

ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA PARA O SEMI-ÁRIDO ALAGOANO: PROJETO DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL PARA ZONA RURAL DE MARAVILHA-AL

Tathiane A. L. Martins (1); Leonardo S. Bittencourt (2); Fernando S. Cavalcanti (3)

- (1) Arquiteta, mestranda do Programa de Pós-graduação em Arquitetura, tathianemartins@gmail.com
PROARQ, FAU/UFRJ, Av. Brigadeiro Trompowski, s/nº, sala 433 – Prédio da Reitoria - Cidade
Universitária, Rio de Janeiro, Tel.: (21) 3325.2686.
- (2) PhD, Professor da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, lsb54@hotmail.com
FAU - UFAL, Campus A C Simões, Tabuleiro dos Martins, Maceió - AL, Tel.: (82) 32141283.
- (3) Arquiteto, mestrando do Programa de pós-graduação Construção Civil, feu_sc@hotmail.com
DCC – UFSCar, Rodovia Washington Luís, Km 235 - São Carlos, SP. Tel.: (16) 33518262.

RESUMO

A região semi-árida ocupa cerca de 10% do território brasileiro e 85% da região nordeste. Essa região é caracterizada por baixos índices de desenvolvimento sócio-econômico, por longos períodos de seca e clima bastante hostil. Na zona rural dos municípios sertanejos o problema ainda se agrava, pois a população residente de regiões remotas não possui acesso a energia elétrica nem a água fornecida pela rede convencional. Tais condições têm afetado severamente a qualidade de vida da população, especialmente no que tange ao aspecto ambiental de suas moradias. Em contraposição a essa problemática, o conceito da sustentabilidade vem a propor o uso racional dos recursos naturais e o desenvolvimento responsável do espaço construído, tendo em vista o harmonioso balanço da dinâmica que envolve os aspectos sociais, econômicos e ambientais. Com intuito de buscar alternativas mais sustentáveis para o espaço construído na região semi-árida do estado de Alagoas, o presente trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta arquitetônica de edificação residencial unifamiliar a ser construída na zona rural do município de Maravilha - AL, onde os princípios da arquitetura bioclimática foram condicionantes prioritários. Para tanto, foram consideradas as variáveis climáticas do lugar a partir das quais foram traçadas diretrizes de condicionamento passivo para o projeto. Foram ainda previstos: uso de materiais regionais, energia solar e aproveitamento de águas pluviais. Foi utilizado o software *Ecotect* para estudo da insolação e o *Energyplus* para avaliar o desempenho térmico da edificação. Os resultados das simulações apontaram um satisfatório desempenho para edificação projetada.

Palavras-chave: Arquitetura bioclimática, sustentabilidade, semi-árido alagoano.

ABSTRACT

The semi-arid zone covers 10% of Brazil. This region is part characterized by low levels of social-economic development; poor management of its water resources as well as very adverse climate features. In addition to that, in most rural areas of this region, people survive without electric energy and water from the conventional grid. These issues strongly affect people housing conditions. Great part of the state of Alagoas in Brazil belongs to this scenario. In contrast, the discussion about sustainable development has grown in importance among several fields of knowledge as well as in the domain of the built environment. This new paradigm consists on the rational use of the natural resources through a responsible development of the built environment considering the harmonious balance between social, economic and natural aspects. The aim of this work was to present an bioclimatic architectonic project of a single family house to be located in the rural area of the Maravilha – AL, in the semi-arid zone of Alagoas, Brazil. The local climate features guided the house bioclimatic design. It was yet prescript: the use of local materials, solar energy and rainwater. The building design was previously analyzed by the *Ecotect* and *Energyplus* softwares' concerning the study of the insolation so as its thermal performance. The computational simulations indicated a satisfactory performance of the building.

Keywords: bioclimatic architecture, energetic efficiency, Brazilian semi-arid.

1. INTRODUÇÃO

O semi-árido brasileiro possui sérios e históricos entraves sócio-econômicos e ambientais. O clima hostil, a problemática gestão hídrica, a carência de investimentos administrativos e as desfavoráveis condições de habitabilidade humana, muitas vezes inadequadas as condições ambientais do meio em que se insere, são uns dos principais fatores responsáveis pelos baixos índices de desenvolvimento humano na região.

Segundo dados da PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (IBGE, 2004), a renda mensal de cerca de 50% dos domicílios na região Nordeste não ultrapassa dois salários mínimos. Em localidades do interior do estado de Alagoas, por exemplo, a maioria da população concentra-se em atividades agrícolas ou em serviços de baixa qualificação, com baixos índices de escolaridade e de renda familiar (IPEA, 2002). Esses padrões de renda afetam também as condições de moradia, dificultando o acesso a alguns bens duráveis como é o caso dos aparelhos de ar condicionado, existentes em apenas 7,5% dos domicílios brasileiros (BATISTA, 2006). Na zona rural, o problema ainda se agrava, pois a população residente em regiões remotas não possui acesso a energia elétrica nem a água fornecida pela rede convencional. Muitos habitantes dependem exclusivamente da água da chuva seja para ingestão, higiene pessoal, ou para irrigação das plantações, porém este recurso além de ser limitado, devido aos longos períodos de estiagem na região, é armazenado de forma inadequada.

