forma mínimo
1	0,60	0,17
2 e 3	0,70	0,15
4 e 5	0,75	Livre
6 e 8	0,48	0,17
7	0,60	0,17

Inicialmente foram calculadas as dimensões da edificação para, desta forma, acrescentá-las na equação do Indicador de Consumo da envoltória. Abaixo segue o nome dos ambientes e suas respectivas áreas que, através de suas somas têm como resultado a área útil da edificação (AU = 1445,69 m²).

Tabela 24: Ambientes do Museu de Paleontologia com suas respectivas áreas

Ambientes	Área (m ²)
Loja Nordeste	20,13
Loja Fósseis	11,25
Lanchonete	31,68
Copa lanchonete	10,54
Copa	7,20
Serviço	8,995
DML	3,525
Adm./Cont./ Tesour.	10,16
Diretoria	10,16
Circulação Adm.	13,48
Circulação mesas 1	63,48
Circulação mesas 2	18,79
Vestiário Feminino	25,64
Vestiário Masculino	25,64
Depósito de livros	8,575
Biblioteca	138,955
Bibl/ Internet	32,41
Biblioteca/ Controle de acesso	17,95
Biblioteca/ Bibliotecária	6,81
Auditório	113,59
Parte Central	253,80
Ar condicionado (Local para condensador do ar condicionado)	6,28
Apoio	11,68
Sala digital	31,50
Sala de exposição 01	31,50
Sala de exposição 02	32,79
Depósito	33,525
Diorama Mastodonte	18,19
Diorama tigre	18,19
Diorama tatu gigante	18,19
Diorama Taxodonte	18,19
Diorama preguiça gigante	33,525
Laboratório Sala	31,50
Sala de Pesquisa	32,79
Acervo Técnico	31,50
Reserva Técnica	18,34
Circulação museu específico 1	67,305
Circulação museu específico 2	54,04
Circulação museu específico 3	67,305
WC Feminino museu	25,64
WC Masculino museu	25,64
Shaft 01	4,33
Shaft 02	3,95
Área Útil (AU)	1445,69

A área da envoltória foi calculada dividindo a edificação em três blocos, Bloco 1 (lado esquerdo), Bloco central (parte do meio) e Bloco 2 (lado direito). Este cálculo envolve a largura de cada lado da fachada multiplicado pela sua altura.

Antes de comentar o resultado, vale salientar que na edificação em estudo a inclinação do Norte verdadeiro para a linha perpendicular às fachadas Norte e Sul é de 23°. De acordo com a rosa dos ventos mostrada na página 55 da presente dissertação, a orientação considerada para as fachadas do Museu de Paleontologia segue na figura 58.

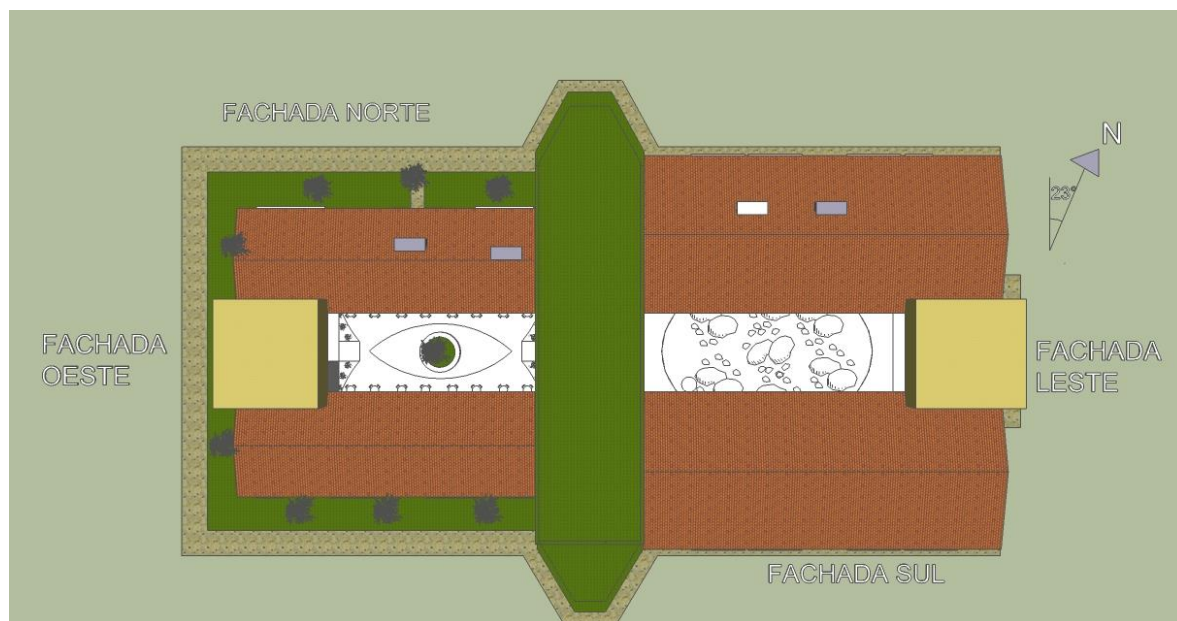


Figura 58: Indicação das Fachadas do Museu de Paleontologia
Fonte: A autora

Serão mostrados no decorrer deste subitem os resultados dos cálculos baseados no estudo preliminar para o museu de paleontologia, obtidos com a finalidade de verificar em que nível de eficiência a edificação poderá estar classificada (A a E). Deve-se observar, sempre que preciso, as tabelas 22 e 40, que apresentam algumas variáveis e seus respectivos conceitos.

O resultado da soma das quatro fachadas foi obtido através da multiplicação da largura em cada uma delas vezes a respectiva altura, sendo calculadas por blocos devido a diferença de alturas entre elas. O resultado total é 1076,69 m², como indica a tabela 25:

Tabela 25: Soma das áreas de Fachadas

BLOCOS	ÁREA (m ²)
Bloco 1 (lado esquerdo)	383,49
Bloco central (parte do meio)	237,665
Bloco 2 (lado direito)	455,535
TOTAL	1076,69

A Área de projeção da cobertura total é de 2206,14 m², foi encontrada através da multiplicação da largura pelo comprimento em cada bloco e, em seguida, pela sua soma. Observe tabela 26:

Tabela 26: Soma da Área de Projeção da Cobertura Total

BLOCOS	ÁREA (m ²)
Bloco 1	633,98
Bloco central	489,44
Bloco 2	1082,72
TOTAL	2206,14

A Área da envoltória será igual a soma das áreas das fachadas com a área de projeção da cobertura total (1076,69 + 2206,14), ou seja, 3282,83 m².

O volume de cada bloco pode ser observado na tabela 27:

Tabela 27: Soma do Volume Total da Edificação

BLOCOS	VOLUME (m ³)
Bloco 1	2373,34
Bloco central	2586,54
Bloco 2	4087,23
TOTAL	9047,11

O Fator de Forma (FF) será 3282,83 m² dividido por 9047,11 m², que será igual a 0,36 (A_{env}/V_{tot}). Conforme visto anteriormente, o FF mínimo para a zona bioclimática 8 é de 0,17, portanto este requisito foi preenchido com êxito.

O Fator Altura é de 2206,14 m² dividido por 1445,69 m², tendo como resposta 1,53 ($A_{p_{cob}}/A_{tot}$).

O próximo passo é determinar o cálculo do Percentual de Abertura na Fachada total (PAF_{tr}), onde, de acordo com a Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de

Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, “só será considerado abertura os fechamentos transparentes ou envidraçados”.

Conforme já mencionado na estratégia de ventilação (página 108), as janelas escolhidas para o projeto do museu seriam de madeira com vidro. Já as portas continuarão sendo de madeira, não fazendo parte do Percentual de Abertura na Fachada (PA_{Ft}).

O museu de paleontologia possui 41 janelas, sendo distribuídas nas quatro fachadas da edificação, conforme apresentado nas tabelas 28, 29, 30 e 31.

Tabelas 28: Fachada Sul

BLOCOS	JANELA 01 ¹⁶ Largura= 2,00 m Altura= 1,00 m Peitoril= 1,10 m	JANELA 02 ¹⁷ Largura= 1,00 m Altura= 1,00 m Peitoril= 1,10 m	JANELA 03 ¹⁸ (ALTA) Largura= 2,00 Altura= 0,50 m Peitoril= 1,60 m	ÁREA DE VIDRO (m ²)
Bloco 1	6	-	-	7,2
Bloco Central	-	-	-	-
Bloco 2	8	-	-	9,6
Total	14	-	-	16,8

Tabelas 29: Fachada Leste

BLOCOS	JANELA 01 Largura= 2,00 m Altura= 1,00 m Peitoril= 1,10 m	JANELA 02 Largura= 1,00 m Altura= 1,00 m Peitoril= 1,10 m	JANELA 03 (ALTA) Largura= 2,00 Altura= 0,50 m Peitoril= 1,60 m	ÁREA DE VIDRO (m ²)
Bloco 1	-	-	-	-
Bloco Central	-	-	-	-
Bloco 2		4	2	3,14
Total	-	4	2	3,14

¹⁶ Todas as janelas 01 possuem largura = 2,00 m, altura = 1,00 m e peitoril = 1,10 m.

¹⁷ Todas as janelas 02 possuem largura = 1,00 m, altura = 1,00 m e peitoril = 1,10 m.

¹⁸ Todas as janelas 03 possuem largura = 2,00 m, altura = 0,50 m e peitoril = 1,60 m.

Tabelas 30: Fachada Norte

BLOCOS	JANELA 01 Largura= 2,00 m Altura= 1,00 m Peitoril= 1,10 m	JANELA 02 Largura= 1,00 m Altura= 1,00 m Peitoril= 1,10 m	JANELA 03 (ALTA) Largura= 2,00 Altura= 0,50 m Peitoril= 1,60 m	ÁREA DE VIDRO (m²)
Bloco 1	4	4	-	7,04
Bloco Central	2	-	-	2,40
Bloco 2	7	1	-	8,96
Total	13	5	-	18,40

Tabelas 31: Fachada Oeste

BLOCOS	JANELA 01 Largura= 2,00 m Altura= 1,00 m Peitoril= 1,10 m	JANELA 02 Largura= 1,00 m Altura= 1,00 m Peitoril= 1,10 m	JANELA 03 (ALTA) Largura= 2,00 Altura= 0,50 m Peitoril= 1,60 m	ÁREA DE VIDRO (m²)
Bloco 1	-	1	2	1,46
Bloco Central	-		-	-
Bloco 2	-		-	-
Total	-	1	2	1,46

A área da janela é a soma das áreas de vidro de todas as fachadas:

$$A_{JanT} = A_{JS} + A_{JL} + A_{JN} + A_{JO}$$

$$A_{JanT} = 16,8 + 3,14 + 18,40 + 1,46$$

$$A_{JanT} = 39,80m^2$$

O PAF_T é igual a divisão entre a área de janelas pela de fachadas (39,80/1076,69), tendo como resultado o valor 0,04.

Depois de saber o valor de PAF_T deve-se analisar o PAF da fachada oeste, seguindo o mesmo raciocínio:

$$PAF_o = A_{JO} / A_{FCH O}$$

$$PAF_o = 1,46 / 202,38$$

$$PAF_o = 0,007$$

Se $PAFo$ for maior que PAF_T pelo menos 20% deve-se usá-lo na equação do Indicador de Consumo da envoltória (IC_{env}), caso seja menor, quem deverá ser utilizado é o PAF_T . Na edificação estudada deverá ser usado o PAF_T , pois:

$$PAF_T + 20\% > PAF_o$$

$$PAF_T + (0,2 \cdot PAF_T) > PAF_o$$

$$0,04 + (0,2 \cdot 0,04) > PAF_o$$

$$0,04 + 0,08 > PAF_o$$

$$0,12 > 0,007$$

Para aplicação na equação do IC_{env} só estão faltando o Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS) e o Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS). Uma observação importante em relação ao AHS e AVS é que o valor máximo para uso na equação é 45° , ou seja, se o valor do ângulo for maior utiliza-se o ângulo de 45° para AHS e AVS.

Seguem nas figuras 59 e 60 exemplos de AVS e AHS, respectivamente:

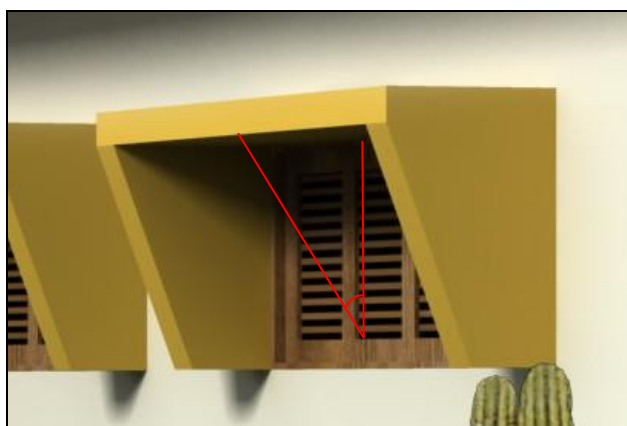


Figura 59: Proteção solar horizontal com AVS de 45°
Fonte: A autora

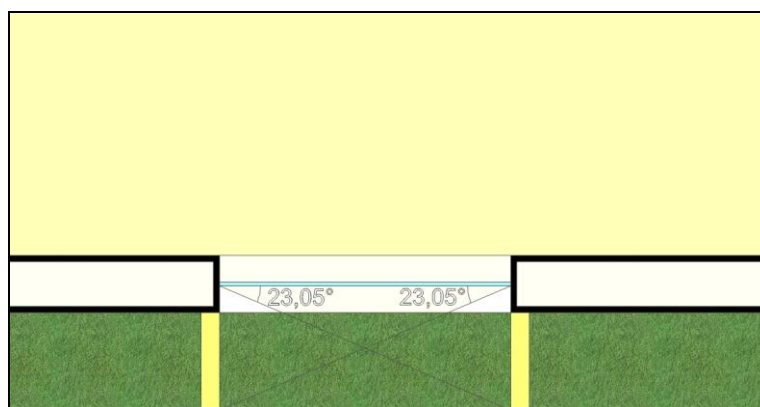


Figura 60: Proteção solar vertical com AHS de $23,05^\circ$
Fonte: A autora

O AVS das fachadas são calculados através da soma das áreas de vidro vezes o ângulo do protetor solar com o vidro dividido pela soma das áreas de vidro da fachada. Ver tabelas 32, 33, 34 e 35.

Tabelas 32: Fachada Sul

BLOCOS	JANELA 01 COM PROTETOR SOLAR AVS= 45° AHS= 23,05°	JANELA 02 COM PROTETOR SOLAR AVS= 45° AHS= 45°	JANELA 03 (ALTA) COM PROTETOR SOLAR AVS= AHS= 0	ÁREA DE VIDRO (m²)
Bloco 1	6	-	-	7,20
Bloco Central	-	-	-	-
Bloco 2	8	-	-	9,60
Total	14	-	-	16,80

Tabelas 33: Fachada Leste

BLOCOS	JANELA 01 COM PROTETOR SOLAR AVS= 45° AHS= 23,05°	JANELA 02 COM PROTETOR SOLAR AVS= 45° AHS= 45°	JANELA 03 (ALTA) COM PROTETOR SOLAR AVS= AHS= 0	ÁREA DE VIDRO (m²)
Bloco 1	-	-	-	-
Bloco Central	-	-	-	-
Bloco 2		4	-	2,24
Total	-	4	-	2,24

Tabelas 34: Fachada Norte

BLOCOS	JANELA 01 COM PROTETOR SOLAR AVS= 45° AHS= 23,05°	JANELA 02 COM PROTETOR SOLAR AVS= 45° AHS= 45°	JANELA 03 (ALTA) COM PROTETOR SOLAR AVS= AHS= 0	ÁREA DE VIDRO (m²)
Bloco 1	4	-	-	4,80
Bloco Central	2	-	-	2,40
Bloco 2	6	-	-	7,20
Total	12	-	-	14,40

Tabelas 35: Fachada Oeste

BLOCOS	JANELA 01 COM PROTETOR SOLAR AVS= 45° AHS= 23,05°	JANELA 02 COM PROTETOR SOLAR AVS= 45° AHS= 45°	JANELA 03 (ALTA) COM PROTETOR SOLAR AVS= AHS= 0	ÁREA DE VIDRO (m²)
Bloco 1	-	1	-	0,56
Bloco Central	-	-	-	-
Bloco 2	-	-	-	-
Total	-	1	-	0,56

O AVS da Fachada Sul será:

$$AVS_s = \frac{AVS_1.A_{vidro1} + AVS_2.A_{vidro2} + \dots + AVS_{14}.A_{vidro14}}{A_{abertura1} + A_{abertura2} + \dots + A_{abertura14}}$$

$$AVS_s = \frac{45^\circ.1,2 + 45^\circ.1,2 + \dots + 45^\circ.1,2}{1,2 + 1,2 + \dots + 1,2} = \frac{(1,2.45^\circ).14}{(1,2).14} = \frac{756}{16,8} = 45^\circ$$

Se na mesma fachada só houver um ângulo, o resultado do AVS dela será o próprio ângulo, não necessitando fazer os outros cálculos, conforme observado na equação acima, portanto o AVS_L, AVS_N e o AVS_O também serão 45°, pois os ângulos das janelas nas mesmas fachadas são todos iguais.

