



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO

**ANTEPROJETO DE HABITAÇÃO POPULAR BIOCLIMÁTICA PARA A CIDADE
DE MACEIÓ-AL, COM VISTA A OBTENÇÃO DE TÍTULO DE EDIFÍCIO DE
ENERGIA ZERO.**

Trabalho Final de Graduação em Arquitetura e Urbanismo

ALUNA: Ana Clara Almeida Cavalcanti
PROFESSOR ORIENTADOR: Juliana Oliveira Batista

Maceió, maio de 2022.

ANA CLARA ALMEIDA CAVALCANTI

**ANTEPROJETO DE HABITAÇÃO POPULAR BIOCLIMÁTICA PARA A CIDADE
DE MACEIÓ-AL, COM VISTA A OBTENÇÃO DE TÍTULO DE EDIFÍCIO DE
ENERGIA ZERO.**

Trabalho Final de Graduação em Arquitetura e
Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas, como
requisito para a obtenção do grau de bacharel em
Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof.^a Juliana Oliveira Batista

Maceió, maio de 2022.

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central

Bibliotecário: Cláudio César Temóteo Galvino – CRB4/1459

- C377a Cavalcanti, Ana Clara Almeida.
Anteprojeto de habitação popular bioclimática para a cidade de Maceió-Al,
com vista a obtenção de título de edifício de energia zero / Ana Clara Almeida
Cavalcanti. – 2022.
[109] f.: il.
- Orientadora: Juliana Oliveira Batista.
Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo) –
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e Design, Universidade Federal de
Alagoas, Maceió, 2022.
- Bibliografia: f. 99-105.
Anexos: f. 106-109.
1. Eficiência energética em edificações. 2. Edifícios de energia zero. 3.
Habitação popular. I. Título.

CDU: 728:621.472

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, sei que Ele me guiou até aqui.

Aos meus pais, Carlos e Rosângela, por todo amor, incentivo e encorajamento que sempre me dedicaram.

Aos meus irmãos, cada um deles tem uma contribuição especial no que sou.

A minha orientadora, professora Juliana Oliveira Batista, por todo o suporte e prontidão oferecidos, pela paciência, incentivos e confiança no desenvolvimento deste trabalho.

Tive a sorte de encontrar pessoas especiais que moldaram meu caminho e agradeço a todos os colegas da FAUD que fizeram parte da minha vida acadêmica e a todos os professores da FAUD que tive o privilégio de ser aluna.

Agradeço também pela oportunidade em fazer parte da Universidade Federal de Alagoas, esta instituição me possibilitou a entrada num mundo de diversidade e conhecimento e me transformou.

RESUMO

Este trabalho apresenta propostas arquitetônicas em nível de anteprojeto de habitação popular bioclimática, para a cidade de Maceió-AL, com fim de obter o título de edifício de energia zero. As propostas foram feitas para um terreno hipotético e sua implantação no terreno foi definida com relação à orientação solar da fachada principal: Norte ou Sul. Foi objetivo do trabalho a aplicação de medidas de eficiência energética e arquitetura bioclimática nas propostas “Norte” e “Sul” para alcançarem a Classe A da ENCE e a introdução de sistemas fotovoltaicos que suprem 100% da demanda de energia elétrica anual. O método utilizado para estimar o consumo de energia anual foi a nova proposta de classificação da ENCE, a Instrução Normativa para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R). Optou-se pelo método simplificado, onde dois sistemas individuais são avaliados: envoltória e aquecimento de água. Os resultados mostraram que as duas propostas alcançaram a classe A de eficiência energética da ENCE, apresentando um percentual de redução do consumo de 37% em relação à edificação na condição de referência. O consumo estimado de energia calculado foi utilizado para dimensionamento simplificado do sistema de geração local fotovoltaica. O sistema dimensionado utilizará 8 módulos e produzirá 3485 kWh/ano, gerando excedentes que retornam a rede pública. Por fim, após o incremento da geração local fotovoltaica nas propostas, estas recebem a classificação de eficiência energética A+ na ENCE e se configuram como edifício de energia positiva (EPP).

Palavras-chave: Eficiência Energética em Edificações, Edifícios de Energia Zero, Habitação Popular.