Evidencia-se, portanto, a necessidade de estudos e processos que impulsionem o desenvolvimento e a gestão mais sustentável nesse contexto. Dentre as possíveis estratégias, o desenvolvimento de técnicas visando à autonomia e a responsabilidade ambiental das habitações pode se apresentar como alternativa sustentável de desenvolvimento nessas localidades. O modelo de desenvolvimento sustentável propõe o uso racional dos recursos naturais e a adequação do espaço construído as características do meio em que se insere, tendo em vista o harmonioso balanço da dinâmica que envolve os aspectos sociais, econômicos, culturais e ambientais (SACHS, 1993).

Baseado nos princípios da sustentabilidade no espaço construído, foram examinadas diversas estratégias arquitetônicas que pudessem se adequar às características ambientais do semi-árido alagoano, tendo como objeto de estudo o projeto de uma residência a ser construída no município de Maravilha-AL. Para tal, foi utilizado um conjunto de estratégias para adequação ambiental, que incluísse recursos renováveis para obtenção de energia e o aproveitamento das águas pluviais, proporcionando uma maior autonomia à edificação. Além disso, o trabalho discute as primeiras e principais decisões na etapa de projeto, que se apresentam como fundamentais para obtenção de uma edificação de baixo consumo energético e reduzido impacto no meio ambiente.

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta arquitetônica de habitação unifamiliar, a ser construída na zona rural do município de Maravilha - semi-árido do estado de Alagoas, a partir dos princípios da arquitetura bioclimática.

3. MÉTODO

Para atender ao objetivo proposto, o trabalho obedeceu às seguintes etapas metodológicas:

1	Caracterização do lugar e análise bioclimática;
2	Definição das estratégias bioclimáticas a serem adotadas no projeto;
3	Estudo da insolação e simulação do desempenho energético através dos programas computacionais;
4	Apresentação de sistemas complementares de projeto.

3.1. Caracterização e análise bioclimática

O município de Maravilha está situado na porção Noroeste do estado de Alagoas, limitado pelos municípios de Poço das Trincheiras, Ouro Branco, Delmiro Gouveia e Canapí. Está localizado à longitude 37.3346 oeste e à Latitude 9.2255 sul, a 274 km da capital Maceió (SMNRH, 2007) (Figura 1). Situado à 380m de altitude, Maravilha encontra-se na encosta da serra da Caiçara, efetivando aí uma das causas que define seus sintomas físico-climáticos, estando a sotavento da região serrana sertaneja. Sua área municipal ocupa 279 km² e está

inserida na meso região do Sertão Alagoano. A população do município é de 10.203 pessoas, sendo 54% da população residente da zona rural.

No que tange ao clima do lugar, este se caracteriza predominantemente pela ocorrência de grandes amplitudes de temperatura diária e sazonal, e de grandes massas de ar quente, condutoras de poeira. O clima do semi-árido apresenta duas estações bem distintas: um período de seca (compreendendo os meses de setembro à março) e um curto período de chuva (de maio à agosto). Outras características importantes do clima são a intensa radiação solar direta e o baixo teor de umidade relativa do ar.

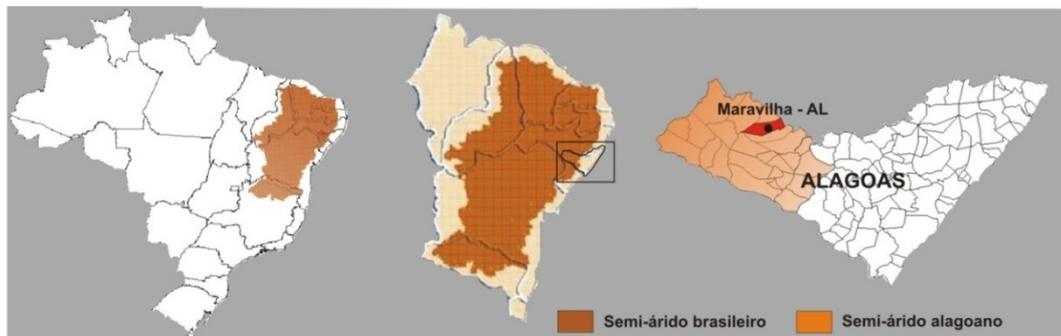


Figura 1 – Localização do município de Maravilha no semi-árido brasileiro (Fonte: adaptado IBGE, 2008).