O AVS da edificação é encontrado quando multiplica-se o AVS de cada fachada pela sua área de abertura, somando todas e dividindo-as pela soma de suas áreas de vidro:

$$AVS = \frac{(AVS_S \cdot A_{vidroS}) + (AVS_L \cdot A_{vidroL}) + (AVS_N \cdot A_{vidroN}) + (AVS_O \cdot A_{vidroO})}{A_{vidroS} + A_{vidroL} + A_{vidroN} + A_{vidroO}}$$

$$AVS = \frac{(45 \cdot 16,8) + (45 \cdot 2,24) + (45 \cdot 14,40) + (45 \cdot 0,56)}{16,8 + 2,24 + 14,40 + 0,56} = 45^\circ$$

$$AVS = \frac{756 + 100,80 + 648 + 25,20}{16,8 + 2,24 + 14,40 + 0,56} = \frac{1530}{34} = 45^\circ$$

O AHS das Fachadas foram indicados nas tabelas 32, 33, 34 e 35, sendo AHSs de 23,05°, AHS_L de 45°, AHS_N igual a 23,05° e AHS_O de 45°. O procedimento para o cálculo é o mesmo do AVS.

$$AHS = \frac{(AHS_S \cdot A_{vidroS}) + (AHS_L \cdot A_{vidroL}) + (AHS_N \cdot A_{vidroN}) + (AHS_O \cdot A_{vidroO})}{A_{vidroS} + A_{vidroL} + A_{vidroN} + A_{vidroO}}$$

$$AHS = \frac{(23,05^\circ \cdot 16,8) + (45^\circ \cdot 2,24) + (23,05^\circ \cdot 14,40) + (45 \cdot 0,56)}{16,8 + 2,24 + 14,40 + 0,56} = 45^\circ$$

$$AHS = \frac{387,24 + 100,80 + 331,92 + 25,20}{16,8 + 2,24 + 14,40 + 0,56} = \frac{845,16}{34} = 24,86^\circ$$

Os dados encontrados para o cálculo do Indicador de Consumo da envoltória são: FA= 1,53 ; FF= 0,36 ; PAF_T= 0,04 ; FS= 0,6 ; AVS= 45° ; AHS= 24,86°.

Aplicando na equação, encontra-se o IC_{env} igual a 79,34.

$$IC_{env} = -160,36.FA - 1277,29.FF - 19,21.PAF_T + 2,95.FS + 0,36.AVS - 0,16.AHS + 290,25.FF.PAF_T + 0,01.PAF_T.AVS.AHS - 120,58$$

$$IC_{env} = -160,36. 1,53 - 1277,29. 0,36 - 19,21. 0,04 + 2,95. 0,6 + 0,36. 45^\circ - 0,16. 24,86^\circ + 290,25. 0,36 \cdot 0,04 + 0,01. 0,04 \cdot 45^\circ \cdot 24,86^\circ - 120,58$$

$$IC_{env} = 79,34$$

De acordo com a Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, “o Indicador de Consumo obtido

deve ser comparado a uma escala numérica dividida em intervalos que descrevem um nível de classificação de desempenho que varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). Para isso deve-se calcular o limite máximo (IC_{máxD}) e mínimo (IC_{mín}) do indicador de consumo para aquela volumetria”. Eles são obtidos por meio da mesma equação do Indicador de Consumo, mas os valores de PAFT, FS, AVS e AHS são substituídos pelos fornecidos nas duas tabelas seguintes (36 e 37), sendo a primeira para o IC_{máxD} e a segunda para o IC_{mín}.

Tabela 36: Parâmetros do IC_{máxD}

PAFT	FS	AVS	AHS
0,60	0,61	0	0

Segundo a Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, “o IC_{máxD} representa o indicador máximo que a edificação deve atingir para obter a classificação D, acima deste valor, a edificação passa a ser classificada com o nível E”.

Tabela 37: Parâmetros do IC_{mín}

PAFT	FS	AVS	AHS
0,05	0,87	0	0

Conforme o próprio nome informa, o IC_{mín} representa o indicador de consumo mínimo para aquela volumetria.

Agora é só aplicar na fórmula do Indicador de Consumo da envoltória e substituir pelos valores expostos nas duas tabelas 36 e 37.

I) IC_{máxD}:

$$\text{IC}_{\text{máxD}} = -160,36.FA - 1277,29.FF - 19,21.PAFT + 2,95.FS + 0,36.AVS - 0,16.AHS + 290,25.FF.PAFT + 0,01PAFT.AVS.AHS - 120,58$$

$$\text{IC}_{\text{máxD}} = -160,36. 1,53 - 1277,29. 0,36 - 19,21. 0,6 + 2,95. 0,61 + 0,36. 0 - 0,16. 0 + 290,25.$$

$$0,36 . 0,6 + 0,01. 0,6 . 0. 0. - 120,58$$

$$\text{IC}_{\text{máxD}} = 146,86$$

II) IC_{mín}:

$$\text{IC}_{\text{mín}} = -160,36.FA - 1277,29.FF - 19,21.PAFT + 2,95.FS + 0,36.AVS - 0,16.AHS + 290,25.FF.PAFT + 0,01PAFT.AVS.AHS - 120,58$$

$$IC_{\min} = -160,36 \cdot 1,53 - 1277,29 \cdot 0,36 - 19,21 \cdot 0,05 + 2,95 \cdot 0,87 + 0,36 \cdot 0 - 0,16 \cdot 0 + 290,25 \cdot 0,36 \cdot 0,05 + 0,01 \cdot 0,05 \cdot 0 \cdot 0 = -120,58$$

$$IC_{\min} = 100,72$$

O $IC_{\max D}$ é o limite entre os níveis D e E. Um edifício tem classificação E sempre que o IC for superior ao valor de $IC_{\max D}$. O nível E não possui limite máximo. Da mesma forma, o nível A não apresenta limite inferior de Indicadores de Consumo (Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos).

A Regulamentação aborda uma tabela com os Limites dos intervalos dos níveis de eficiência, mas, para preenchê-la e encontrar o nível de eficiência da envoltória (A a E), ainda falta encontrar a incógnita i , como mostra a tabela 38:

Tabela 38: Limites dos intervalos dos níveis de eficiência

Eficiência	A	B	C	D	E
Lim Mín	-	$IC_{\max D} - 3i + 0,01$	$IC_{\max D} - 2i + 0,01$	$IC_{\max D} - i + 0,01$	$IC_{\max D} + 0,01$
Lim Máx	$IC_{\max D} - 3i$	$IC_{\max D} - 2i$	$IC_{\max D} - i$	$IC_{\max D}$	-

$$i = \frac{IC_{\max D} - IC_{\min}}{4} = \frac{146,86 - 100,72}{4} = \frac{46,14}{4} = 11,53$$

Substituindo-se os valores, são encontrados os limites mínimos e máximos dentro dos quais a edificação proposta deve se inserir:

Tabela 39: Resultado dos Limites dos intervalos dos níveis de eficiência

Eficiência	A	B	C	D	E
Lim Mín	-	112,28	123,81	135,34	146,87
Lim Máx	112,27	123,80	135,33	146,86	-

De acordo com o Indicador de Consumo da envoltória (79,34), o nível de eficiência energética do Museu de Paleontologia neste requisito (Envoltória) é A, pois a Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos afirma que “quanto menor for o indicador obtido, mais eficiente será a envoltória da edificação”.

Os dados gerais utilizados para a determinação do nível de eficiência energética da Envoltória estão apresentados na tabela 40, para facilitar a visualização das variáveis e seus respectivos valores.

Tabela 40: Dados Gerais

VARIÁVEIS	VALORES
AC= Área Condicionada (m ²)	113,59 m ²
AU= Área Útil (m ²)	1445,69 m ²
Apcob= Área de projeção da cobertura (m ²)	2206,14 m ²
A _{tot} = Área total de piso (m ²)	1445,69 m ²
A _{env} = Área da envoltória (m ²)	3282,83 m ²
AVS= Ângulo Vertical de Sombreamento, entre 0 e 45° (graus)	45°
AHS= Ângulo Horizontal de Sombreamento, entre 0 e 45° (graus)	24,86°
FF= Fator de Forma	0,36
FA= Fator Altura	1,53
FS= Fator Solar (do vidro – escolhido conforme o fabricante)	0,6
PAF _T = Percentual de Abertura na Fachada total	0,04
V _{tot} = Volume total da edificação (m ³)	9047,11 m ³
A _{Fch} = Área de Fachada	1076,69 m ²
A _{JanT} = Área de janela (abertura com material translúcido ou vidro)	39,80 m ²
IC= Indicador de Consumo	79,34
IC _{máxD} = limite máximo Indicador de Consumo	146,86
IC _{mín} = limite máximo Indicador de Consumo	100,72
i= incógnita para determinar, junto com IC _{máxD} , os limites máximos e mínimos de indicador de consumo e o nível de eficiência energética da envoltória	11,53
EqNumEnv	A= 5

b) Sistema de Iluminação

O Manual para uso do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, Método Prescritivo, Versão 1.1, enfoca que “quanto mais elevado o nível de eficiência no Sistema de Iluminação, maior o número de pré-requisitos a atender”, conforme mostrou a tabela 03 (página 56).

Na divisão dos circuitos cada ambiente fechado por paredes ou divisórias até o teto deve possuir pelo menos um dispositivo de controle manual para o acionamento independente da iluminação interna do ambiente.

Para a contribuição da luz natural no ambiente devem ser instalados controles, manual ou automático, para o acionamento independente da fileira de luminárias mais próxima à janela, de forma a propiciar o aproveitamento da luz natural disponível.

Os ambientes maiores que 250 m^2 deverão possuir um dispositivo de controle automático para desligamento automático do sistema de iluminação, que podem ser em um horário predeterminado, através de sensor de presença que desligue a iluminação 30 minutos após a saída de todos ocupantes, sinal de um outro controle ou sistema de alarme que indique que a área está desocupada, uma programação independente para um limite de área de até 2500 m^2 , tendo como exceção os ambientes que precisam funcionar durante 24 horas.

Na edificação em estudo, os pré-requisitos citados anteriormente foram preenchidos:

- todos os ambientes terão interruptores para o acionamento manual da iluminação artificial, dividindo os circuitos dos ambientes;
- as luminárias paralelas às janelas poderão ser apagadas independentemente, não precisando ser acionadas durante o dia ou quando as janelas estiverem abertas;
- O único ambiente do Museu com área superior a 250 m^2 é a Parte Central (observar tabela 24), no qual será utilizado o sensor de presença como forma de desligamento automático.

Segundo a Regulamentação para etiquetagem voluntária do nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, as variáveis usadas no item que trata sobre o sistema de iluminação são as seguintes:

Tabela 41: Variáveis e Conceitos

VARIÁVEIS	CONCEITOS
DPI	Densidade de Potência de Iluminação
DPI _R	Densidade de Potência de Iluminação Relativa [(W/m ²)/100lux]: DPIA para cada 100 lux produzidos pelo sistema de iluminação artificial para uma iluminância medida no plano de trabalho
DPI _{RF}	Densidade de Potência de Iluminação Relativa Final [(W/m ²)/100lux]: DPIR obtida após o projeto luminotécnico, no final da vida útil do sistema de iluminação, que corresponde a um período de 24 meses
DPI _{RL}	Densidade de Potência de Iluminação Relativa Limite [(W/m ²)/100lux]: limite máximo aceitável de DPIR

K	índice de ambiente (adimensional)
C	comprimento total do ambiente (m)
L	largura total do ambiente (m)
h	altura média (m) entre a superfície de trabalho e o plano das luminárias no teto
EqNumDPI	É o nível de eficiência energética adquirido no pré-requisito do sistema de iluminação.
DPIA	Densidade de Potência Absoluta (W/m^2)

Inicialmente foi feito o cálculo do Índice de Ambiente (K) de cada compartimento do Museu de Paleontologia, obtidos através da aplicação dos dados na fórmula fornecida pela Regulamentação para etiquetagem voluntária do nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos: $K = C.L / h. (C+L)$.

Os Índices de ambiente encontrados apresentam-se na tabela 42:

Tabela 42: Índice de Ambiente Calculado (K)

Ambientes	Área (m^2)	Índice de ambiente calculado (K)
Loja Nordeste	20,13	0,57
Loja Fósseis	11,25	0,42
Lanchonete	31,68	0,72
Copa lanchonete	10,54	0,47
Copa	7,20	0,34
Serviço	8,995	0,35
DML	3,525	0,24
Adm./Cont./ Tesour.	10,16	0,41
Diretoria	10,16	0,41
Circulação Adm.	13,48	0,24
Circulação mesas 1	63,48	0,65
Circulação mesas 2	18,79	0,49
Vestiário Feminino	25,64	0,57
Vestiário Masculino	25,64	0,57
Depósito de livros	8,575	0,37
Biblioteca	138,955	1,37
Bibl/ Internet	32,41	0,71
Biblioteca/ Controle de acesso	17,95	0,54
Biblioteca/ Bibliotecária	6,81	0,33
Auditório	113,59	1,45

Parte Central	253,80	1,00
Ar condicionado (local para condensador de ar condicionado)	6,28	0,33
Apoio	11,68	0,42
Sala digital	31,50	0,71
Sala de exposição 01	31,50	0,71
Sala de exposição 02	32,79	0,72
Depósito	33,525	0,73
Diorama Mastodonte	18,19	0,55
Diorama tigre	18,19	0,55
Diorama tatu gigante	18,19	0,55
Diorama Taxodonte	18,19	0,55
Diorama preguiça gigante	33,525	0,73
Laboratório Sala	31,50	0,71
Sala de Pesquisa	32,79	0,72
Acervo Técnico	31,50	0,71
Reserva Técnica	18,34	0,49
Circulação museu específico 1	67,305	0,58
Circulação museu específico 2	54,04	0,59
Circulação museu específico 3	67,305	0,58
WC Feminino museu	25,64	0,59
WC Masculino museu	25,64	0,59
Shaft 01	4,33	0,24
Shaft 02	3,95	0,24

Em seguida os índices de ambiente foram comparados com a tabela 43, proposta pela Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, “que mostra o Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPI_{RL}) para o nível de eficiência pretendido”.

Tabela 43: Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPI_{RL}) para o nível de eficiência pretendido

Índice de ambiente K	Densidade de Potência de Iluminação relativa W/ m ² /100lux (Nível A)	Densidade de Potência de Iluminação relativa W/ m ² /100lux (Nível B)	Densidade de Potência de Iluminação relativa W/ m ² /100lux (Nível C)	Densidade de Potência de Iluminação relativa W/ m ² /100lux (Nível D)
0,60	2,84	4,77	5,37	6,92
0,80	2,50	3,86	4,32	5,57
1,00	2,27	3,38	3,77	4,86
1,25	2,12	3,00	3,34	4,31
1,50	1,95	2,75	3,00	3,90
2,00	1,88	2,53	2,77	3,57
2,50	1,83	2,38	2,57	3,31
3,00	1,76	2,27	2,46	3,17
4,00	1,73	2,16	2,33	3,00
5,00	1,71	2,09	2,24	2,89

Cada índice de ambiente do museu deve ser comparado à primeira coluna da tabela 43 e, caso sejam iguais ao K da tabela, podem ser adotados o DPI_{IRL} de acordo com os níveis de eficiência, que variam de A a D (na mesma linha do índice de ambiente alcançado), dependendo de qual será a eficiência do sistema de iluminação na qual se quer chegar.

Se o índice de ambiente (K) da edificação for menor do que 0,60, pode-se adotar as Densidades de potências de iluminação equivalente ao valor 0,60 da tabela 43. Se os valores encontrados na edificação forem diferentes dos expostos na tabela 43, deve-se encontrar a densidade de potência do ambiente por interpolação.

Conforme pode ser observado na tabela 42, a maioria dos ambientes possuem o índice menor do que 0,60 e o nível de eficiência que se pretende atingir é o A, então o DPI_{IRL} adotado é de 2,84.

O único ambiente que obteve um índice igual ao da tabela 43 foi a parte central do museu, com K igual a 1,00, no qual adotou-se DPI_{IRL} igual a 2,27 (nível A). Já para o restante dos ambientes foi necessário achar DPI_{IRL} por interpolação.

Tabela 44: Ambientes nos quais devem ser calculado DPI_{IRL} por interpolação

Ambientes	Índice de ambiente calculado (K)
Lanchonete	0,72
Circulação mesas 1	0,65
Biblioteca	1,37
Bibl/ Internet	0,71
Auditório	1,45
Sala digital	0,71
Sala de exposição 01	0,71
Sala de exposição 02	0,72
Depósito	0,73
Diorama preguiça gigante	0,73
Laboratório Sala	0,71
Sala de Pesquisa	0,72
Acervo Técnico	0,71

Na interpolação deve-se utilizar um índice de ambiente e um valor de DPI_{IRL} maior que o encontrado para o K do museu e outro menor, ou seja, K_{max} e DPI_{IRLmax} e K_{min} e DPI_{IRLmin}, conforme a tabela 43, sempre relacionando-os com a eficiência a ser atingida, sendo, neste caso, o nível A.

A equação é a apresentada logo abaixo:

$$DPI_{IRL} = DPI_{IRLmin} + \frac{(K - K_{min}) \cdot (DPI_{IRLmax} - DPI_{IRLmin})}{(K_{max} - K_{min})}$$

Em seguida, é só substituir o valor de acordo com o DPI_{RL} que se quer achar. Para o primeiro ambiente mostrado na tabela 44 (Lanchonete = 0,72), a substituição deu-se da seguinte forma:

1- através da análise do K encontrado no ambiente lanchonete, observou-se na tabela 43 qual seria o valor de K menor que o da lanchonete (que seria K_{min} = 0,60) e o maior (que seria K_{max} = 0,80);

2- após encontrar K_{min} e K_{max}, foram verificados seus respectivos DPI_{RL} (DPI_{RLmin} = 2,84 e DPI_{RLmax} = 2,50);

3- substituindo na equação o DPI_{RL} da lanchonete será igual a 2,64.

$$DPI_{RL} = DPI_{RLmin} + \frac{(K - K_{min}) \cdot (DPI_{RLmax} - DPI_{RLmin})}{(K_{max} - K_{min})}$$

$$DPI_{RL} = 2,84 + \frac{(0,72 - 0,60) \cdot (2,50 - 2,84)}{(0,80 - 0,60)}$$

$$DPI_{RL} = 2,84 + \frac{(0,12) \cdot (-0,34)}{(0,20)}$$

$$DPI_{RL} = 2,84 + \frac{(-0,0408)}{(0,20)}$$

$$DPI_{RL} = 2,84 - 0,204$$

$$DPI_{RL} = 2,64$$

Todos os ambientes apresentados na tabela 44 foram calculados desta maneira. Seguem abaixo os DPI_{RL} encontrados.