ABSTRACT

This work presents architectural proposals at the level of a bioclimatic popular housing project, for the city of Maceió-AL, in order to obtain the title of zero energy building. The proposals were made for a hypothetical land and its implantation in the land was defined in relation to the solar orientation of the main facade: North or South. The objective of the work was the application of energy efficiency measures and bioclimatic architecture in the "North" and "South" proposals to reach ENCE Class A and the introduction of photovoltaic systems that supply 100% of the annual electricity demand. The method used to estimate annual energy consumption was ENCE's new classification proposal, the Normative Instruction for the Energy Efficiency Classification of Residential Buildings (INI-R). The simplified method was chosen, where two individual systems are evaluated: envelope and water heating. The results showed that the two proposals reached ENCE's class A of energy efficiency, presenting a percentage of consumption reduction of 37% in relation to the building in the reference condition. The estimated energy consumption calculated was used for simplified sizing of the photovoltaic local generation system. The dimensioned system will use 8 modules and will produce 3485 kWh/year, generating surpluses that return to the public grid. Finally, after the increase in local photovoltaic generation in the proposals, they receive an A+ energy efficiency rating at ENCE and are configured as a positive energy building (EPP).

Keywords: Energy Efficiency in Buildings, Zero Energy Buildings, Popular Housing.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVOS.....	13
1.1.1 Objetivo Geral	13
1.1.2 Objetivos Específicos	13
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.2 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	15
2.2.1 Estratégias Bioclimática	17
2.2.1.1 Ventilação Natural.....	17
2.2.1.1.1 Ventilação Cruzada.....	18
2.2.1.1.2 Peitoril Ventilado	18
2.2.1.2 Iluminação Natural	19
2.2.1.3 Sombreamento.....	21
2.2.1.1.3.1 Beirais	21
2.2.1.1.3.2 Venezianas.....	22
2.2.1.4 Pintura externa refletiva	22
2.2 SELO PROCEL EDIFICAÇÕES, ETIQUETA PBEEDIFICA E INSTRUÇÃO NORMATIVA DO IMMETRO PARA CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	24
2.2.1 ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia	25
2.2.2 INI-R – Instrução Normativa Inmetro para classe de eficiência energética de edificações residenciais	27
2.2.2.1 Método Prescritivo	27
2.2.2.2 Método Simplificado	28
2.2.2.3 Método de Simulação	29
2.2.2.4 Geração Local De Energia Renovável	29
2.2.2.5 Nearly Zero Energy Buildings (NZEBS)	30
2.2.2.6 Edifício de Energia Positiva.....	30
2.2.2.7 Emissões de dióxido de carbono	30
2.1.2.8 Uso Racional de Água	31
2.3 EDIFÍCIO DE ENERGIA ZERO	32

2.3.1 Cenário Mundial e Nacional	34
2.3.2 Geração local – Sistema de geração fotovoltaica.....	36
2.3.3 Legislação Aplicável.....	37
3 APRESENTAÇÃO DO PROJETO	39
3.1 INTRODUÇÃO: CONDICIONANTES DE PROJETO.....	39
3.1.1	
Contextualização Climática.....	39
3.1.2 Terreno e Implantação	41
3.1.3 Programa de Necessidades	44
3.2 O PROJETO	46
3.2.1 Setorização	46
3.2.2 Proposta “Norte”.....	47
3.2.3 Proposta “Sul”.....	50
3.2.4 Layout e Acessibilidade	52
3.2.5 Layout	52
3.2.6 Identidade Visual	54
3.2.7 Opção de ampliação	55
3.2.8 Materiais e métodos construtivos	59
3.3 ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS E DE EFICIÊNCIA E	62
3.3.1 Ventilação Natural	62
3.3.2 Iluminação Natural	64
3.3.3 Incidência Solar e Sombreamento	64
4 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	71
4.1 APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO DA INI-R	71
4.1.1 Levantamento dos parâmetros de envoltória	71
4.1.1.1 Propriedades Térmicas da Condição Real	71
4.1.1.2 Esquadrias e Percentual de Abertura para Ventilação.....	73
4.1.1.3 Sombreamento.....	75
4.1.2 Aplicação do Método Simplificado Da INI-R.....	76
4.1.2.1 Envoltória	76
4.1.2.2 Aquecimento de água	79
4.1.3 Consumo total por tipo de energia	81
4.1.3.1 Consumo de energia elétrica	81

4.1.3.2 Consumo de energia térmica	81
4.1.3.3 Consumo de energia primária.....	82
4.1.4 Classificação de EE	82
4.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE GERAÇÃO LOCAL DE ENERGIA FOTVOLTAICA	83
5 RESULTADOS	85
5.1 APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO	85
5.1.1 Envoltória	85
5.1.2 Aquecimento de água.....	85
5.1.3 Consumo total.....	86
5.1.3.1 Consumo de energia elétrica	86
5.1.3.1 Consumo de energia primária.....	86
5.1.4 Classificação de EE	86
5.2 GERAÇÃO LOCAL	87
5.3 PROJETO MODIFICADO – EEP	89
5.4 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS	91
6 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	96
6.1 ANÁLISE DO MÉTODO SIMPLIFICADO DA INI-R.....	89
6.2 LIMITAÇÕES DO TRABALHO	91
6.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
ANEXO A – PRANCHAS DO PROJETO	106

1 INTRODUÇÃO

Os programas habitacionais ganharam força nas últimas décadas promovendo a construção de moradias como forma de suprir o déficit habitacional do país e aquecer a indústria da construção civil.