Como não existe estação de monitoramento climático na região, não foi possível coletar dados meteorológicos para Maravilha. Para tanto, foi utilizada uma série histórica de dados climáticos referente ao município de Paulo Afonso, semi-árido do estado da Bahia, já que as localidades possuem características climáticas bastante semelhantes e Paulo Afonso está presente no banco do software *Energyplus* que será utilizado para simulação computacional do desempenho da edificação.

A Temperatura média anual é de 28,2°C. O mês mais quente é dezembro com temperatura média máxima de 34,6°C e média mínima de 19,30°C (oscilação diária média de 15,3°C) e o mais frio é julho com máxima de 28,1°C e mínima de 19°C. Ocorrem também variações na umidade relativa, mais baixa no verão – com média mensal de 58% e mais elevada no inverno, com média de até 78%. O mesmo ocorre quanto ao regime pluviométrico, as chuvas se concentram mais no inverno, com um longo período de estiagem na primavera e verão, chegando até 6 meses de seca (IBGE, 2007).

Para que os aspectos climáticos pudessem orientar o projeto arquitetônico da residência, tais dados climatológicos foram inicialmente inseridos na carta bioclimática desenvolvida por Givoni (1976), de modo que fossem obtidas as principais recomendações de condicionamento térmico passivo para a edificação. Destacou-se que as estratégias mais indicadas foram: alta inércia térmica para resfriamento (indicada 5,80% das horas do ano), com destaque dessa estratégia para os meses de verão, e associação da massa térmica, resfriamento evaporativo e ventilação (indicadas em 31,2% das horas do ano).

3.2. Definição do projeto

3.2.1. Descrição do sítio e partido arquitetônico

O espaço onde será implantada a edificação está situado a 10 km do núcleo urbano do município de Maravilha - AL. Tal terreno está inserido no interior de uma fazenda onde são realizadas atividades agrícolas e pecuárias (Figura 2).



Figura 2 – Imagens do sítio onde será implantada a edificação, em duas diferentes épocas do ano – no inverno e durante o longo período de seca, respectivamente (Fotos: Tathiane Martins, 2007).

3.2.2. Programa, forma e usuário

O projeto da casa partiu da necessidade de um agricultor residente da localidade, em construir uma residência para a família que administra as atividades agrícolas do local. Concebido para abrigar uma família de seis pessoas, trata-se de um projeto arquitetônico de área útil aproximada de 230m² distribuídos em: 4 quartos, sendo 1 suíte; 1 banheiro; 1 cozinha; 1 sala de estar; 1 Sala de jantar e pátio semi-aberto e varandas.



Figura 3 – Planta de localização e cobertura e planta baixa da edificação.

Conforme mostra a figura 3, a edificação foi orientada no sentido leste-oeste, sendo o setor de serviço com fachadas a noroeste e sudoeste protegidas por extensos beirais (1,80 m) com largos alpendres, o volume central que abriga a zona íntima e social encontra-se orientado para Norte e Sul e a sala de estar e varandas situadas a leste.

O pátio ajardinado foi definido como elemento central de interligação entre os ambientes internos, cuja espacialidade permite que haja integração/reunião entre os habitantes. Tal componente somado a função atribuída aos alpendres foram sugeridas tendo em vista o hábito rotineiro da cultura local de “sentar-se à porta” para conversar na cidade, estendendo a calçada como se fosse ainda parte de suas habitações.

A cobertura da edificação foi combinada por dois diferentes componentes, sendo valorizados como elementos de destaque na composição arquitetônica (Figura 4). O volume central da edificação possui elevada massa térmica com cobertura em teto-jardim e paredes espessas em pedras, respondendo, assim, ao rigor climático do lugar. É nesse núcleo que se encontram dispostos os quartos, banheiro e sala de jantar.

Enquanto, os outros dois volumes que guardam sala de estar em um lado e cozinha no outro são distribuídos para fora possibilitando uma maior interação com a paisagem exterior (Figura 5).



Figura 4 – Representações da casa em corte.



Figura 5 – Perspectivas da residência.