Tabela 45: Resultado dos DPI_{RL}

Ambientes	Área (m²)	Índice de ambiente calculado (K)	Limite máximo aceitável (DPI _{RL})
Lanchonete	31,68	0,72	2,64
Circulação mesas 1	63,48	0,65	2,76
Biblioteca	138,955	1,37	2,04
Bibl/ Internet	32,41	0,71	2,65
Auditório	113,59	1,45	1,98
Sala digital	31,50	0,71	2,65
Sala de exposição 01	31,50	0,71	2,65
Sala de exposição 02	32,79	0,72	2,64
Depósito	33,525	0,73	2,62
Diorama preguiça gigante	33,525	0,73	2,62
Laboratório Sala	31,50	0,71	2,65
Sala de Pesquisa	32,79	0,72	2,64
Acervo Técnico	31,50	0,71	2,65

Na Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, “pede-se para que seja feito o projeto luminotécnico de cada ambiente, identificando o número de conjuntos de lâmpada/luminárias/reator e calculando a iluminância no final da vida útil do sistema de iluminação (24 meses, utilizando coeficiente de manutenção de 0,80)”.

O projeto luminotécnico foi feito com o auxílio do programa computacional Lumisoft¹⁹, facilitando na visualização da distribuição de luminárias em cada ambiente, como mostra a última coluna da tabela 48. Nele são colocados dados de comprimento, altura e largura dos compartimentos. Além de acrescentar a quantidade de iluminância desejada, foram adotadas as seguintes refletâncias do ambiente: teto = 70%, parede = 50%, piso = 10%, conforme exigência da Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. A luminária escolhida foi a de embutir, com corpo em chapa de aço fosfatizada e pintada eletrostaticamente, refletor e aletas parabólicas em alumínio anodizado de alta pureza e refletância (CAA01-E232). O fluxo luminoso é de 4700 lumens e o rendimento de 73%.



Figura 61: Luminária escolhida (CAA01-E232)
Fonte: Lumisoft (2009)

No modelo de luminária apresentado, podem ser adicionadas duas lâmpadas. Na página eletrônica do INMETRO²⁰ são sugeridos vários tipos de lâmpadas com suas específicas características. A escolhida para os ambientes do museu de paleontologia foi uma com reator eletrônico 2X20 W, certificada pelo PROCEL, com eficiência energética de 68,99 lm/W, conforme pode ser observado na tabela 46:

¹⁹ Disponível em < <http://www.lumicenter.com/lmsft2.php> > Acesso em Fev.2009.

²⁰ <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>.

Tabela 46: Modelo de lâmpada

FABRICANTE - MARCA	TIPO	MODELO	CÓDIGO DE BARRAS	POTÊNCIA (W)	FLUXO LUMINOSO (lm)	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (lm/W)	TEMP. DE COR (K)	SELO PROCEL ²¹
BRASILUX – INDUSTRIA COMÉRCIO IMP. E EXP. LTDA. – TASHIBRA	ESPIRAL	TKS_20_2 20_4K0	789707903 8231	20	1248,4	68,99	4000	SIM

Na tabela 47, são identificadas a quantidade de luminárias e lâmpadas, a potência de cada lâmpada, a potência total do sistema e a iluminância necessária para cada ambiente.

Tabela 47: Luminárias, Lâmpadas, Potência e Iluminância dos ambientes

Ambientes	Área (m²)	Quantidade de luminárias	Quantidade de lâmpadas	Potência de cada lâmpada (W)	Potência total (W) lâmpadas	Iluminância desejada para o ambiente (lux)
Loja Nordeste	20,13	4	8	20	160	500
Loja Fósseis	11,25	4	8	20	160	500
Lanchonete	31,68	7	14	20	280	500
Copa lanchonete	10,54	1	2	20	80	150
Copa	7,20	1	2	20	80	150
Serviço	8,995	1	2	20	80	150
DML	3,525	1	2	20	80	150
Adm./Cont./ Tesour.	10,16	4	8	20	160	500
Diretoria	10,16	4	8	20	160	500
Circulação Adm.	13,48	1	2	20	40	100
Circulação mesas 1	63,48	4	8	20	160	100
Circulação mesas 2	18,79	1	2	20	40	100
Vestiário Feminino	25,64	2	4	20	80	100
Vestiário Masculino	25,64	2	4	20	80	100

²¹ Selo concedido pelo PROCEL aos aparelhos de maior eficiência energética em cada categoria (www.eletronbras.com/procel).

Depósito de livros	8,575	1	2	20	80	150
Biblioteca	138,955	27	54	20	1080	500
Bibl/ Internet	32,41	8	16	20	320	500
Biblioteca/ Controle de acesso	17,95	2	4	20	80	150
Biblioteca/ Bibliotecária	6,81	3	6	20	120	500
Auditório	113,59	21	42	20	840	500
Parte Central do Museu	253,80	10	20	20	400	100
Ar condicionado (local para condensador de ar)	6,28	1	2	20	80	150
Apoio	11,68	1	2	20	80	150
Sala digital	31,50	8	16	20	320	500
Sala de exposição 01	31,50	8	16	20	320	500
Sala de exposição 02	32,79	8	16	20	320	500
Depósito	33,525	2	4	20	80	150
Diorama Mastodonte	18,19	4	8	20	400	160
Diorama tigre	18,19	4	8	20	400	160
Diorama tatu gigante	18,19	4	8	20	400	160
Diorama Taxodonte	18,19	4	8	20	400	160
Diorama preguiça gigante	33,525	8	16	20	320	400
Laboratório Sala	31,50	8	16	20	320	500
Sala de Pesquisa	32,79	8	16	20	320	500
Acervo Técnico	31,50	8	16	20	320	500
Reserva Técnica	18,34		12	20	240	500
Circulação museu específico 1	67,305	4	8	20	160	100
Circulação museu específico 2	54,04	4	8	20	160	100

Circulação museu específico 3	67,305	4	8	20	160	100
WC Feminino museu	25,64	2	4	20	80	150
WC Masculino museu	25,64	2	4	20	80	150
Shaft 01	4,33	1	1	20	20	150
Shaft 02	3,95	1	1	20	20	150

De acordo com a Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, deve-se encontrar, além de DPI_{RL} , o DPI_{RF} para compará-los, sendo que, para obter um nível de iluminação mais eficiente, DPI_{RF} deve ser menor que DPI_{RL} . Como, por exemplo, no caso de DPI_{RF} maiores que DPI_{RL} do nível D, os sistemas serão considerados de nível E (menos eficiente).

Para encontrar DPI_{RF} pode-se considerar os seguintes passos²²:

1- calcular a Densidade de Potência Absoluta (DPI_A), que é a potência total (P) e dividir pela área:

$$DPI_A = \frac{P}{A}$$

2- dividir a iluminância de cada ambiente por 100 lux;

3- dividir a DPI_A encontrada no item 1 pela iluminância dividida por cem (item 2), achando-se a DPI_R , que corresponde ao início da vida útil do sistema de iluminação (instalação nova);

4- multiplicar o resultado por 0,80, que é o fator de depreciação, significando a perda do sistema durante dois anos, achando, desta forma, a DPI_{RF} , correspondente ao final da vida útil do sistema.

Tomando como exemplo o ambiente Loja Nordeste, a potência total foi de 160 W e a área é de 20,13 m²:

$$1- DPI_A = \frac{P}{A} = \frac{160}{20,13} = 7,95$$

2- iluminância Loja Nordeste: 500 lx, então divide-se 500 por 100:

$$500/100 = 5$$

$$3- DPI_{RF} = 7,95/5 = 1,59$$

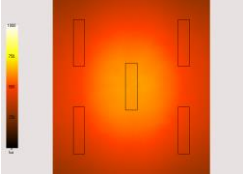
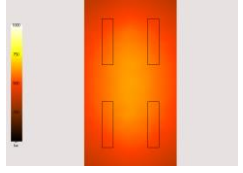
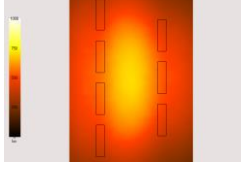
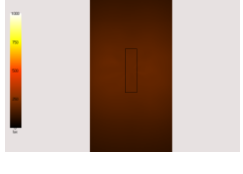
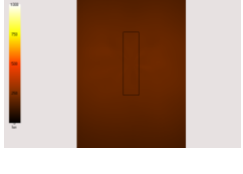
4- multiplicação do resultado pelo fator de perda do sistema durante dois anos:

$$DPI_{RF} = 1,59 \cdot 0,80 = 1,27$$

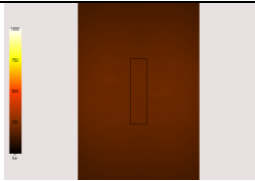
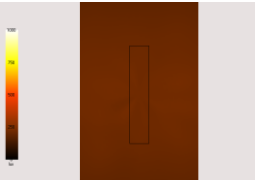
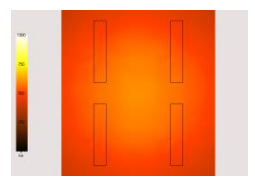
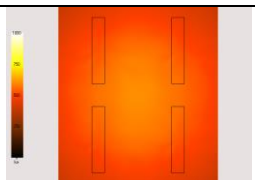
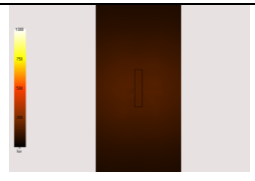
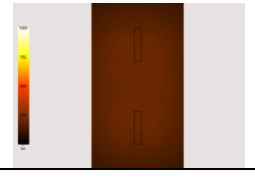
$$\text{DPI}_{\text{RF}} = 1,27$$

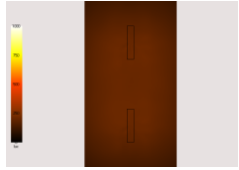
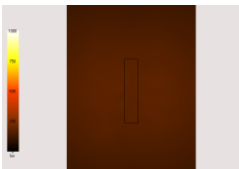
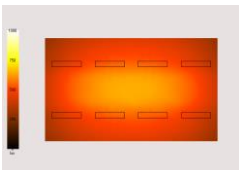
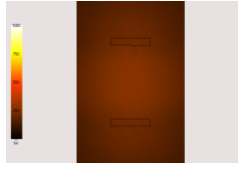
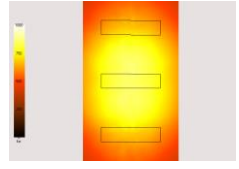
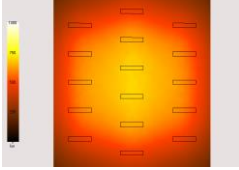
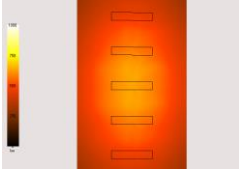
Foi necessário adotar os mesmos procedimentos para todos os ambientes e os resultados são apresentados na tabela 48:

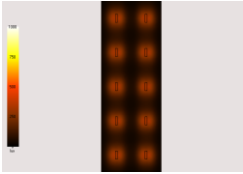
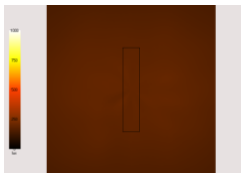
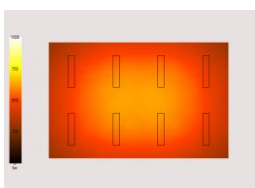
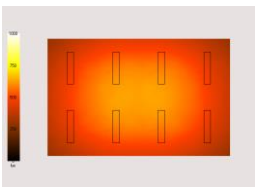
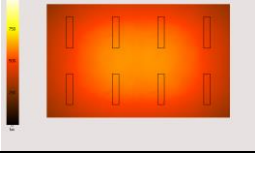
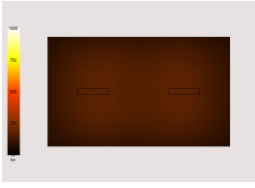
Tabela 48: Resultado DPI_{RF}

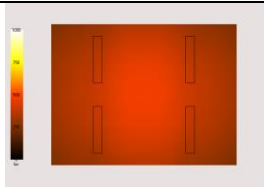
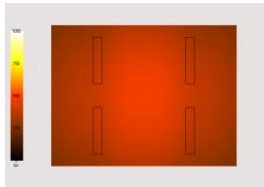
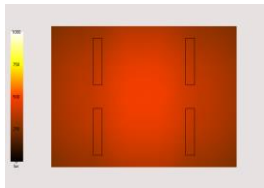
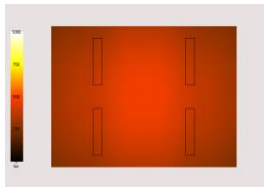
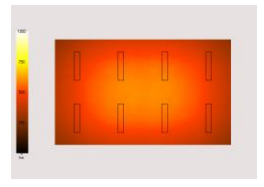
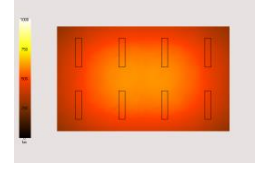
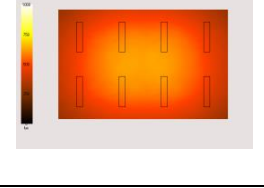
Ambientes	Índice de ambiente calculado (K)	Limite máximo aceitável (DPI_{RL})	Resultado DPI_{RF}	Nível de eficiência	Distribuição das luminárias no ambiente
Loja Nordeste	0,57	2,84	1,27	A	
Loja Fósseis	0,42	2,84	2,28	A	
Lanchonete	0,72	2,64	1,41	A	
Copa lanchonete	0,47	2,84	4,05	B	
Copa	0,34	2,84	5,92	D	
Serviço	0,35	2,84	4,74	B	

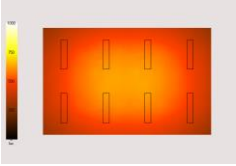
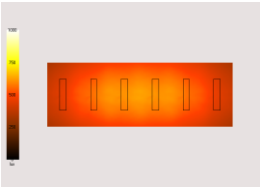
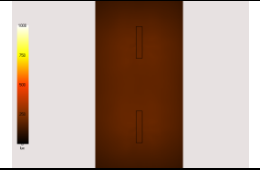
²² Estes passos foram baseados em comunicação verbal com a Professora Juliana Oliveira (UFAL, Maio de 2009).

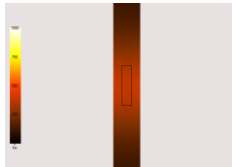
					
DML	0,24	2,84	12,10	E	
Adm./Cont./ Tesour.	0,41	2,84	2,52	A	
Diretoria	0,41	2,84	2,52	A	
Circulação Adm.	0,24	2,84	2,37	A	
Circulação mesas 1	0,65	2,76	2,02	A	
Circulação mesas 2	0,49	2,84	1,70	A	
Vestiário Feminino	0,57	2,84	1,79	A	

Vestiário Masculino	0,57	2,84	1,79	A	
Depósito de livros	0,37	2,84	4,975	C	
Biblioteca	1,37	2,04	1,24	A	
Bibl/ Internet	0,71	2,65	1,58	A	
Biblioteca/ Controle de acesso	0,54	2,84	2,37	A	
Biblioteca/ Bibliotecária	0,33	2,84	2,82	A	
Auditório	1,45	1,98	1,18	A	 

Parte Central do museu	1,00	2,27	1,26	A	
Ar condicionado (local para condensador do ar)	0,33	2,84	6,79	D	
Apoio	0,42	2,84	3,65	B	
Sala digital	0,71	2,65	1,625	A	
Sala de exposição 01	0,71	2,65	1,625	A	
Sala de exposição 02	0,72	2,64	1,56	A	
Depósito	0,73	2,62	1,27	A	
Diorama Mastodonte	0,55	2,84	1,76	A	

					
Diorama tigre	0,55	2,84	1,76	A	
Diorama tatu gigante	0,55	2,84	1,76	A	
Diorama Taxodonte	0,55	2,84	1,76	A	
Diorama preguiça gigante	0,73	2,62	1,91	A	
Sala de Pesquisa	0,72	2,64	1,56	A	
Laboratório Sala	0,71	2,65	1,625	A	
Acervo Técnico	0,71	2,65	1,625	A	

					
Reserva Técnica	0,49	2,84	2,09	A	
Circulação museu específico 1	0,58	2,84	1,96	A	
Circulação museu específico 2	0,59	2,84	2,56	A	
Circulação museu específico 3	0,58	2,84	1,96	A	
WC Feminino museu	0,59	2,84	1,66	A	
WC Masculino museu	0,59	2,84	1,66	A	
Shaft 01	0,24	2,84	2,70	A	

Shaft 02	0,24	2,84	3,08	B	

Alguns ambientes (oito) não obtiveram o nível de eficiência A, como pode ser observado na tabela 48. Neste caso deve ser analisada a Tabela 43, verificando o índice de ambiente (K) encontrado e procurando o nível de eficiência (A a D) que seria adotado para obter uma DPI_{RF} menor, pois, sendo DPI_{RF} maior do que DPI_{RL} , a classificação deve ser feita para o nível inferior, de acordo com o K calculado.

Na Copa lanchonete, o DPI_{RF} é de 4,05 e foi adotado como nível de eficiência o B, devido DPI_{RL} ser de 4,77, conforme pode ser visto na tabela 43. Nos outros ambientes que não se classificaram com o nível A, foram adotados os mesmos procedimentos, conforme tabela 49.