3.2.3. Componentes e estratégias bioclimáticas

A evaporação da água pode reduzir a temperatura e simultaneamente aumentar a umidade relativa do ar de um ambiente, melhorando as condições de conforto térmico de um ambiente (LAMBERTS et al., 2004). Tal recurso foi aplicado ao projeto a partir da inserção de um pátio interno no interior da edificação. O pátio proposto consiste em um espaço semi-aberto dotado de pérgulas e coberto por um teto-jardim. Segundo Koenigsberger (1974), árvores e plantas por meio da evapotranspiração, atribuem para os espaços internos, ar fresco, mantém a poeira baixa e proporcionam conforto térmico, visual e psicológico. Como já foi apresentado no item anterior, um dos hábitos culturais da localidade atribuído, muitas vezes às tipologias arquitetônicas, é o encontro entre as pessoas nas portas de casa ou na “sala do viver”. A estratégia bioclimática aplicada busca promover conforto humano na edificação, priorizando os espaços de maior permanência e sua relação com os aspectos sócio-culturais do lugar. Acima da estrutura da cobertura em teto-jardim encontra-se uma manta impermeabilizante e espécies vegetais locais, dos tipos cactáceos e algumas bromeliáceas, pois seriam as únicas forrações que possibilitariam manutenção ao longo dos períodos de estiagem. Tendo visto que a cobertura é a superfície do edifício responsável pelos maiores ganhos de calor por radiação, prover uma cobertura vegetal para a edificação pode favorecer a condições mais próximas para o conforto térmico na edificação.

Outra solução apontada para aplicação no projeto arquitetônico é a massa térmica para resfriamento da edificação. O uso da inércia térmica no edifício pode diminuir a amplitude da temperatura interior em relação à exterior, evitando os picos (KOENIGSBERGER, 1976). Para alcançar essa estratégia, as paredes e as cobertas da casa foram projetadas com materiais de alta capacidade térmica. A eficácia desse método será alcançada na medida em que o calor armazenado nas paredes e na cobertura é retardado e só atinge o interior da edificação no período noturno, quando a temperatura diminui significativamente e o calor passa a ser bem-vindo, conforme demonstrado nas simulações que serão apresentadas em seguida.

3.2.4. Seleção dos materiais

Dois critérios principais guiaram a seleção dos materiais para habitação. O primeiro se deu pelas propriedades físicas dos materiais que deveriam obedecer, conforme orientação da fachada, a estratégia de isolamento e massa térmica para minimização do efeito da amplitude de temperatura diária encontrada no clima local. E o segundo, pela disponibilidade de materiais com potencial construtivo na própria região, visto que dessa forma o custo da obra pode ser minimizado, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental.

Como foi possível observar, em pesquisa *in loco*, três materiais principais são bastante abundantes na localidade e apresentam um baixo custo orçamentário: pedra, areia e tijolo maciço (fabricado em olaria nas proximidades do sítio). Optou-se pelo uso da pedra em seu estado bruto, aplicada no volume central da edificação com espessura de 50 cm na base e 35 cm ao alcançar o teto-jardim em concreto maciço. Já nos dois volumes cobertos por telha canal, as paredes foram compostas por tijolo maciço, nas fachadas sombreadas pelos alpendres e nas empenas expostas a radiação solar as paredes foram dobradas com inserção de uma câmara de ar entre as paredes.

3.3. Estudo da insolação e simulação computacional

Todas as fachadas e aberturas foram desenhadas com o auxílio da carta solar para região, definindo-se os ângulos de sombreamento necessários para os períodos e horários indicados para proteção solar. Além disso, com o auxílio do programa *Ecotect* foi realizado um estudo de insolação sobre o volume da edificação, permitindo a visualização tridimensional das áreas sombreadas para os períodos de verão e inverno (Figura 6). Verificou-se, por meio das sombras projetadas, que os beirais previstos contribuiriam significativamente para proteção das principais aberturas da casa, resultando em melhores condições de desempenho térmico, como será visto a seguir nas simulações com o software *Energyplus*.

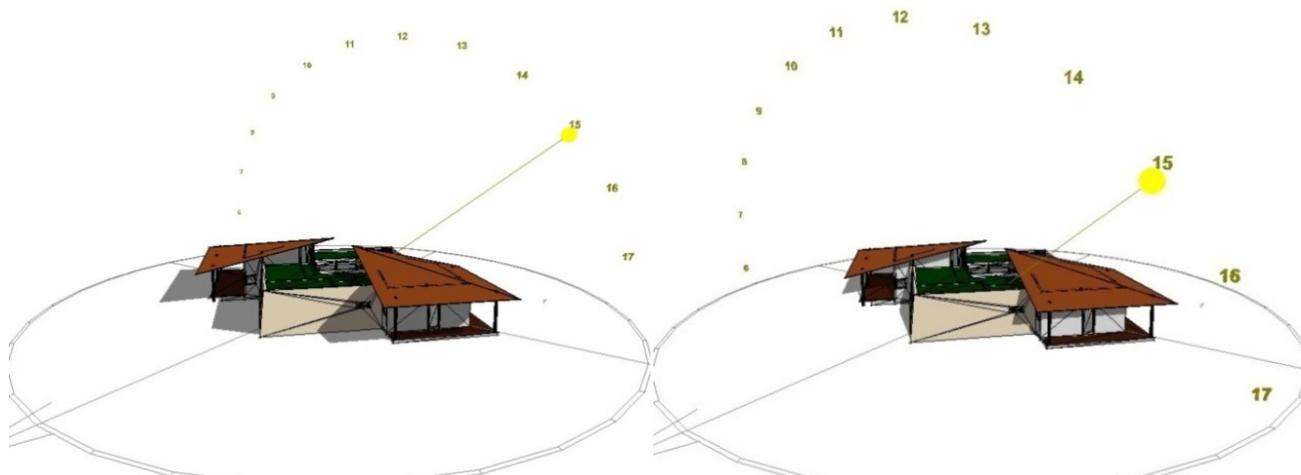


Figura 6– Estudo de insolação para Solstício de Inverno e Verão, respectivamente no software *Ecotect*.

As simulações computacionais têm se mostrado uma ferramenta importante na elaboração de projetos de edificações, pois à medida que a capacidade de processamento dos computadores evolui, a trabalhabilidade conjunta de uma grande quantidade de variáveis em um curto espaço de tempo aumenta. Diante disto, realizou-se a simulação computacional da edificação utilizando o software *EnergyPlus*, que foi elaborado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos e considerado internacionalmente como um dos melhores da atualidade para avaliação de Desempenho térmico e Eficiência Energética de edificações (HAGEL, 2005).

A simulação computacional colabora na tomada de decisões, por possibilitar análises, em ambiente virtual, do conforto térmico dos usuários. A escolha do programa *EnergyPlus* como ferramenta é justificada pelos recursos por ele oferecidos, quando comparado com outros programas de simulação de eficiência

energética em edifícios, como o BLAST, DOE-2, 1E, TRACE, TRNSYS, TAS e ESP-r (CRAWLEY et al, 2005).

Para a realização desta simulação, como já foi mencionado anteriormente, foi considerado conveniente utilizar o arquivo climático (.epw) da cidade de Paulo Afonso-BA, tendo em vista a ausência de dados para elaboração do mesmo arquivo para a cidade de Maravilha - AL e a semelhança entre os climas destas cidades.

Para avaliar os níveis de conforto térmico proporcionados pelo projeto apresentado, adotaram-se os intervalos confortáveis de temperatura estabelecidos na Norma ASHRAE 55-2004 (ASHRAE, 2004), para ambientes naturalmente ventilados (Equação 1). Uma importante virtude dessa norma é seu caráter adaptativo, ou seja, o reconhecimento de que populações aclimatadas em regiões quentes preferem temperaturas mais altas que as preferidas pelos habitantes de zonas frias, e vice-versa.

$$T_n = 17.9 + 0.31 \cdot T_{med} \quad \text{Equação 1}$$

Sendo: **T_n** = Temperatura operativa interna ideal, ou de “neutralidade térmica” (°C). Para ambientes em que haja pouca diferença entre temperaturas superficiais e temperatura do ar, esta última pode ser aplicada no lugar da temperatura operativa.

T_{med} = Média mensal da temperatura do ar exterior (°C), sendo a equação 1 válida para T_{med} entre 10.0 e 33.5°C.

Em torno da temperatura neutra, a ASHRAE estabelece um intervalo de temperaturas consideradas como confortáveis, definido pelos seguintes limites:

$$\text{Limite Superior} = T_n + \text{Tolerância} \quad \text{Equação 2}$$

$$\text{Limite Inferior} = T_n - \text{Tolerância} \quad \text{Equação 3}$$

No presente trabalho, adotou-se a tolerância de 3.4 °C, que satisfaz a 80% dos usuários, conforme indicação da ASHRAE (2004).

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. Resultados das simulações computacionais

A simulação computacional foi realizada utilizando 3 zonas para análise dos resultados, conforme apresentado na figura 7, a zona 1 localizada no volume de serviço, a oeste da edificação, a zona 2 na área central, dotada de pátio interno e teto-jardim e a zona 3 no volume localizado a leste da edificação.

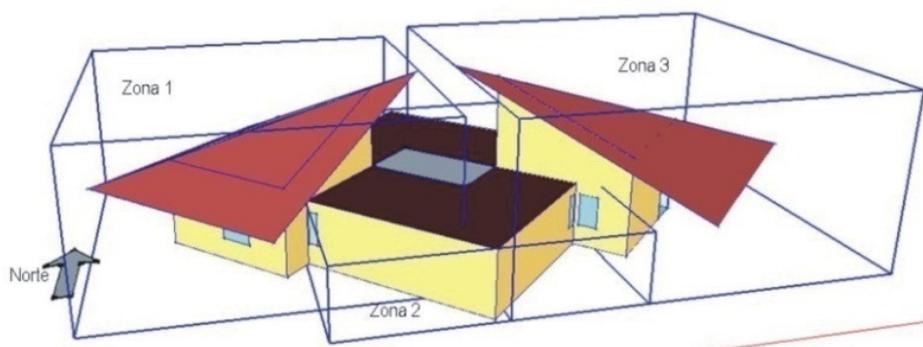


Figura 7 – Perspectiva da edificação com delimitação das zonas para simulação no software *EnergyPlus*.