Tabela 49: Resultado do DPI_{RL} para Eficiência B, C, D e E

Ambientes	Índice de ambiente calculado (K)	Limite máximo aceitável (DPI_{RL})	Resultado DPI_{RF}	Nível de eficiência
Copa lanchonete	0,47	A= 2,84 e B= 4,77	4,05	B
Copa	0,34	A= 2,84 e D= 6,92	5,92	D
Serviço	0,35	A=2,84 e B=4,77	4,74	B
DML	0,24	A= 2,84 e E= aos valores maiores que os da tabela B	12,10	E
Depósito de livros	0,37	A= 2,84 e C= 5,37	4,975	C
Ar condicionado (local para condensador)	0,33	A= 2,84 e D= 6,92	6,79	D
Apoio	0,42	A= 2,84 e B= 4,77	3,65	B
Shaft 02	0,24	A= 2,84 e B= 4,77	3,08	B

Para saber a eficiência do sistema de iluminação de toda a edificação é necessário encontrar o Equivalente Numérico da Densidade de Potência de Iluminação (EqNumDPI), no qual multiplica-se o valor numérico do nível de eficiência (A=5; B=4; C=3; D=2; E=1) de cada ambiente pela área, somando os resultados e dividindo-os pela soma de todas as áreas. Para o Museu de Paleontologia, o EqNumDPI foi de 4,93, como pode ser observado, de forma resumida, abaixo:

$$\text{EqNumDPI} = \frac{\text{EqNumambiente}_1 \cdot \text{Área ambiente}_1 + \text{EqNumambiente}_2 \cdot \text{Área ambiente}_2 + \dots + \text{EqNumambiente}_n \cdot \text{Área ambiente}_n}{\text{Área ambiente}_1 + \text{Área ambiente}_2 + \dots + \text{Área ambiente}_n}$$

$$\text{EqNumDPI} = \frac{5 \cdot 20,13 + 5 \cdot 11,25 + \dots + 4 \cdot 3,95}{20,13 + 11,25 + \dots + 3,95}$$

$$\text{EqNumDPI} = \frac{7119,53}{1445,08}$$

$$\text{EqNumDPI} = 4,93$$

A Tabela 50 demonstra os Equivalentes Numéricos para cada ambiente:

Tabela 50: Equivalentes Numéricos

Ambientes	Área (m²)	Nível de eficiência	EqNum do Ambiente
Loja Nordeste	20,13	A	5
Loja Fósseis	11,25	A	5
Lanchonete	31,68	A	5
Copa lanchonete	10,54	B	4
Copa	7,20	D	2
Serviço	8,99	B	4
DML	3,52	E	1
Adm./Cont./ Tesour.	10,16	A	5
Diretoria	10,16	A	5
Circulação Adm.	13,48	A	5
Circulação mesas 1	63,48	A	5
Circulação mesas 2	18,79	A	5
WC Feminino	25,64	A	5
WC Masculino	25,64	A	5
Depósito de livros	8,57	C	3
Biblioteca	138,95	A	5
Bibl/ Internet	32,41	A	5
Biblioteca/ Controle de acesso	17,95	A	5
Biblioteca/ Bibliotecária	6,81	A	5
Auditório	113,59	A	5
Parte Central	253,80	A	5
Ar condicionado	6,28	D	2
Apoio	11,68	B	4
Sala digital	31,50	A	5

Sala de exposição 01	31,50	A	5
Sala de exposição 02	32,79	A	5
Depósito	33,52	A	5
Diorama Mastodonte	18,19	A	5
Diorama tigre	18,19	A	5
Diorama tatu gigante	18,19	A	2
Diorama Taxodonte	18,19	A	5
Diorama preguiça gigante	33,52	A	5
Laboratório Sala	31,50	A	5
Sala de Pesquisa	32,79	A	5
Acervo Técnico	31,50	A	5
Reserva Técnica	18,34	A	5
Circulação museu específico 1	67,30	A	2
Circulação museu específico 2	54,04	A	5
Circulação museu específico 3	67,30	A	5
WC Feminino museu	25,64	A	5
WC Masculino museu	25,64	A	5
Shaft 01	4,33	A	5
Shaft 02	3,95	B	4

Tendo os Equivalentes Numéricos (EqNum) de cada ambiente deve-se multiplicá-los pelas respectivas áreas, somar os resultados e depois dividi-los pela soma de suas áreas:

$$\text{EqNumDPI} = \frac{\text{EqNumL.Nordeste} \cdot \text{ÁreaL.Nordeste} + \text{EqNumL.Fósseis} \cdot \text{ÁreaL.Fósseis} + \dots + \text{EqNumShaft} \cdot \text{ÁreaShaft}}{\text{ÁreaL.Nordeste} + \text{ÁreaL.Fósseis} + \dots + \text{ÁreaShaft}}$$

$$\text{EqNumDPI} = \frac{5.20,13 + 5.11,25 + 5.31,68 + 4.10,54 + 2.7,20 + \dots + 5.25,64 + 5.25,64 + 5.4,33 + 4.3,95}{20,13 + 11,25 + 31,68 + 10,54 + 7,20 + \dots + 25,64 + 25,64 + 4,33 + 3,95 + 3,95}$$

$$\text{EqNumDPI} = \frac{7119,525}{1445,08}$$

$$\text{EqNumDPI} = 4,93$$

$$4,5 < 4,93 < 5$$

De acordo com a tabela 02 (página 54 desta dissertação), a classificação obtida no Sistema de Iluminação seria A.

c) Sistema de Condicionamento de Ar

O Museu de Paleontologia, conforme citado anteriormente, só possuirá ar condicionado no Auditório. Os outros ambientes terão ventiladores de teto com eficiência comprovada pelo INMETRO. Os modelos de ar condicionado poderão ser observados na tabela 51 e foram escolhidos de acordo com a carga necessária e a certificação de eficiência energética pelo PROCEL.

Segundo a Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, “para edifícios naturalmente ventilados ou que possuam áreas de longa permanência não condicionadas, é obrigatório comprovar por simulação que o ambiente interno das áreas não condicionadas proporciona temperaturas dentro da zona de conforto durante 95% das horas ocupadas”. Infelizmente, a simulação computacional não foi realizada devido a dificuldade apresentada pelo software EnergyPlus.

Sem comprovar por simulação, mesmo possuindo ventiladores de teto, janelas e captadores de vento, a edificação seria classificada com o nível de eficiência E no sistema de ar condicionado, acrescentando na pontuação geral da edificação (PT) o Equivalente numérico proporcional a este nível, que é o 1.

$$PT=0,30.\{(EqNumEnv.AC/AU)+[(1-AC/AU).5]\}+0,30.(EqNumDPI)+0,40.\{(EqNumCA.AC/AU)+[(1-AC/AU).5]\}$$

$$EqNumCA = 1:$$

$$PT=0,30.\{(EqNumEnv.AC/AU)+[(1-AC/AU).5]\}+0,30.(EqNumDPI)+0,40.\{(1.AC/AU)+[(1-AC/AU).5]\}$$

Serão apresentados três cálculos para a equação geral da pontuação da eficiência com diferentes equivalentes numéricos para o sistema de condicionamento de ar do Museu de Paleontologia. O primeiro será a substituição do EqNumCA pelo número 1 (como mostrado anteriormente) e da área condicionada (AC) somente para o Auditório; o segundo será feito para o nível A (EqNumCA=5), verificando qual seria a pontuação geral da edificação caso a simulação computacional no EnergyPlus houvesse sido feita e fosse comprovado o conforto durante 95% das horas ocupadas durante o ano, levando também em consideração a área condicionada (AC) como a área do auditório; o terceiro será encontrado de acordo com o acréscimo de condicionadores de ar nos ambientes de maior permanência, utilizando como AC a soma das áreas desses ambientes.

É muito importante adotar condicionadores de ar com selo de eficiência energética, que podem ser encontrados no site do INMETRO²³, considerando a última versão publicada. Nesta página eletrônica encontram-se tabelas atualizadas com classes de eficiência energética com os requisitos mínimos de eficiência para Condicionadores de Ar tipo Janela e tipo SPLIT.

A Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos recomenda “que as cargas térmicas de projeto do sistema de aquecimento e resfriamento de ar devem ser calculadas de acordo com normas e

²³ Já mencionado anteriormente: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>.

manuais de engenharia de aceitação geral pelos profissionais da área, como por exemplo, o ASHRAE Handbook of Fundamentals (ASHRAE, 2005)”. O cálculo das cargas térmicas, no caso do projeto do Museu de Paleontologia, foi feito através de uma simulação²⁴ de acordo com os devidos ambientes, acrescentando a dimensão, a quantidade de pessoas que os ocupará, a quantidade de computadores e clicando na opção para calcular a carga necessária.

O primeiro cálculo, com Equivalente Numérico igual a 1, segue abaixo:

$PT=0,30.\{(EqNumEnv.AC/AU)+[(1-AC/AU).5]\}+0,30.(EqNumDPI)+0,40.\{(EqNumCA.AC/AU)+[(1-AC/AU).5]\}$

$$EqNumEnv = 5 \text{ (A)}$$

$$AC = 113,59 \text{ m}^2$$

$$AU = 1445,69 \text{ m}^2$$

$$EqNumDPI = 5 \text{ (A)}$$

$$EqNumCA = 1 \text{ (E)}$$

$$PT=0,30.\{(5.113,59/1445,69)+[(1-113,59/1445,69).5]\}+0,30.(5)+0,40.\{(1.$$

$$113,59/1445,69)+[(1-113,59/1445,69).5]\}$$

$$PT=0,30.\{(5.0,08)+[(1-0,08).5]\}+0,30.(5)+0,40.\{(1.0,08)+[(1-0,08).5]\}$$

$$PT=0,30.\{0,4+[0,92.5]\}+1,5+0,40.\{0,08+[0,92.5]\}$$

$$PT=0,30.\{0,4+[0,92.5]\}+1,5+0,40.\{0,08+[0,92.5]\}$$

$$PT=0,30.\{0,4+4,6\}+1,5+0,40.\{0,08+4,6\}$$

$$PT=0,30.\{0,4+4,6\}+1,5+0,40.\{0,08+4,6\}$$

$$PT=0,30.5+1,5+0,40.4,68$$

$$PT=0,30.5+1,5+0,40.4,68$$

$$PT=1,5+1,5+1,87$$

$$PT=1,5+1,5+1,87$$

$$PT=4,87$$

Com base no cálculo anterior, verificou-se que, mesmo o sistema de condicionamento com nível E e sem as bonificações que podem somar mais um ponto no resultado final da equação (ver capítulo 2, página 56), a edificação foi classificada com o nível máximo de eficiência, A (Observe tabela 02, página 54).

No segundo cálculo, a carga encontrada para o auditório foi de 117000 BTU, sendo colocados quatro condicionadores de 12000 BTU e quatro de 18000 BTU, totalizando 120000 BTU, todos com nível de eficiência A, conforme mostrado na tabela 51:

²⁴ <http://www.meloar.com.br/CALCULO.htm>.

Tabela 51: Cálculo para o Auditório

Am- biente	Área (m ²)	Quan- tidade	BTU Ar condi- cio- nado	Nível de efi- ciên- cia	KW	Ef. Ener- gética	Con- sumo de ener-gia kWh/ mês	Fabricante
Auditó- rio	113,59	8	12000 18000	A A	3,52 5,27	3,21 3,07	23 36,1	ELECTRO- LUX ELGIN

Para saber a eficiência dos oito condicionadores, multiplica-se cada um pelo equivalente numérico de seu nível de eficiência, somando-os e, em seguida, dividindo-os pela soma de BTU de todos:

$$\text{Auditório} = \frac{5.12000+5.12000+5.12000+5.12000+5.18000+5.18000+5.18000+5.18000}{12000+12000+12000+12000+18000+18000+18000+18000}$$

$$\text{Auditório} = \frac{600000}{120000} = 5$$

Substituindo na fórmula da equação geral:

$$PT=0,30.\{(5.113,59/1445,69)+[(1-113,59/1445,69).5]\}+0,30.(5)+0,40.\{(5.113,59/1445,69)+[(1-113,59/1445,69).5]\}$$

$$PT=0,30.\{(5.0,08)+[(1-0,08).5]\}+0,30.(5)+0,40.\{(5.0,08)+[(1-0,08).5]\}$$

$$PT=0,30.\{0,4+[0,92.5]\}+1,5+0,40.\{0,4+[0,92.5]\}$$

$$PT=0,30.\{0,4+4,6\}+1,5+0,40.\{0,4+4,6\}$$

$$PT=0,30.5+1,5+0,40.5$$

$$PT=0,30.5+1,5+0,40.5$$

$$PT=1,5+1,5+2$$

$$PT= 5$$

Portanto, o segundo cálculo também obteve a classificação de nível de eficiência A.

No terceiro cálculo, foram adicionados os condicionadores de ar nos ambientes de maior permanência, que poderão ser observados na tabela 52, com suas respectivas áreas, cargas necessárias, eficiência, consumo energético e fabricantes:

Tabela 52: Quantidade de Splits para os ambientes

Ambientes	Área (m²)	Quantidade	BTU Ar condicionado	Nível de eficiência	kW ²⁵	Ef. energética	Consumo de energia ²⁶ kWh/mês	Fabricante
Loja Nordeste	20,13	2	6000 7500	A A	1,76 2,20 3,96	3,03 3,26	12,2 14,2	GREE HITACHI
Loja Fósseis	11,25	1	7500	A	2,20	3,26	14,2	HITACHI
Adm./ Cont./ Tesour.	10,16	1	10000	B	2,93	2,94	20,9	IMPORTADO- RA FINO FRIO
Diretoria	10,16	1	7500	A	2,20	3,26	14,2	HITACHI
Biblioteca	138,95	4	30000	B	8,79	2,94	62,8	ELGIN
Bibl/ Internet	32,41	2	18000 18000	A A	5,27 5,27	2,95 2,95	37,6 37,6	ELE- CTRO- LUX
Biblioteca/ Bibliotecária	6,81	1	6000	A	1,76	3,03	12,2	GREE
Auditório	113,59	8	12000 18000	A A	3,52 5,27	3,21 3,07	23 36,1	ELE- CTRO- LUX ELGIN
Sala digital	31,50	2	13600 24000	A A	3,99 7,03	3,21 3,06	26 48,3	SPRINGER CARRIER LG
Sala de exposição 01	31,50	2	13000 24000	A A	3,99 7,03	3,21 3,06	26 48,3	SPRINGER CARRIER LG
Sala de exposição 02	32,79	2	13600 24000	A A	3,99 7,03	3,21 3,06	26 48,3	SPRINGER CARRIER LG
Diorama Mastodonte	18,19	1	18000	A	5,27	2,95	37,6	ELE- CTRO- LUX
Diorama	18,19	1	18000	A	5,27	2,95	37,6	ELE-

²⁵ A capacidade de refrigeração expressa em kW e calculada por esta tabela destina-se a informação na ENCE.

²⁶ Consumo de Energia com base nos resultados do ciclo normalizado pelo INMETRO, de 1 hora por dia por mês.

tigre								CTRO-LUX
Diorama tatu gigante	18,19	1	18000	A	5,27	2,95	37,6	ELE-CTRO-LUX
Diorama Taxodonte	18,19	1	18000	A	5,27	2,95	37,6	ELE-CTRO-LUX
Diorama preguiça gigante	33,525	2	24000 9000	A B	7,03 2,64	3,06 3,26	48,3 17	LG GREE
Sala de Pesquisa	32,79	1	24000	A	7,03	3,06	48,3	LG
Laboratório Sala	31,50	1	30000	B	8,79	2,94	62,8	ELGIN
Acervo Técnico	31,50	1	24000	A	7,03	3,06	48,3	LG
Reserva Técnica	18,34	1	12000	A	3,52	3,21	23	ELE-CTRO-LUX
					184,09			

De acordo com a Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, “quando a área condicionada apresentar carga térmica superior a 350 kW deve-se adotar um sistema de condicionamento de ar central ou provar que sistemas individuais consomem menos energia para as condições de uso previstas para a edificação”. A soma total dos ambientes foi de 184,09 kW, portanto não precisaria de um sistema de ar condicionado central.

Os equivalentes numéricos de cada ambiente (EqNum) com suas respectivas áreas seguem na tabela 53:

Tabela 53: Equivalentes Numéricos dos Ambientes

Ambientes	Área (m²)	EqNum
Loja Nordeste	20,13	5
Loja Fósseis	11,25	5
Adm./Cont./ Tesour.	10,16	4
Diretoria	10,16	5
Biblioteca	138,95	4
Biblioteca/ Internet	32,41	5
Biblioteca/ Bibliotecária	6,81	5
Auditório	113,59	5
Sala digital	31,50	5
Sala de exposição 01	31,50	5
Sala de exposição 02	32,79	5
Diorama Mastodonte	18,19	5
Diorama tigre	18,19	5

Diorama tatu gigante	18,19	5
Diorama Taxodonte	18,19	5
Diorama preguiça gigante	33,525	4,74
Sala de Pesquisa	32,79	5
Laboratório Sala	31,50	4
Acervo Técnico	31,50	5
Reserva Técnica	18,34	5

O Equivalente Numérico para os condicionadores de ar foi de 4,71, conforme cálculo apresentado:

$$\text{EqNumCA} = 5.20,13+5.11,25+4.10,16+5.10,16+4.138,95+5.32,41+5.6,81+5.113,59+5.31,5+5.31,5+5.32,79+5.18,19+5.18,19+5.18,19+5.18,19+4,74.33,525+5.32,79+4.31,5+5.31,5+5.18,34$$

$$20,13+11,25+10,16+10,16+138,95+32,41+6,81+113,59+31,5+31,5+32,79+18,19+18,19+18,19+18,19+33,525+32,79+31,5+31,5+18,34$$

$$\text{EqNumCA} = 100,65+56,25+40,64+50,8+555,8+162,05+34,05+567,95+157,5+ 157,5 + 163,95+90,95+90,95+90,95+90,95+158,9085+163,95+126+157,5+91,7$$

$$659,665$$

$$\text{EqNumCA} = 100,65+56,25+40,64+50,8+555,8+162,05+34,05+567,95+157,5+ 157,5 + 163,95+90,95+90,95+90,95+90,95+158,9085+163,95+126+157,5+91,7$$

$$659,665$$

$$\text{EqNumCA} = \frac{3108,9985}{659,665} = 4,71$$

4,5 < 4,71 < 5 – Classificação A (Ver tabela 02, página 55)

Substituindo na equação geral:

$$\text{EqNumEnv} = 5 \text{ (A)}$$

$$\text{AC} = 659,665 \text{ m}^2$$

$$\text{AU} = 1445,69 \text{ m}^2$$

$$\text{EqNumDPI} = 5 \text{ (A)}$$

$$\text{EqNumCA} = 5 \text{ (A)}$$

$\text{PT} = 0,30. \{ (\text{EqNumEnv} \cdot \text{AC} / \text{AU}) + [(1 - \text{AC} / \text{AU}) \cdot 5] \} + 0,30. (\text{EqNumDPI}) + 0,40. \{ (\text{EqNumCA} \cdot \text{AC} / \text{AU}) + [(1 - \text{AC} / \text{AU}) \cdot 5] \}$
--

$$PT=0,30.\{(5. 659,665 /1445,69)+[(1-659,665 /1445,69).5]\}+0,30.(5)+0,40.\{(5. 659,665 /1445,69)+[(1- 659,665 /1445,69).5]\}$$

$$PT=0,30.\{(5.0,46)+[(1-0,46).5]\}+0,30.(5)+0,40.\{(5. 0,46)+[(1- 0,46).5]\}$$

$$PT=0,30.\{2,3+[0,54.5]\}+1,5+0,40.\{2,3+[0,54.5]\}$$

$$PT=0,30.\{2,3+2,7\}+1,5+0,40.\{2,3+2,7\}$$

$$PT=0,30.5+1,5+0,40.5$$

$$PT=1,5+1,5+2$$

$$PT= 5$$

A Pontuação Total a ser considerada é a do primeiro cálculo, por não ter havido simulação computacional comprovando as horas de conforto nos ambientes (PT= 4,87).