A partir das simulações, observou-se que o pátio interno, aliado a massa térmica do teto-jardim, possibilitou uma temperatura mais amena em quase todo o ano na zona 2, quando comparado com as demais zonas. As esquadrias em venezianas possibilitaram uma importante redução de ganho de calor emitido pela radiação solar no decorrer do dia, visto que os resultados da simulação não apresentaram ganhos significativos de calor interno.

No setor social (zona 3), como havia uma grande empena em duas paredes que recebem a insolação oeste de forma direta, o uso de paredes duplas construídas com tijolo maciço, com espaçamento de 3 cm, também reduziu a temperatura nesta zona, quando comparados os resultados das simulação considerando apenas paredes simples, devido a importante contribuição da resistência térmica proporcionada pela câmara de ar. O amplo beiral na zona 3 foi outro importante componente que contribuiu para uma melhor eficiência na avaliação do desempenho térmico da edificação, protegendo as fachadas da radiação solar direta.

A Tabela 1 apresenta os resultados da simulação, bem como o limite inferior e superior para a zona de conforto no que diz respeito à satisfação de 80% dos usuários, para cada uma das zonas definidas.

Tabela 1– Desempenho térmico para a habitação, por mês e por zona, considerando conforto para 80% dos usuários.

MÊS	TEMP MEDIA MENSAL (°C)	LIM INFERIOR - ZONA DE CONFORTO 80% (°C)	LIM SUPERIOR - ZONA DE CONFORTO 80% (°C)	TEMPERATURA ZONA 1 (°C)	TEMPERATURA ZONA 2 (°C)	TEMPERATURA ZONA 3 (°C)
JAN	30	23.8	30.6	29.20	28.56	30.06
FEV	30.1	23.8	30.6	29.45	29.03	30.45
MAR	29.9	23.8	30.6	28.81	28.21	29.31
ABR	29.2	23.6	30.4	28.62	28.53	28.66
MAI	27.3	23.0	29.8	28.33	28.55	27.94
JUN	25.5	22.4	29.2	27.66	27.48	26.74
JUL	25	22.3	29.1	27.69	27.39	26.74
AGO	25.3	22.3	29.1	28.20	27.92	27.03
SET	26.7	22.8	29.6	29.20	28.68	29.14
OUT	28.4	23.3	30.1	29.53	28.94	30.08
NOV	29.7	23.7	30.5	29.30	28.66	29.75
DEZ	30.4	23.9	30.7	28.75	27.95	29.17

Para satisfazer a 80% dos usuários, observa-se na figura 8 que durante todo o ano a edificação encontra-se com temperaturas dentro da zona de conforto prevista, mesmo com curva da temperatura da zona 3 (zona com temperatura mais alta) tangenciando a curva do limite em alguns meses, como fevereiro e outubro, o resultado foi satisfatório para este intervalo, conforme mostra a figura 8.

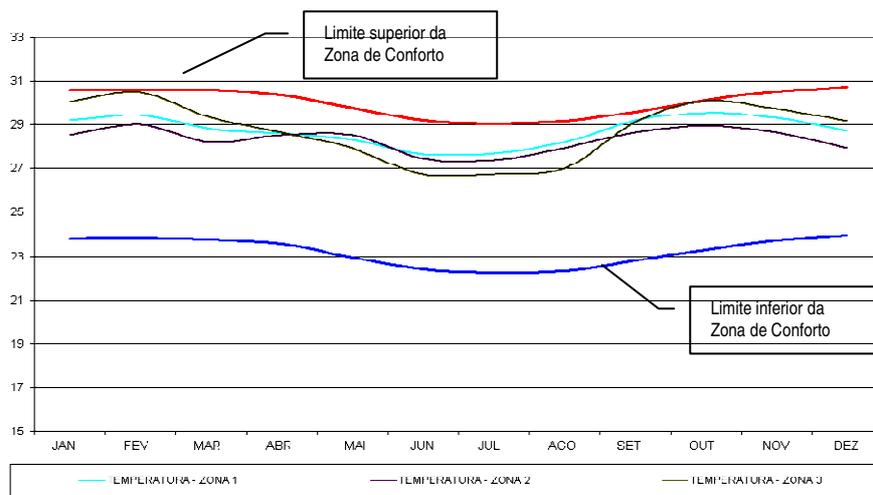


Figura 8– Resultados das simulações com a zona de conforto para satisfazer 80% dos usuários

4.2. Aspectos complementares

Na tentativa de atribuir um caráter mais sustentável à edificação e visto que esta será construída numa localidade isolada, outros aspectos foram incluídos na etapa de planejamento da edificação. Foi estimado o cálculo para aproveitamento de águas pluviais, a partir do regime pluviométrico da região; cálculo para dimensionamento do sistema de aquecimento solar para água e sistema solar para geração de energia elétrica, através de placas fotovoltaicas.

4.2.1. Cálculo do aproveitamento de águas pluviais

Como já foi dito, grande parte da população rural do município de Maravilha não possui acesso a distribuição da água pela rede estadual. A fonte de água utilizada em regiões remotas é água da chuva que costuma ser armazenada de forma inadequada em açudes e barragens, estruturas expostas ao alto teor de evaporação. Além disso, a formação geológica que dá origem ao solo é cristalina, com baixo potencial para acumulação de água subterrânea (ABCMAC, 1999).

No entanto, o regime pluviométrico da região estudada apesar de apresentar alta variabilidade, possui potencial de aproveitamento, se adequadamente coletada e armazenada. O sistema de captação e armazenamento de água de chuva para o consumo humano que será dimensionado para o projeto da residência consiste em aproveitar os telhados da casa como área de captação e uma cisterna enterrada (para reduzir a perda pelo calor) como recipiente para armazenamento.

Para um pré-dimensionamento da cisterna para edificação foi adotada a seguinte equação 4, em função da pluviosidade local e a área de captação (TOMÁZ, 2003):

$$V = P \times A \times C \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

V = volume da cisterna (m³)

P = precipitação anual (m)

A = área projetada da cobertura (m²)

C = coeficiente de escoamento superficial (*runoff* = 0.80)

Tendo que o regime anual do município é de cerca de 650 mm, segundo dados fornecidos pela Secretaria de Recursos Hídricos de Alagoas, e que a área de captação da residência seria de 249,02 m², obtém-se: $V = 0,65 \times 249,02 \times 0,8 \therefore V = 129,49 \text{ m}^3$.

Assumindo um consumo diário per capita de 50 litros para 6 usuários, um coeficiente de perda de 1,1, o volume da cisterna já calculado garante o abastecimento para banho na casa por 392 dias (12 meses), como segue a equação 5 abaixo (TOMÁZ, 2003):

$$V = K \times C \times N \times D \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

C = Consumo per capita diário;

K = Coeficiente de perdas;

N = Número de usuários;

V = volume da cisterna;

D = Número de dias de armazenamento.

Para caixa d'água elevada foi calculada uma capacidade de 600L a uma altura de 1.5 m do chuveiro garantindo pressão e autonomia para garantir abastecimento por 2 dias. Não haveria necessidade de um volume maior, uma vez que a cisterna está próxima e pode bombear água para caixa d'água quando necessário.

4.2.2. Dimensionamento do sistema para aquecimento solar da água

Considerando o uso racional da água e que foi previsto um consumo de 50 litros diários por pessoa (levando em conta, consumo de água quente apenas para banho para 6 usuários), tem-se um consumo total de 300L/dia.

O cálculo do sistema solar para aquecimento térmico da água foi iniciado a partir de um algoritmo simplificado, conforme sugerido por Barroso-Krause (2005). Para o dado volume de água, considerou-se: 1 m^2 (para iniciar o sistema) + $1 \text{ m}^2 \times (300/100) \text{ m}^2 = 4 \text{ m}^2$ de área para o coletor.

Considerando a área útil de um dado coletor solar de 1,6 m², foi previsto, então, 3 placas coletoras para residência. O reservatório (boiler) especificado possui capacidade de 300L e dimensões de 0,56 m de diâmetro, 1,7 m de comprimento, com potência de 3000 w e pressão de 4 Kg/cm². Os coletores foram orientados conforme a latitude do lugar (9°25' Sul). Tal orientação permite que o coletor seja posicionado aproveitando a inclinação da própria cobertura ($i = 10^\circ$), sem ser necessário qualquer tipo de suporte para este fim. Foi previsto que estes ficassem situados na cobertura do volume de serviço à Noroeste, próximo aos dois banheiros da casa.

4.2.3. Dimensionamento do sistema solar fotovoltaico

Energia fotovoltaica é o tipo de energia obtida pela conversão direta da luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico). Esse efeito é tido pelo aparecimento de uma diferença de potência nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. A energia produzida pode ser utilizada diretamente, pode ser convertida em corrente alternada, como também pode ser armazenada para ser utilizada posteriormente. O elemento básico do sistema é a célula solar feita de um material semicondutor, tipicamente silicone. Na presença de luz solar, uma carga elétrica é gerada através da junção entre dois materiais (similar a cátodo e ânodo). A corrente elétrica produzida é passada para uma rede de metal, o contato com a parte posterior das células completa o circuito (ROAF, 2004). Os equipamentos utilizados para gerar a energia fotovoltaica ainda são um pouco caros quando comparados com outros sistemas, como

hidroelétricas e termelétricas, mas atualmente esta atividade industrial está entre as que mais crescem no mundo, e a sua produção em escala maior vem a reduzir o seu custo (RÜTHER, 2003; ROAF, 2004).