4.3.1.1 Dificuldades da aplicação da Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

Como especificado na Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, “a etiqueta para o museu foi dividida em quatro partes”:

- Envoltória → EqNumEnv = 5 (A)
- Sistema de iluminação → EqNumDPI= 4,93, considerado como A (ver tabela 02)
- Sistema de condicionamento de ar → EqNumCA = 1 (E)
- Edificação como um todo → PT= 4,87, também considerada como A, de acordo com a Tabela 02.

As limitações encontradas para a determinação do nível de eficiência no Museu de Paleontologia foram:

- Na Envoltória:

Somente através da Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos não haveriam condições de ter conseguido visualizar como seriam feitos todos estes cálculos, ela de fato, é muito importante, mas a utilização do Manual para uso do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos -

Método Prescritivo, Versão 1.1 - e a pesquisa com pessoas ligadas à esta área foram fundamentais.

- No Sistema de Iluminação:

A maior dificuldade neste item foi não ter feito o cálculo luminotécnico com profissionais ligados a esta área de atuação. Havendo uma integração multidisciplinar, certamente o nível de eficiência do museu chegaria mais próximo à realidade.

- No Sistema de Condicionamento de Ar:

Outra barreira identificada foi o fato de não ter utilizado o software EnergyPlus para simular os ambientes sem condicionadores de ar, apresentando um nível de classificação E (menos eficiente) neste aspecto, conforme observado anteriormente.

Outro problema, como citado também no item anterior, foi não ter conseguido saber a quantidade de carga necessária através de profissionais capacitados.

De modo geral, existe uma grande complexidade em verificar qual o nível de eficiência das edificações comerciais devido, principalmente, ao tempo que os profissionais deverão dedicar-se a cada detalhe proposto pela Regulamentação e pelo Manual, levando sempre em consideração a particularidade de cada edificação, que depende da zona bioclimática em que está localizada, tamanho da cobertura, etc.

Por outro lado, nota-se a fundamental importância do aprendizado de profissionais sobre a Regulamentação para, conseqüentemente, construir edificações menos insustentáveis, tendo em vista a grande demanda energética que o setor da construção civil pode desperdiçar.

4.3.3 Leed X Projeto Museu

Neste subitem será enfocada a pontuação para os requisitos do LEED – NC baseada no projeto do museu de paleontologia e em seguida serão apresentadas suas dificuldades.

As categorias para novas construções e grandes projetos de renovação podem ser observadas na tabela 54, junto com seus respectivos pré-requisitos e pontuação máxima a ser atingida.

Tabela 54: Categoria e pontuação LEED-NC

Categorias	Pré-requisitos	Pontos possíveis
Espaço Sustentável (SS)	1	14
Eficiência do Uso da Água (WE)	0	5
Energia e Atmosfera (EA)	3	17
Materiais e Recursos (MR)	1	13
Qualidade Ambiental Interna (EA)	2	15
Inovação e Processos	0	5
Total	7	69

De acordo com a pontuação obtida, a construção pode ser classificada apenas como certificada (variando de 26 à 32 pontos), prata (de 33 à 38 pontos), ouro (de 39 à 51 pontos) ou platina (de 52 à 69 pontos).

Os custos adicionais nas construções com certificação LEED nos Estados Unidos podem variar de 0,5 à 7%, do custo do imóvel, conforme o quadro 21. Segundo Casado (2008), a estimativa de acréscimo no custo para edificações no Brasil seria de 5% à 10%.

Quadro 21: Custos adicionais do LEED

Estimativa de acréscimo no custo de construção	
Certificaded (certificada)	De 0,5 à 1%
Silver (prata)	De 1 à 2%
Gold (ouro)	De 2 à 4%
Platinum (platina)	De 4 à 7%

Os pontos por critérios LEED-NC serão apresentados nos quadros 22, 23, 24, 25, 26 e 27.

O Espaço Sustentável apresenta um pré-requisito e catorze créditos, onde cada um corresponde à um ponto, conforme o quadro 22.

Quadro 22: Espaço sustentável (SS)

Sítios	Sustentáveis	14 pontos
Pré-requisito 1	Prevenção de poluição na construção	Requisitos
Crédito 1	Seleção de local	1
Crédito 2	Densidade urbana e conexão com a comunidade	1
Crédito 3	Remediação de áreas contaminadas	1
Crédito 4.1	Acesso a transporte público	1
Crédito 4.2	Bicicletário e vestiários	1
Crédito 4.3	Incentivo ao uso de veículos de baixa emissão de CO ₂	1
Crédito 4.4	Redução de área para estacionamento	1
Crédito 5.1	Proteção e recuperação das espécies locais	1
Crédito 5.2	Redução da área construída	1
Crédito 6.1	Controle de enxurrada – quantidade	1
Crédito 6.2	Controle de enxurrada – qualidade	1
Crédito 7.1	Redução do efeito ilha – áreas abertas	1
Crédito 7.2	Redução do efeito ilha – coberturas	1
Crédito 8	Redução da poluição luminosa	1

A pontuação obtida pelo museu na categoria Espaço Sustentável foi de 08 pontos, como pode ser observado a seguir:

- Seleção de local:

O terreno foi selecionado pela sua integração com a natureza e por apresentar uma grande quantidade de fósseis, na qual uma parte do projeto a enfatiza como um dos atrativos para os visitantes do museu, conforme poderá ser observado na figura 62.



Figura 62: Perspectiva mostrando escavação no local que possuem fósseis
Fonte: A autora

- Bicicletário e vestiários:

O projeto possui uma área destinada aos vestiários para os funcionários na parte interna do museu (ver figura 63).

Apresenta um bicicletário na área do estacionamento procurando incentivar o transporte limpo e minimizar o uso do carro (ver figura 64).

Este crédito vale um ponto, mas se o projeto abordasse somente um dos itens (bicicletário ou vestiário) não poderia valer 0,5 ponto, seria 0.



Figura 63: Planta Baixa mostrando os vestiários dos funcionários
Fonte: A autora



Figura 64: Planta Baixa indicando o bicicletário
Fonte: A autora

- Redução de área para estacionamento:

Segundo Casado (2008), esta redução não está associada à metragem, mas sim ao número de vagas exigidos pela legislação local.

As vagas de veículos para o estacionamento, de acordo com o código de edificações de Maceió (Maravilha não possui seu próprio código), seria de 79 vagas. Tal exigência foi cumprida, aproveitando-se o restante do espaço para vagas de motos, bicicletário e jardins. Ver figura 65.

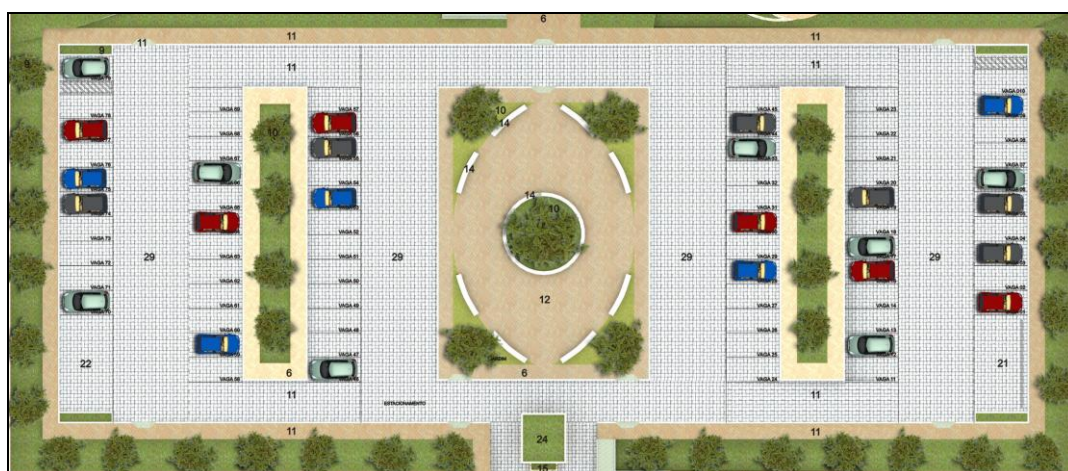


Figura 65: Planta Baixa do estacionamento, mostrando as vagas para motos e o bicicletário
Fonte: A autora

- Proteção e recuperação das espécies locais:

Todas as árvores que não estiverem localizadas na área de construção do museu e na parte pavimentada do estacionamento serão conservadas em seus locais de origem. Entre as

curvas de nível serão plantadas espécies de cactos, tentando recuperar a vegetação nativa daquela região. Ver figura 66.



Figura 66: Perspectiva mostrando a vegetação do museu
Fonte: A autora

- Controle de enxurrada – quantidade:

A captação de água de chuva através do telhado da edificação será armazenada em duas cisternas, permitindo um controle na quantidade de chuva e em enxurradas. A captação pode ser observada através das figuras 67 e 68.



Figura 67: Parte da Planta de Coberta do lado esquerdo do museu
Fonte: A autora

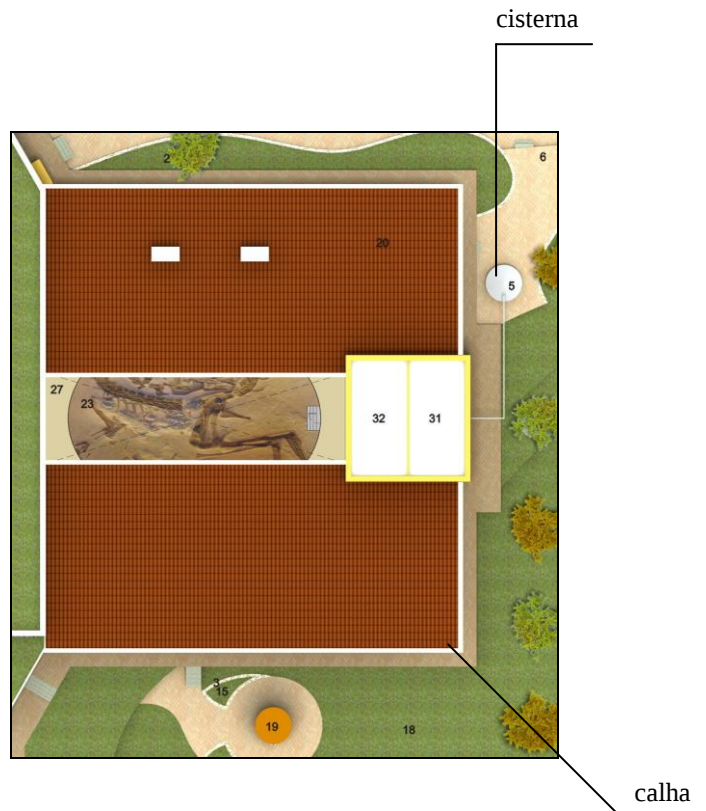


Figura 68: Parte da Planta de Coberta do lado direito do museu
Fonte: A autora

- Redução do efeito ilha de calor nas áreas abertas:

Segundo Casado (2008), o uso de vegetação, pátios e pavimentação clara geram microclimas e reduz o efeito ilha de calor. Estes elementos foram propostos para o museu, conforme citado anteriormente (ver figuras 69 e 70).



Figura 69: Parte da Planta Baixa do lado esquerdo do museu
Fonte: A autora



Figura 70: Parte do estacionamento do museu
Fonte: A autora

- Redução do efeito ilha de calor nas coberturas:

O teto jardim reduz o efeito ilha de calor das coberturas (ver figura 71).



Figura 71: Perspectiva mostrando o teto jardim do museu de paleontologia
Fonte: A autora

- Redução da poluição luminosa:

Conforme abordado no subitem 4.3.2 (página 167), as lâmpadas são de baixo consumo energético e as luminárias não permitem a criação de ofuscamento, reduzindo a poluição luminosa.

Na categoria Eficiência e uso da água (ver quadro 23) foram obtidos três pontos:

Quadro 23: Eficiência e uso da água (WE)

Eficiência e uso da água		5 pontos
Crédito 1.1	Irrigação eficiente com redução de 50%	1
Crédito 1.2	Irrigação eficiente com redução de 100%	1
Crédito 2	Tecnologias de reuso	1
Crédito 3.1	Redução no uso de água potável – 20%	1
Crédito 3.2	Redução no uso de água potável – 30%	1

- Irrigação eficiente com redução de 50%:

Esta redução de 50%, segundo Casado (2008), é destinada ao paisagismo da edificação. As espécies utilizadas no museu foram escolhidas por necessitar de um baixo consumo de água e serão irrigadas pela água da chuva captada pela cobertura do museu e armazenada nas duas cisternas, que, através de duas bombas (sendo uma para cada cisterna) certificadas pelo PROCEL, levará a água de chuva para torneiras localizadas na área externa da edificação. Observar fotos das espécies utilizadas na página 134 da presente dissertação.

- Tecnologias de reuso:

A água de chuva irrigará a vegetação, como abordado anteriormente, e será reaproveitada nas bacias sanitárias com a tubulação separada da água potável. A bomba das cisternas levará a água para o reservatório superior (dividido para receber a água da chuva armazenada nas cisternas e a água potável da concessionária local – CASAL) e a distribuirá para as bacias sanitárias e para as torneiras próximas ao jardim, que também terão tubulação para água da concessionária como prevenção contra a seca, característica do clima da região. Ver figura 72.

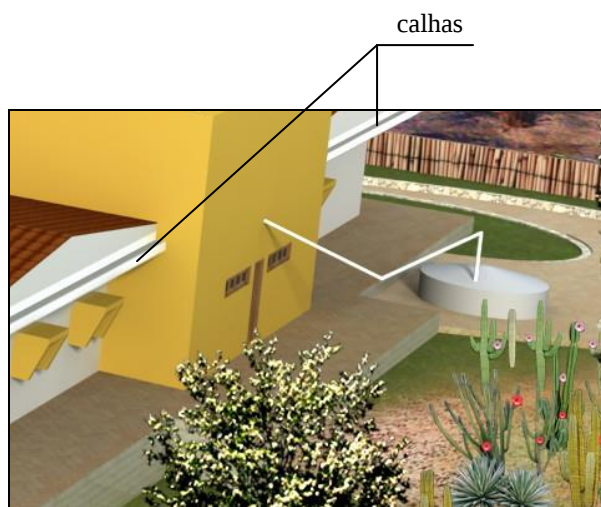


Figura 72: Perspectiva mostrando calhas e a cisterna de captação da água de chuva no museu

Fonte: A autora

- Redução no uso de água potável – 20%:

Todos os equipamentos hidro-sanitários (torneiras, vasos sanitários, chuveiros) utilizados nas áreas molhadas do museu são economizadores de água.

O quadro 24 mostra a categoria Energia e atmosfera. Apresenta três pré-requisitos, como será apresentado a seguir. Esta categoria obteve quatro pontos na avaliação do estudo preliminar do museu.

Quadro 24: Energia e atmosfera (EA)

Energia e Atmosfera		17 pontos
Pré-requisito 1	Comissionamento dos sistemas de energia do prédio	Requisito
Pré-requisito 2	Desempenho mínimo no uso de energia	Requisito
Pré-requisito 3	Não uso de CFC's	Requisito
Crédito 1	Otimização do desempenho no uso de energia	1 a 10
	() 10,5% prédios novos ou 3,5% prédios reformados	1
	() 14% prédios novos ou 7% prédios reformados	2
	() 17,5% prédios novos ou 10,5% prédios reformados	3
	() 21% prédios novos ou 14% prédios reformados	4
	() 21,5% prédios novos ou 17,5% prédios reformados	5
	() 28% prédios novos ou 21% prédios reformados	6
	() 31,5% prédios novos ou 24,5% prédios reformados	7
	() 35% prédios novos ou 28% prédios reformados	8
	() 38,5% prédios novos ou 31,5% prédios reformados	9
	() 42% prédios reformados ou 35% prédios reformados	10
Crédito 2	Geração local de energia renovável	1 a 3
	() 2,5% energia renovável	1
	() 7,5% energia renovável	2
	() 12,5% energia renovável	3
Crédito 3	Melhoria no comissionamento	1
Crédito 4	Melhoria no uso de gases refrigerantes	1
Crédito 5	Medições e verificações	1
Crédito 6	Energia verde	1

- Geração local de energia renovável - 7,5% energia renovável

O museu possuirá geração de biogás através da construção de um biodigestor, que abastecerá a copa da lanchonete e a copa dos funcionários. Conforme indica a figura 73.