A casa será operada unicamente pelo sistema descrito, visto que esta foi projetada dentro do sítio cuja sede principal que recebe energia do provedor estadual (CEAL) fica a cinco quilômetros da casa, e seria dispendiosa a extensão dessa estrutura para o local e, tendo em vista ainda que o principal objetivo do projeto foi tornar a edificação autônoma.

Estimou-se que o consumo energético mensal para operação da residência, levando-se em conta a potência de equipamentos eletrônicos (geladeira, TV e iluminação artificial), seria de aproximadamente 234 Kwh/mês. Considerando a placa fotovoltaica ofertada por uma empresa nacional que possui capacidade para geração de 595 wh/dia, tem-se:

234.000 wh/ mês: 30 = 7 800 wh/ dia, dividindo pela capacidade oferecida pela placa, tem-se, portanto: 7 800 wh/ dia: 595 wh/ dia \approx 14 placas de dimensões iguais a 1590 x 790 x 34 mm.

As placas foram orientadas conforme inclinação da coberta ($i=10^\circ$) no volume onde se encontra a zona social, à Nordeste, considerando a mesma situação já exposta no item anterior.

5. CONCLUSÕES

O trabalho apresentou uma proposta arquitetônica de habitação para o contexto climático do semi-árido alagoano. Uma vez previstas as principais estratégias bioclimáticas para edificação, tornou-se possível conduzir e definir os componentes e técnicas mais adequados no que tange a adequação ambiental do projeto. A partir dos resultados obtidos nas simulações computacionais verificou-se a eficiência dessas diretrizes na contribuição para o conforto térmico aos futuros usuários da casa projetada. Para condição examinada e os limites de conforto previstos, todas as zonas da casa apresentaram satisfatório desempenho térmico.

Como instrumento de estudo da eficácia das estratégias arquitetônicas adotadas, os programas de simulação computacional foram de fundamental importância no desenvolvimento do projeto da residência, na medida em que permitem um ajuste quantitativo no dimensionamento dos seus componentes e na escolha dos materiais utilizados.

Os resultados apresentados, entretanto, revelam a importância da sensibilidade em entender qualitativamente as características e peculiaridades de cada lugar a fim de considerá-las como importantes condicionantes nas primeiras decisões de projeto, na busca por uma arquitetura mais sustentável.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE Standard 55-2004. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta, 2004.
- BARROSO-KRAUSE, C. **Instalação de coletor solar: dicas para arquitetura**. Apostila de aula. Programa de Pós-graduação em Arquitetura. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.
- BATISTA, J. O. **A Arquitetura e o Desempenho Térmico no contexto do Semi-árido Alagoano**: estudos de caso em Santana de Ipanema – AL. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- CRAWLEY, D. B.; HAND, J. W; KUMMERT, M; GRIFFITH, B. T. **Constrating the Capabilities of building energy performance simulation programs**. Relatório técnico produzido por: United States Department of Energy, University of Strathclyde e University of Wisconsin. Julho, 2005.
- GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture**. Second Edition, Applied Science Publishers, London, 1976.
- HAGEL, A. P. L. A. **Análise Computacional da demanda energética de climatização de edifício**. Relatório submetido para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico à Universidade de Brasília, Junho, 2005.
- IBGE. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios**. Síntese de indicadores 2007. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 19 outubro 2007.
- IPEA. **Caracterização e tendências da rede urbana do Brasil: configurações atuais e tendências da rede urbana**. v. 1. Brasília: IPEA, 2001.
- KOENIGSBERGER, O. H.; MAYHEW, A.; SZOKOLAY, S.V. **Manual of Tropical Housing and Building**, Longman, London, 1976.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência energética na arquitetura**. 2ª edição, revisada. São Paulo: Prolivros, 2004.
- ROAF, S.; FUENTES, M.; THOMAS, S. **Ecohouse: a casa ambientalmente sustentável**. 2ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- RÜTHER, R. Sistema Solar Fotovoltaico Integrado à Arquitetura de Edificação Urbana e Interligado à Rede Elétrica Pública. In: **Coletânea de Artigos - Energias Solar e Eólica**. v.1, Souza; Silva; Dutra (orgs.). Rio de Janeiro: CRESESB/CEPEL, 2003.
- SACHS, Ignacy. **Estratégia de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente**. São Paulo: Studio Nobel: Fundação do desenvolvimento administrativo (FUNDAP), 1993.
- TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. São Paulo: Navegar Editora, 2003.