Figura 73: Perspectiva do museu mostrando o biodigestor
Fonte: A autora

- Melhoria no comissionamento

De acordo com Casado (2008), melhoria no comissionamento são ações realizadas durante o projeto e a obra que buscam melhores estratégias no desempenho de energia do empreendimento.

No projeto do museu foram abordados alguns destes aspectos, como, por exemplo, ventilação natural, iluminação natural com proteção solar e uso de cores claras nas paredes e pisos da edificação. Ver figuras 74 e 75.

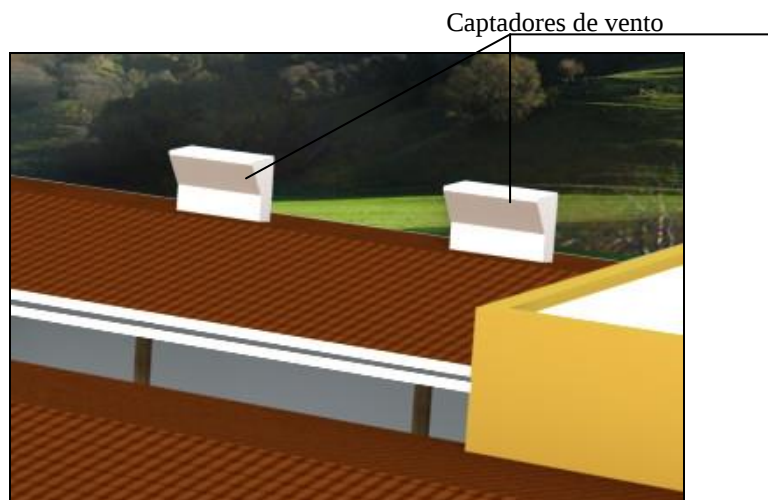


Figura 74: Perspectiva do museu mostrando os captadores de vento
Fonte: A autora

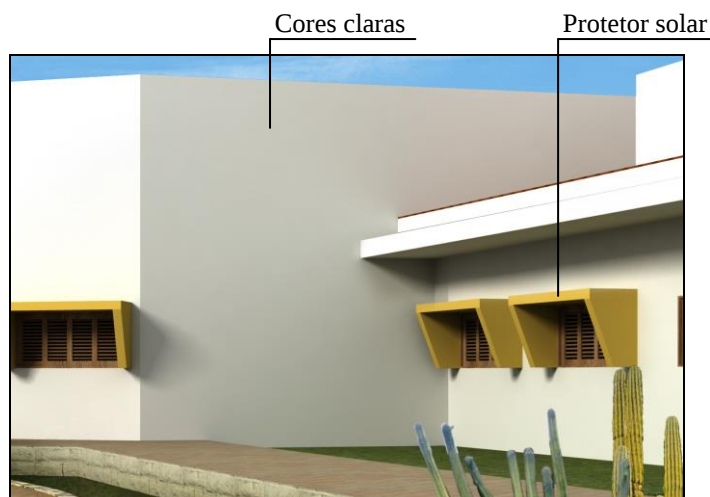


Figura 75: Perspectiva do museu mostrando o uso dos protetores solares e de cores claras
Fonte: A autora

- Melhoria no uso de gases refrigerantes:

Os condicionadores de ar, conforme já mencionados no subitem anterior, são certificados pelo PROCEL com nível de eficiência A e, conseqüentemente, possuem uma melhoria no uso do gás CFC.

- Energia verde

O projeto identifica como energia renovável o uso do biodigestor, conforme mencionado anteriormente (ver figura 73).

Baseada no quadro 25, a pontuação do museu na categoria Materiais e Recursos seria de quatro pontos:

Quadro 25: Materiais e Recursos (MR)

Materiais e Recursos		13 pontos
Pré-requisito 1	Depósito e coleta de materiais recicláveis	Requisito
Crédito 1.1	Reuso de materiais – manut. 75% paredes, forros e coberturas	1
Crédito 1.2	Reuso de materiais – manut. 100% paredes, forros e coberturas	1
Crédito 1.3	Reuso de materiais – manut. 50% elementos interiores não estrut	1
Crédito 2.1	Gestão dos resíduos da construção – destinar 50% reuso	1
Crédito 2.2	Gestão dos resíduos da construção – destinar 75% reuso	1
Crédito 3.1	Reuso de materiais 5%	1
Crédito 3.2	Reuso de materiais 10%	1
Crédito 4.1	Conteúdo reciclado, 10% (post-consumer + ½ pre-	1

	consumer)	
Crédito 4.2	Conteúdo reciclado, 20% (post-consumer + ½ pre-consumer)	1
Crédito 5.1	Materiais regionais 10% extraído, processado e fabricado regionalmente	1
Crédito 5.2	Materiais regionais 20% extraído, processado e fabricado regionalmente	1
Crédito 6	Materiais de rápida renovação	1
Crédito 7	Madeira certificada	1

- Gestão dos resíduos da construção – destinar 50% reuso:

Seria feita baseada na Resolução CONAMA nº 307, como abordada na presente dissertação (página 81).

- Reuso de materiais 5%:

Tal reuso seria provindo dos entulhos da própria indústria da construção civil, reaproveitados em forma de argamassa.

- Materiais regionais - 20% extraído, processado e fabricado regionalmente:

De acordo com a certificação LEED, os materiais regionais são abrangidos por um raio de 800 km. Então, mesmo que em Maravilha não possuísse todos os tipos de materiais para a construção do museu, dentro deste raio seria possível encontrar todos os materiais nas cidades circunvizinhas e na capital (Maceió).

- Madeira certificada:

Todo o madeiramento seria executado com madeira certificada.

Para o quadro 26, a pontuação estimada para o estudo preliminar do museu foi de sete pontos. Toda a categoria (Qualidade ambiental interna) possui uma pontuação máxima de 15 pontos, conforme indicado:

Quadro 26: Qualidade ambiental interna (EA)

Qualidade do Ambiente Interno		15 pontos
Pré-requisito 1	Desempenho mínimo na qualidade de ar interno	Requisito
Pré-requisito 2	Controle de fumo	Requisito
Crédito 1	Monitoração de ar externo	1
Crédito 2	Aumento de ventilação	1
Crédito 3.1	Plano de qualidade do ar durante a construção	1
Crédito 3.2	Plano de qualidade do ar antes da ocupação	1
Crédito 4.1	Materiais de baixa emissão, adesivos e selantes	1

Crédito 4.2	Materiais de baixa emissão, tintas	1
Crédito 4.3	Materiais de baixa emissão, carpetes	1
Crédito 4.4	Materiais de baixa emissão, madeiras compostas e agrofibras	1
Crédito 5	Controle de poluentes e produtos químicos	1
Crédito 6.1	Controle de sistemas – iluminação	1
Crédito 6.2	Controle de sistemas – conforto térmico	1
Crédito 7.1	Conforto térmico, projeto	1
Crédito 7.2	Conforto térmico, verificação	1
Crédito 8.1	Luz do dia e paisagem – 75% dos espaços	1
Crédito 8.2	Luz do dia e paisagem – 90% dos espaços	1

- Aumento de ventilação:

Obtido através da utilização de captadores de vento e de esquadrias com vidro na parte móvel, como pode ter sido observado nas figuras 74 e 75.

- Plano de qualidade do ar antes da ocupação:

Para evitar a poluição do ar dentro do museu foi proposta uma praça/ fumódromo, onde será permitido fumar. Fica a mais de 8 metros da entrada principal. Ver figura 76.



Figura 76: Perspectiva do museu mostrando a praça/ fumódromo
Fonte: A autora

- Materiais de baixa emissão, adesivos e selantes:

Serão priorizados materiais com baixos índices de emissão de Compostos Orgânicos Voláteis (COV), como, por exemplo selantes com tubo biodegradável para as esquadrias (sista flexite).

- Materiais de baixa emissão, tintas:

As tintas certificadas pelo LEED são as da empresa Sherwin - Williams, apresentando uma linha ecológica, reduzindo as emissões de COV.

- Conforto térmico, projeto:

As estratégias bioclimáticas utilizadas no estudo preliminar do museu foram apresentadas no subitem 4.3 (página 107 à 135).

- Luz do dia e paisagem – 75% dos espaços:

Referem-se ao aproveitamento da luz natural e a possibilidade de vistas externas pelos ocupantes. O uso do vidro nas janelas do museu permite o acesso a iluminação natural e às vistas exteriores (conforme mostrado anteriormente na figura 75).

- Luz do dia e paisagem – 90% dos espaços:

Todos os ambientes possuem iluminação natural, conforme pode ser observado na Planta Baixa do museu de paleontologia (ver figura 77)

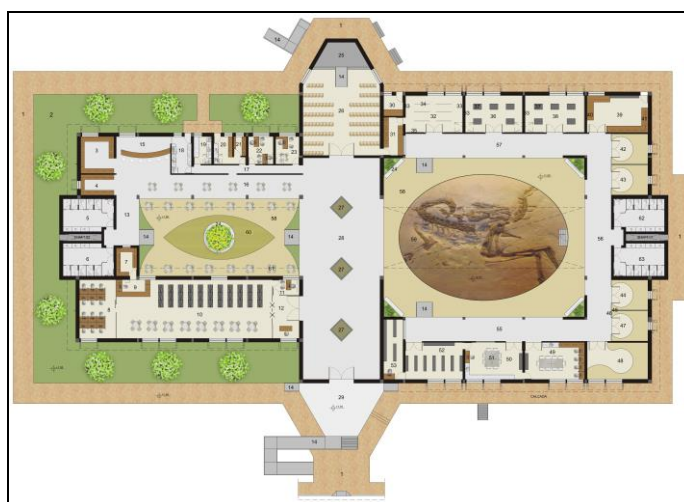


Figura 77: Planta Baixa
Fonte: A autora

O quadro 27 enfoca a inovação e processos de projeto. Segundo Casado (2008), a captação de água de chuva e o biodigestor não são considerados inovações, afirmando que estas já são práticas comuns nas construções sustentáveis. Exemplos de inovações no processo de projeto seriam mobiliários feitos de embalagens de pastas de dentes, carrinhos de supermercado feitos de garrafa pet, etc.

Quadro 27: Inovação e processos (IN)

Inovação e Processo do Projeto		5 pontos
Crédito 1.1	Inovação no projeto – insira o título	1
Crédito 1.2	Inovação no projeto – insira o título	1
Crédito 1.3	Inovação no projeto – insira o título	1
Crédito 1.4	Inovação no projeto – insira o título	1
Crédito 2	Profissional acreditado LEED	1

Baseado no quadro 13, o museu não possuiria pontos na categoria inovação e processos.

Segundo as categorias propostas para as novas edificações, a simulação da pontuação alcançada pelo museu seria de 26 pontos, tornando-se apenas certificada (26 à 32 pontos).

Tabela 55: Pontos atingidos pelo museu de paleontologia

Categorias	Pré-requisitos	Pontos possíveis
Espaço Sustentável (SS)	1	8/14
Eficiência do Uso da Água (WE)	0	3/5
Energia e Atmosfera (EA)	3	4/17
Materiais e Recursos (MR)	1	4/13
Qualidade Ambiental Interna (EA)	2	7/15
Inovação e Processos	0	0/5
Total	7	30

Com base no capítulo 3 da presente dissertação (página 75), o custo para utilizar a certificação LEED seria:

- Para registrar o projeto junto ao USGBC o valor investido seria R\$ 1.080,00;
- Na análise de projeto o valor investido é de R\$ 2.700,00, pois a construção possui área inferior a 4645 m².
- Na certificação da obra deve-se pagar R\$ 1.350,00 para construções com até 4645 m²
- Já a consultoria não é considerada obrigatória, mas, caso seja solicitada a contratação de um gerente técnico do LEED, o investimento é de, aproximadamente, 0,5 a 1% do custo da obra.

O custo (sem a consultoria) para aplicar a certificação LEED no museu de paleontologia seria de R\$ 5.130,00.

De acordo com o presente estudo, chegou-se a conclusão de que a aplicação da certificação LEED é adequada para edificações que não se preocupam com o aspecto econômico do empreendimento. Portanto, para o museu, só seria viável se um órgão público (ou outro tipo de instituição) estivesse disposto a pagar pela agregação dos valores ambientais que a obra apresentasse.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A arquitetura dita “sustentável” nada mais é do que a adoção de preceitos éticos, ligados, principalmente, às questões ambientais, econômicas e sociais das edificações. Mas construir de acordo com essas premissas pode não ser tão fácil o quanto imagina-se.

No terceiro capítulo da presente dissertação foi verificado, através da opinião de alguns arquitetos que atuam na área da construção civil em Alagoas, que há um grande distanciamento entre a teoria e a prática do projeto de arquitetura, relacionado diretamente ao ensino nas universidades e a política de mercado vigentes. Com base nestes aspectos, um dos arquitetos enfatizou que o profissional atuante na prática de projetos pode ficar frustrado por querer projetar como aprendeu na faculdade e se deparar com as exigências de um mercado imobiliário que não aceita pagar por uma obra adaptada ao clima do lugar.

Com base no estudo de caso, a maior dificuldade ao tentar fazer a integração entre a teoria e a prática do projeto para o semiárido alagoano foi a quantidade de informações que precisaram ser verificadas para a concepção do estudo preliminar e o tempo gasto com cada uma delas, tendo em vista a grande importância desta fase. Outra barreira encontrada foi a escassez de dados climáticos no município de Maravilha, sendo utilizados dados da cidade de Pão de Açúcar, que também possui um clima quente e seco e faz parte da mesoregião do sertão.

As estratégias bioclimáticas adotadas para o presente trabalho foram a ventilação, o resfriamento evaporativo, a massa térmica para resfriamento, o sombreamento e a proteção contra as chuvas. À medida que foram abordadas, utilizou-se as imagens do estudo preliminar do museu, buscando exemplificar cada uma delas.

Na estratégia de ventilação foram propostos o uso de captadores de vento e de janelas com a parte de vidro móvel. No resfriamento evaporativo utilizou-se o teto jardim e o uso dos

jardins internos. Já para a massa térmica foi proposto o uso de paredes com 46 centímetros na fachada. No sombreamento foi enfocado o uso da proteção solar e da vegetação.

Uma das formas de tentar racionalizar o consumo de energia na edificação foi verificando o potencial da energia solar fotovoltaica e do biogás no estudo de caso, onde concluiu-se que a energia solar fotovoltaica, mesmo sendo utilizada em comunidades isoladas, pode tornar-se inviável economicamente.

No Sítio Ovo da Ema, em Maravilha, o custo da energia fotovoltaica para o consumo de toda a edificação seria de R\$ 514.000,00, enquanto a distribuição feita pela concessionária local (CEAL) teria um custo de R\$ 24.294,12. Neste caso, a implantação desta energia só seria viável se a edificação estivesse localizada a mais de 21 km da rede de distribuição da CEAL, o que não acontece, estando apenas à 1 km de distância.

Mesmo usando a energia solar fotovoltaica somente para a iluminação externa, nos dois condicionadores de ar e para o bombeamento de água (conforme foi abordado por Reis *et al*, 2005, no capítulo dois, página 52) ainda não seria economicamente viável para Maravilha devido ao alto custo de manutenção das placas solares, que deveria ser feita a cada três meses, custando R\$ 1.000,00.

Quanto ao uso do biodigestor, além de contribuir para o tratamento dos dejetos bovinos podem ser reutilizados como biofertilizantes na vegetação, o retorno do investimento seria alcançado em menos de dois anos. Portanto, sua construção seria considerada viável para a edificação em questão.

Para a minimização do consumo de água foram propostas duas cisternas para captar a água de chuva da edificação. O custo delas seria de, aproximadamente, R\$ 3.000,00. A utilização deste sistema de captação é considerado sustentável tanto no aspecto social como no econômico e no ambiental, tendo em vista a necessidade de aproveitar este recurso tão

valioso para o sertão e evitar o investimento que deveria ser feito para a contratação de carros pipas para o abastecimento da região em períodos de escassez de água.

A complexidade da aplicação da Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, pode ter sido percebida no quarto capítulo, envolvendo um estudo aprofundado de vários aspectos da construção civil. Devido a dificuldade na construção dos dados apresentados, os resultados poderiam ter sido mais eficientes se houvesse uma maior multidisciplinaridade entre os vários profissionais da área. Pelo fato de ser baseada no Zoneamento Bioclimático Brasileiro e por procurar minimizar o impacto ambiental da envoltória, do sistema de iluminação e do condicionamento de ar nas edificações, verificou-se que a sua aplicação seria bastante viável para a economia de energia da edificação, que atingiu a classificação máxima (A) na pontuação geral para o museu de paleontologia.

A maior dificuldade identificada na aplicação da certificação LEED foi a carência de dados que envolve seu processo metodológico. Além de propor uma análise quanto as categorias estabelecidas para as novas edificações, a certificação envolve um alto investimento financeiro. O custo baseado no estudo preliminar do museu para registrar, fazer a análise do projeto e certificar a obra seria de R\$ 5.130,00. Portanto, concluiu-se que tal certificação é viável para edificações que não consideram o fator econômico da obra como critério primordial, mas sim o ambiental.

Com base nos resultados citados anteriormente, concluiu-se que os objetivos propostos pelo presente trabalho foram alcançados. A conclusão desta pesquisa pode contribuir para identificar alguns dos aspectos necessários na prática de projeto com base na minimização dos recursos naturais nas edificações, relacionados, principalmente, à eficiência energética, podendo servir como subsídio na aplicação dos cálculos propostos pela Regulamentação para

Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, tendo em vista o detalhamento que tal regulamento exige.

Para a execução de trabalhos futuros, sugere-se estudos mais detalhados sobre o clima das cidades alagoanas e estudos sobre a viabilidade econômica, social e ambiental das energias alternativas comparadas ao uso das convencionais.

Apesar da sustentabilidade das edificações ainda ser um sonho distante, a difusão do conhecimento aplicado à ela é fundamental. A arquitetura deve estar preparada para suprir as necessidades de uma sociedade globalizada e propor soluções para a resolução da crise que envolve o território, o espaço e o lugar, reatando um contrato natural que seja influenciado, também, pelo lado humano do arquiteto.

REFERÊNCIAS

ABREU, Yolanda Vieira. **Estudo comparativo da eficiência energética da indústria da cerâmica de revestimento via úmida no Brasil e na Espanha**. Campinas, 119 p. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2003. Disponível em: <<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000307092>>. Acesso em: 20 jun. 2006.

ADAM, Roberto Sabatella. **Princípios do Ecoedifício: interação entre ecologia, consciência e edifício**. São Paulo. Ed. Aquariana. 2001. 129 p.

ALMEIDA, Fernando. **Os Desafios da Sustentabilidade: Uma ruptura urgente**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007 – 3ª reimpressão.

ALVIM, Aymoré de Castro; SILVA, Selênio Rocha; MARTINEZ, Carlos Barreira. **Os Sistemas fotovoltaicos face as alternativas de geração de energia elétrica tradicional**. III Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 1994.

ANDRADE, Suely Ferraz de. **Estudo de Estratégias Bioclimáticas no Clima de Florianópolis**. Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, 1996. Disponível em: <http://www.eps.ufsc.br/disserta96/suely/index/ind_sue.htm> Acesso em: 31 jul. 2009.

AMORIM, Simar Vieira de; PEREIRA, Daniel José de Andrade. **Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 53-66, abr./jun. 2008.

ARNHOLD, Kareen. **Arquitetura bioclimática: menos energia, mais conforto**. Agência UFRJ de Notícias – Base CT. Disponível em: <http://www.olharvirtual.ufrj.br/2006/index.php?id_edicao=174&codigo=7>. Acesso em: 01 jun. 2008.

ALVA, Eduardo M. **Metrópoles (In) Sustentáveis**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997.

BARBOSA, Humberto A.; HUETE, A. R.; BAETHGEN, W.E. **A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brasil**. Journal of Arid Environments 67 (2006) 288-307.

BARRETO, Douglas. **Perfil do consumo residencial e usos finais da água**. Revista Antac Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 23-40, abr./jun. 2008.

BARROSO-KRAUSE, Cláudia. **Instalação de coletor. Dicas para a Arquitetura**. Disponível em: <<http://www.sociedadedosol.org.br/arquivos/claudia-barroso-krause-ufrj.pdf>>. Acesso em: 03 jun. 2008.

BATISTA, J. O. **A arquitetura e seu desempenho térmico no contexto do semi-árido alagoano: Estudos de caso em Santana do Ipanema – AL**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC, 2006.

BITTENCOURT, Leonardo Salazar; CÂNDIDO, Christina. **Introdução à Ventilação Natural**. 2 ed. Maceió: EDUFAL, 2006.

BITTENCOURT, Leonardo Salazar; SACRAMENTO, Alexandre da Silva; CÂNDIDO, Christhina; LEAL, Thalianne. **Estudo do desempenho do peitoril ventilado para aumentar a ventilação natural em escolas de Maceió/AL**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 7, n. 2, p. 59-69, jul./set. 2007.

BUSTOS ROMERO, Marta Adriana. **A Arquitetura Bioclimática do espaço público**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001. 226p.

CALDAS, Sdenison de Araújo. **Espaço construído no Semi-Árido Alagoano: Sustentabilidade e Preservação em modelos Residenciais**. Dissertação de mestrado submetida ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA/ AL, Maceió, 2002, 137p.

CAMARGO, Antônio. **Minas de Entulho**. Revista Techne (periódico bimestral), nº 15, São Paulo, Editora Pini, março/abril 1995.

CARMO FILHO, Jairson Jairo do. **Construir frondoso – uma herança esquecida?: Avaliação pós ocupação em habitações unifamiliares projetadas em 1976 a 2004 na Região Metropolitana do Recife, com base nas recomendações do Roteiro para construir no Nordeste de Armando de Holanda**. Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Natal, 2005, 314 p. Disponível em: <<http://www.ppgau.ufrrn.br/dissertacoes/jairsonj.pdf>>. Acesso em: 12 jul. 2009.

CASADO, Marcos (2008). **Atualização e desenvolvimento Profissional em Construção Sustentável**. Curso organizado pelo Green Building Council Brasil e Academia de Engenharia e Arquitetura. Salvador (BA), em Dezembro de 2008.

CAVALCANTE, Clovis. **Sustentabilidade da economia: paradigmas alternativos de realização econômica**. In: CAVALCANTE, Clovis (org.). Desenvolvimento e natureza: estudos para uma sociedade sustentável. Cortez Editora. São Paulo, 1995.

CAVALCANTE, E. G. **Sustentabilidade do Desenvolvimento, Fundamentos Teóricos e Metodológicos do Novo Paradigma**. Recife, Editora Universitária, UFPE, 1998.

CERQUEIRA, David de Mendonça. **Energia, Desenvolvimento Sustentável e Suprimento Energético de Comunidades Isoladas a partir de Energia Solar**. Dissertação de mestrado submetida ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA/ AL, Maceió, 2000, 117p.

CORBELLA, Oscar. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos – conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Renavan, 2003.

CORCUERA, Daniela Karina. **Edifícios de Escritórios na Cidade de São Paulo: O Conceito de Sustentabilidade nos Edifícios Inteligentes**. Trabalho apresentado no Encontro do NUTAU/98, São Paulo, 1998.

CORRÊA, Roberto Lobato. **Espaço, um conceito chave da Geografia**. In: CASTRO, José Elias et. al. (Orgs). *Geografia: Conflitos e formas*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995.

DRUSIAN, Deyvis. **Eficiência energética**. Disponível em: <<http://www.amaisp.com.br/eficienciaenergetica13.html>>. Acesso em: 31 Jul. 2009.

DUARTE, Denise Helena Silva; GONÇALVES, Joana Carla Soares. **Arquitetura Sustentável: integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino**. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 6, n. 4, p. 51-81 out./dez. 2006.

FERNANDES, Hugo Bordeira Ana. **Hidrogênio será a energia do futuro**. Disponível em: <<http://www.energiasrenovaveis.com/html/canais/noticias/noticias0403.asp>>. Acesso em: 15 jul. 2006.

FERNANDEZ, Roberto. **Las ciudades imposibles** <<http://archivo-elciudadano.com.ar/20-11-2004/cultura/ciudades.php>>. Acesso em: 22 nov. 2006.

FERREIRA, Dílson Batista. **A contribuição da luz natural para a sustentabilidade do ambiente construído: o caso das escolas em climas quentes e úmidos**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente/ UFAL, Maceió, 2004.

FOLADORI, Guillermo. **Limites do Desenvolvimento Sustentável**. Campinas, São Paulo: Editora da Unicamp/Imprensa Oficial de SP. 2001. 222 p.

FREIXANET, Victor A. F. **Clima Y Arquitectura**. 1ª ed., Azcapotzalco, Universidad Autônoma Metropolitana, 2004.

FROTA, Anésia Barros. **Manual do Conforto Térmico**. 2 ed. São Paulo: Studio Nobel, 1995.

FUENTES, Manuel; ROAF, Susan; THOMAS, Stephanie. **Ecohouse: A casa Ambientalmente Sustentável**. Tradução Alexandre Salvaterra. 2. ed. – Porto Alegre: Bookman, 2006.

GAZETA DO PARANÁ (PR). **Igreja inicia debates sobre crise da água**. 2003. Disponível em: <<http://www.semarnh.rn.gov.br/detalhe.asp?IdPublicacao=1579>>. Acesso em: 20 jan. 2008.

GREEN BUILDING COUNCIL OF AUSTRÁLIA - GBCA. **Summary of Green Star environmental rating system for buildings & Green Star – Office Design rating tool**. GBCA, 2005. 26p.

GOIS, Givanildo de; SOUZA, Leonaldo de; SILVA, Paulo Ricardo Teixeira da; OLIVEIRA JÚNIOR, José Francisco de. **Caracterização da desertificação no estado de Alagoas**

utilizando variáveis climáticas. Revista Brasileira de Meteorologia, v.20, n.3, 301-314, 2005.

GOLDEMBERG, José. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento.** São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1998.

GONÇALVES, Orestes M.; ILHA, Marina S. de Oliveira; OLIVEIRA, Lucia Helena de; YWASHIMA, Laís; REIS, Ricardo Prado Abreu. **Tecnologias para construção habitacional mais sustentável - Levantamento do estado da arte:Água.** São Paulo: Projeto Finep 2386/04, 2007. Disponível em:
<http://www.habitacaosustentavel.pcc.usp.br/metas_estado_da_arte.htm>. Acesso em: 11 Jan. 2009.

GUERRA, Antônio Teixeira. **Dicionário Geológico – Geomorfológico.** 8ª edição. Editora IBGE. Rio de Janeiro, 1993.

GHISI, Eneir; MARINOSKI, Ana Kelly. **Aproveitamento de água pluvial para usos não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis – SC.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 67-84, abr./jun. 2008.

GHISI, Eneir; TINKER, John A. **Potencial de economia de energia em iluminação através da utilização de fibras ópticas.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 4, n. 3, p. 61-77, jul./set. 2004.

HICKEL, Denis Kern. **A (in) sustentabilidade na arquitetura.** Disponível em:
<<http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp328.asp>>. Acesso em: 24 jul. 2007.

JOHN, Vanderley. Disponível em
<http://www.aecweb.com.br/comunidade/coluna_leitura.asp?idColuna=310&from=CBCS>. Acesso em: 07 out. 2008.

KINSEL, Luciane Stürmer; SILVA, Heitor da Costa. **Região Climática de Porto Alegre – Revisão para um desenho inteligente e uma arquitetura adequada.** Disponível em:
<www.ufrgs.br/labcon/extensao/publicacoes/arqtexto9.pdf> Acesso em: 10 jan. 2009.

KRONKA, Roberta C. **Arquitetura sustentabilidade e meio ambiente.** In: Anais do ELECS'2001. II encontro nacional e I encontro latino americano sobre edificações e comunidades sustentáveis. Canela - RS. ANTAC. 24-27 abril de 2001. 405 p.

LABEEE. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Florianópolis, 2008. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br>. Acesso em: 05 set. 2008.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** São Paulo: PW, 1997.

LAMBERTS, Roberto; TRIANA, M. Andrea; FOSSATI, Michele; BATISTA, Juliana Oliveira. **Sustentabilidade nas edificações: contexto internacional e algumas referências brasileiras na área** (2006). Disponível em:
<http://www.labeee.ufsc.br/sustentabilidade/07_consideracoes_finais.html>. Acesso em: 20 set. 2008.

LA ROVERE, Emílio. **Atuação e tendências**. Rio de Janeiro: Finep, 1994.

LEFF, Henrique. **Saber Ambiental: sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder**. Petrópolis/ Rio de Janeiro: Editora Vozes, 2001.

LIMA, José Antonio Ribeiro de; OLIVEIRA, Daniel Pinho de; JOHN, Vanderley Moacyr. **Tecnologias para construção habitacional mais sustentável - Levantamento do estado da arte: Seleção de materiais**. São Paulo: Projeto Finep 2386/04, 2007. Disponível em: <http://www.habitacaosustentavel.pcc.usp.br/projeto_selecao.htm> Acesso em: 31 jul. 2008.

LIMA, Maria Helena de C.; PEREIRA, José Tomaz V. **O papel dos sistemas fotovoltaicos no cenário energético do nordeste brasileiro**. III Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 1994.

MARENGO, José. **Memórias do Seminário Natureza e Sociedade nos Semi-Áridos**. Fortaleza: Banco do Brasil, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), 2006.

MASCARÓ, Juan Luis; MASCARÓ, Lúcia. **Incidência das Variáveis Projetivas e de Construção no Consumo Energético dos Edifícios**. Porto Alegre: Sagra: DC Luzzatto, 1992.

MASCARÓ, Lúcia R. de. **Energia na Edificação : Estratégias para minimizar o seu consumo**. São Paulo: Projeto Editores Associados Ltda, 2 ed, 1991.

MEDEIROS, Josemar X. **Roteiro de projeto para construção de biodigestor modelo indiano**. Disponível em: <www.cprata.com.br/ecofossa.htm>. Acesso em: 10 set. 2008.

MELO, Tâmara Jussara Novaes Cavalcante de. **Possibilidade para implantação de um Parque Paleontológico em Maravilha – Alagoas**. Sociedade do ensino superior de Alagoas, Faculdade de Alagoas, Curso de Turismo. Maceió, 2003.

MENDES, J. C. **Paleontologia Básica**. T. A. Queiroz Editora e editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988. 347p.

MONTOIA, Paulo. **Água, o “Ouro Azul” do nosso século**. Disponível em: <http://www.moderna.com.br/moderna/didaticos/projeto/2006/1/mundo?cod_origem=em>. Acesso em: 20 jan. 2008.

MULFARTH, Roberta C. Kronka. **Arquitetura de Baixo Impacto Humano e Ambiental**. Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, Dezembro, 2002.

NASCIMENTO, Roberto de. **Entulho de construção polui mais que lixo urbano**. Disponível em: < <http://midiaemeioambiente.blogspot.com/2007/10/entulho-de-construo-polui-mais-que-lixo.html> >. Acesso em: 10 set. 2007.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: FIBGE, 1979.

NÓBILE, Alexandre Amato (2003) **Diretrizes para a sustentabilidade ambiental em empreendimentos habitacionais**. Campinas, 412p. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas, 2003. Disponível em: <<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000321391>>. Acesso em: 20 jun. 2006.

OLIVEIRA, Denise Aparecida Soares de (2003) **Desenvolvimento, energia e sustentabilidade: uma perspectiva do Relatório Brundtland**. Campinas, 62 p. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2003. Disponível em: <<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000301988>>. Acesso em: 20 jun. 2006.

OLIVEIRA, Sérgio H. F.; ZILLES, Roberto. **Pequenos geradores fotovoltaicos conectados à rede de distribuição de eletricidade**. III Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 1994.

PASSOS, Isabela Cristina da Silva. **Clima e arquitetura habitacional em Alagoas: estratégias bioclimáticas para Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Alagoas. Maceió - AL, 2009.

PEREIRA, Elizabeth Marques Duarte (2005). **Habitação Solar Sustentável**. Disponível em: <http://www.vitaecivilis.org.br/default.asp?site_Acao=MostraPagina&PaginaId=1847>. Acesso em: 03 abr. 2008.

PEREIRA, Sibeli Warmiling; SOARES, Sebastião Roberto; SOUZA, Danielle Maia de. **A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil**. Disponível em: <http://habitare.infohab.org.br/ArquivosConteudo/ct_7_cap4.pdf> Acesso em: 20 ago. 2008.

PINTO, Ricardo. **Células de silício dez vezes mais finas**. Disponível em: <http://wikienergia.com/~edp/index.php?title=C%C3%A9lulas_de_sil%C3%ADcio_dez_vezes_mais_finas>. Acesso em: 07 jan. 2009.

QUERINO, Carlos Alexandre Santos. **Avaliação da radiação solar em ecossistema de manguezal tropical em Alagoas, Brasil**. Dissertação de mestrado submetida ao Instituto de Ciências Atmosféricas – Pós-graduação em Meteorologia (UFAL), Maceió, 2006.

REIS, Arley. **Prédio da UFSC recebe Etiqueta de Eficiência Energética em Edificações**. Disponível em: <http://www.adjorisc.com.br/jornais/oriosulense/noticias/index.phtml?id_conteudo=206813>. Acesso em: 31 jul. 2009.

REIS, Lineu belico dos; CUNHA, Eldis Camargo Neves. **Energia Elétrica e Sustentabilidade: Aspectos tecnológicos, socioambientais e legais**. Barueri, SP: Manole, 2006 – (Coleção Ambiental).

REIS, Lineu Belico dos; FADIGAS, Eliane A. Amaral, CARVALHO, Cláudio Elias. **Energia, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável**. Barueri, SP: Manole, 2005.

RODRIGUES, Dêlcio. **Energia solar térmica: um grande mercado no Brasil.** SwisscamBrasil, revista da Câmara de Comercio Suíço-Brasileira – nº 42, setembro de 2005.

RODRIGUES, Dêlcio. **Vitae Civilis: Cidades Solares.** Disponível em: <http://www.vitaecivilis.org.br/default.asp?site_Acao=MostraPagina&PaginaId=1847>. Acesso em: 03 abr. 2008.

RODRIGUES, Dêlcio; MATAJS, Roberto. **Um banho de sol para o Brasil: O que os aquecedores solares podem fazer pelo meio ambiente e a sociedade.** São Lourenço da Serra: Vitae Civilis, 2004.

ROGERS, Richard; GUMUCHDJIAN, Philip. **Cidades para um pequeno planeta.** Barcelona: Gustavo Gili, 2001.

RUSCHMANN, Doris. **Turismo e planejamento sustentável: A proteção do meio ambiente.** 3ª edição Editora Papirus. 1999.

SACHS, Ignacy. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável.** Organização Paula Yone Stroh. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.

SACHS, Ignacy. **Desenvolvimento includente, sustentável, sustentado.** Rio de Janeiro: Garamond, 2004.

SANTOS, Amanda Oliveira. **Dimensionamento e construção de um biodigestor modelo indiano utilizando dejetos de caprinos.** Disponível em: <<http://ruralins.to.gov.br/conteudo.php?id=87>>. Acesso em: 10 set. 2008.

SANTOS, Marilene Ramos M. O princípio poluidor-pagador e a gestão de recursos **hídricos: a experiência européia e brasileira.** In: MAY, Peter, LUSTOSA, Maria Cecilia Lustosa., VINHA, Valeria Da. (2003). **Economia do Meio Ambiente.** Rio de Janeiro: Campos, no prelo.

SANTOS, Milton. **A Natureza do Espaço. Técnica e tempo. Razão e emoção.** São Paulo: Editora Hucitec, 2 ed., 1997.

SANTOS, Milton. **Espaço e dominação.** Rio de Janeiro: ED. AGB, 1978.

SANTOS, Milton. **Metamorfoses do espaço habitado: fundamentos teóricos e metodológicos da geografia.** Editora Hucitec, 1988.

SATTLER, Miguel Aloísio. **Estratégias de projeto para habitações do CETHS, em Nova Hartz, RS.** In: Anais do ELECS'2001. II encontro nacional e I encontro latino americano sobre edificações e comunidades sustentáveis. Canela - RS. ANTAC. 24-27 abril de 2001.

SATTLER, Miguel Aloysio; MANFREDINI, Constance. **Estimativa da energia incorporada a materiais de cerâmica vermelha no Rio Grande do Sul.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 23-37, jan./mar. 2005. Disponível em: <<http://www.seer.ufgrs.br/index.php/ambienteconstruido/article/viewArticle/3609>>. Acesso em: 31 jul. 2008.

SATTLER, Miguel Aloysio; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Construção e Meio Ambiente**. Porto Alegre : ANTAC, 2006. — (Coleção Habitare, v. 7). Disponível em: <http://habitare.infohab.org.br/publicacoes_coletanea7.aspx> Acesso em: 31 jul. 2008.

SEGUNDO, Geórgenes Hilário Cavalcante. **Caracterização Hidrodinâmica-Sedimentológica do Estuário e delta do rio São Francisco**. Dissertação de mestrado submetida ao Instituto de Ciências Atmosféricas – Pós-graduação em Meteorologia (UFAL), Maceió, 2001.

SICILIANO, Ana Lucia; ABBUD, Benedito; AMADO, Eloise; PARSchALK, Guinter; PORTO, Marcio Scala; ABLA, Milene Sabbag; VASCONCELOS, Olegario; LISBOA, Paulo. **Grupo de Trabalho de Sustentabilidade: Recomendações básicas de sustentabilidade para projetos de arquitetura**. Disponível em: <http://www.cbcs.org.br/comitestematicos/projeto/artigos/recomendacoes_basicas-asbea.php>. Acesso em: 14 ago. 2008.

SILVA, Ana Beatriz Porto da. **Estudos de dois casos extremos de precipitação sobre a Costa Leste do Nordeste do Brasil**. Dissertação de mestrado submetida ao Instituto de Ciências Atmosféricas – Pós-graduação em Meteorologia (UFAL), Maceió, 2002.

SILVA, Fabiana. **Semi-árido pode crescer em Alagoas**. Disponível em: <<http://www.ojornal-al.com.br/23052004/economia08.htm>>. Acesso em: 07 jan. 2008.

SILVA, Jorge Luiz Lopes da. **Tafonomia em Mamíferos Pleistocênicos: Caso da planície Colúbio – Aluvionar de Maravilha – AL**. Dissertação de Mestrado, 2001.

SILVA, Vanessa Gomes da. **Indicadores de sustentabilidade de edifícios: estado da arte e desafios para desenvolvimento no Brasil**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 47-66, jan./mar. 2007.

SILVA, Vanessa Gomes da. **Metodologias de avaliação de desempenho ambiental de edifícios: estado atual e discussão metodológica**. São Paulo: Projeto Finep 2386/04, 2007. Disponível em: http://www.habitacaosustentavel.pcc.usp.br/pdf/D5_metodologias_de_avaliacao.pdf. Acesso em: 07 jan. 2009.

SIQUEIRA, Murilo Medeiros de. **Universidade no semi-árido**. Disponível em: http://www.iabdf.org.br/sustentabilidade/vencedores/395559/395559_prancha2.pdf. Acesso em: 02 jun. 2009.

SOUZA, Adonis Arantes de. **Arquitetura Bioclimática**. Disponível em: <http://www.dee.ufrj.br/lafae/txt_bioclim.html>. Acesso em: 01 jun. 2008.

SOUZA, Bob de. **Encontro sobre sustentabilidade reúne 420 profissionais da cadeia produtiva e aponta tendências**. Disponível em: <http://bobdesouza.zip.net/arch2008-06-01_2008-06-30.html>. Acesso em: 20 jun. 2008.

SOUZA, José Roberto Bernardes de (2003) **A audiência pública e a mediação ambiental no processo de disputas públicas ambientais**, estudo de caso: EIA da usina termelétrica de Santa Branca – SP. Campinas, 110 P. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de

Campinas, Faculdade de Engenharia Civil. Disponível em:
<<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000313674>>. Acesso em: 20 jun. 2006.

TABACOW, José; BRUNA, Gilda Collet; CHACEL, Fernando. **Iniciativa Solvin 2006: Arquitetura Sustentável**. Organização de Abílio Guerra. São Paulo: Romano Guerra Editora, 2006.

TEIXEIRA, António Joaquim de Lima. **Arquitetura e Sustentabilidade: Tipologias Arquitetônicas e Eficiência Energética em Diferentes Regiões Climáticas**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente/ UFAL, Maceió, 2005.

THEOBALD, William F. **Turismo Global**. Tradução Anna Maria Capovilla, Maria Cristina Guimarães Cupertino, João Ricardo Barros Penteado. São Paulo: Editora SENAC São Paulo, 2001.

TOGNETTI, Marielza Aparecida Rodrigues. **Metodologia da Pesquisa Científica**, 2006. Disponível em: <http://sbi_web.ifsc.usp.br/metodologia_pesquisa_cientifica.pdf>. Acesso em: 10 maio 2008.

TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento de Água de Chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. São Paulo: Navegar Editora MF, 2003.

TOMAZ, Plínio. **Economia de Água para Empresas e Residências: Um Estudo Atualizado Sobre o Uso Racional da Água**. São Paulo: Navegar Editora MF, 2001.

UNGLERT, Carmem. **Água - O Desafio do Século 21**. Dept.o de Saúde Materno-Infantil, Faculdade Saúde Pública - USP. Disponível em:
<<http://www.tvcultura.com.br/aloescola/ciencias/agua-desafio/index.htm>>: Acesso em: 07 jan. 2008.

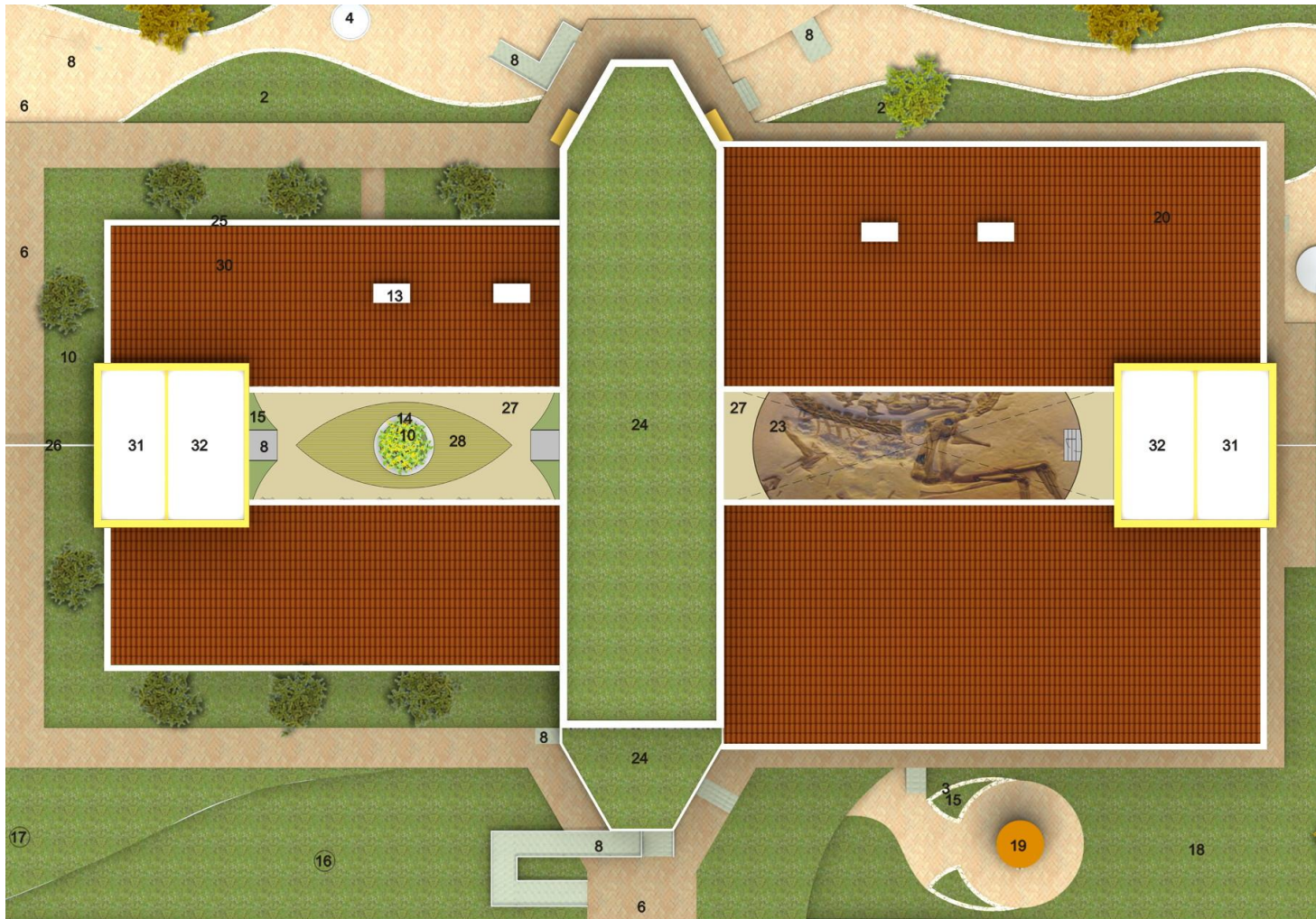
URRY, John. **O olhar do turista: lazer e viagens nas sociedades contemporâneas**. Tradução Carlos Eugênio Marcondes de Moura. São Paulo: Studio Nobel: SESC, 1996.

VIGGIANO, Mário Hermes. **Projetando com diretrizes bioclimáticas**. Disponível em:
<<http://www.casaautonoma.com.br/trabalhos/PROJETANDOCOMDIRETRIZESBIOCLIMATICAS.htm>>. Acesso em: 10 set. 2008.

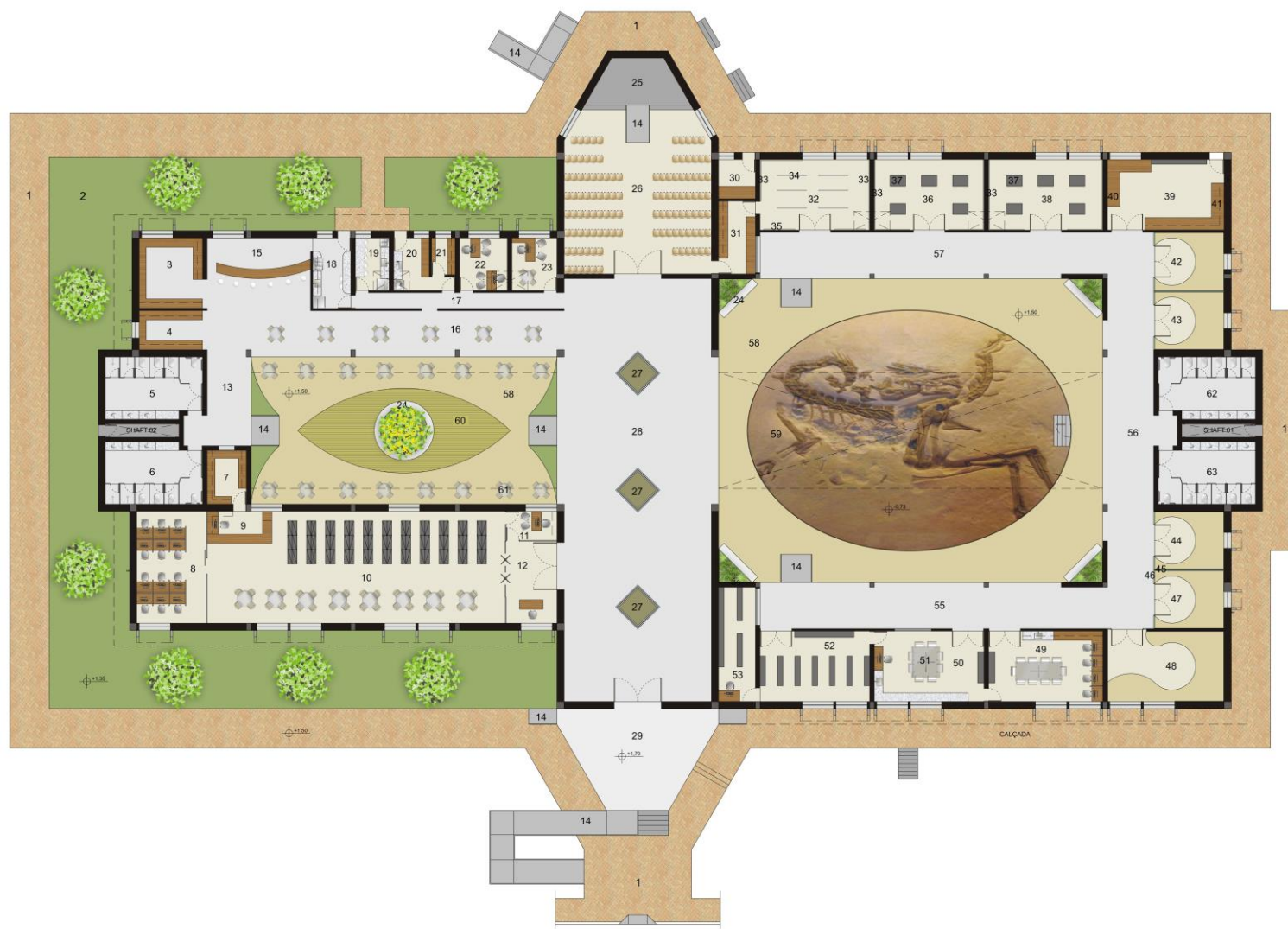
APÊNDICE: ESTUDO PRELIMINAR DO MUSEU DE PALEONTOLOGIA



PLANTA DE LOCAÇÃO E COBERTA



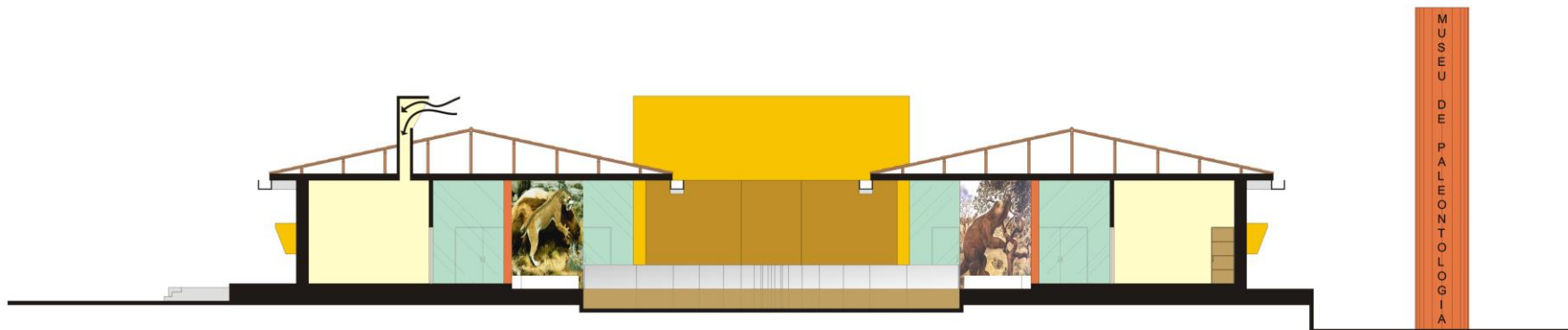
PLANTA DE COBERTA



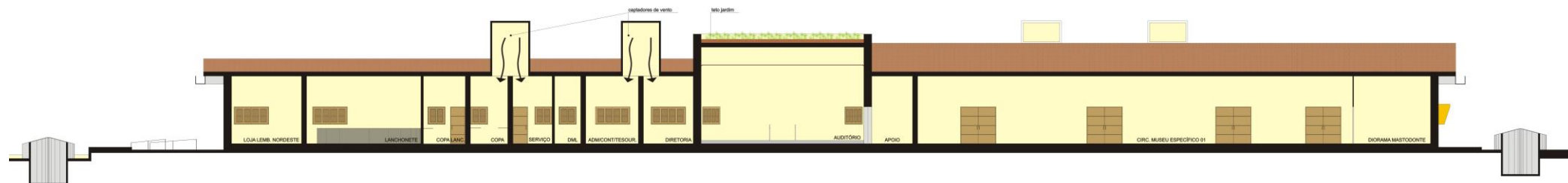
PLANTA BAIXA



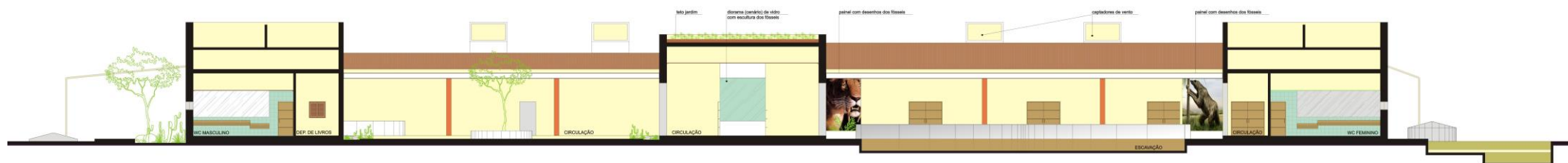
CORTE AA'



CORTE BB'



CORTE CC'



CORTE DD'



FACHADA NORTE



FACHADA SUL



FACHADA LESTE



FACHADA OESTE



PERSPECTIVA INTERNA - DIORAMA



PERSPECTIVA INTERNA – ESCAVAÇÃO



PERSPECTIVA INTERNA



PERSPECTIVA INTERNA



PERSPECTIVA EXTERNA – BIODIGESTOR



PERSPECTIVA EXTERNA



PERSPECTIVA EXTERNA