Um exemplo foi o programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), uma iniciativa concreta de política pública em habitação do Governo Federal que operava em parceria com estados, municípios, empresas e entidades sem fins lucrativos para financiar imóveis com condições atrativas para famílias com renda bruta de até R\$ 7.000,00 por mês. Desde agosto de 2020, as operações de financiamento contratadas com recursos do FGTS integram o Programa Casa Verde e Amarela (CAIXA, 2022).

Setores de habitação e construção respondem por proporções significativas da economia nacional e constituem um componente-chave de desenvolvimento e diversificação tanto nos países desenvolvidos quanto nos em desenvolvimento. A habitação deve ser um elemento central da vida social e econômica de um país e os benefícios produtivos e econômicos da habitação não podem ser ignorados (ONUhabitat, 2015).

Entretanto, a habitação popular que foi produzida nos últimos anos em larga escala gerou resultados negativos como moradias com baixa qualidade, desde a sua localização, qualidade construtiva, urbanização a ausência de sustentabilidade (MOURA, 2020). A habitação popular produzida em função da economia por grandes construtoras no país desconsiderou especificidades regionais e causou problemas de conforto ambiental, desempenho e eficiência dos materiais utilizados (FERREIRA, 2012).

No país ainda há um grande espaço a ser explorado na melhoria da qualidade das moradias produzidas. “Medidas passivas da envoltória são alternativas possíveis e de baixo custo para o aumento do desempenho termoenergético da edificação se consideradas dentro uma abordagem regional, levando em conta as diferentes zonas bioclimáticas do Brasil.” (MDR, 2021) É necessário incentivar a modernização no setor da construção de habitação popular e buscar inovação tecnológica para a melhoria da qualidade, da durabilidade, da segurança, do conforto ambiental e da habitabilidade para as pessoas (MDR, 2021).

Um edifício que proporciona conforto ambiental aos usuários deve satisfazer as necessidades humanas através de técnicas passivas no ambiente construído. A eficiência energética é um atributo inerente à edificação que possibilita que o edifício tenha as mesmas condições de conforto ambiental com um baixo consumo de energia (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Produzir habitações de qualidade, com estratégias de arquitetura bioclimática aplicadas irá proporcionar o conforto do usuário e contribuir para que a eficiência energética seja alcançada na edificação. Além de garantir melhor qualidade de vida aos moradores e gerar economia financeira, pois as despesas para manter o ambiente com boa condição de habitabilidade usando recursos externos (ventiladores e ar-condicionado) são minimizadas (MDR, 2021).

Ademais, é importante ressaltar que os edifícios são peça-chave para um futuro sustentável (IEA, 2019), sendo a economia de energia uma das estratégias para promover a sustentabilidade na construção civil. Setores de construção civil e edifícios são responsáveis por 36% do consumo final global de energia e quase 40% do total de emissões diretas e indiretas de CO₂ (IEA, 2019).

Estratégias como selos de eficiência energética governamentais e os edifícios com zero consumo de energia (Zero Energy Buildings – ZEB) ou edifícios com zero emissões (zero carbon emissions) tem sido adotados em vários países como parte de suas políticas públicas, especialmente no setor residencial. Estas medidas procuram incentivar o uso racional da energia e definir metas de redução de emissão de carbono no setor (TRIANA, 2016).

A etiqueta do PBE Edifica é o selo de conformidade brasileiro que evidencia o atendimento aos requisitos de desempenho estabelecidos em normas e regulamentos técnicos, ela faz parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do Inmetro e Eletrobras/PROCEL Edifica (PBE Edifica, 2022).

A metodologia do PBE Edifica para as residências encontra-se em atualização e será chamada Instrução Normativa para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R). Segundo o site do PBE Edifica (2022) “O novo método permite a avaliação de edificações de energia quase zero e edificações de energia positiva, estimulando a geração de energia nas edificações.”

Os edifícios com elevados níveis de eficiência energética e necessidades de energia quase nulas, chamados nZEB, apresentam-se como uma das solução para reduzir consumo de energia em relação a edifícios convencionais, e a existência de sistemas de produção de energia local compensam as necessidades energéticas.

A cidade de Maceió possui um grande potencial para uso da geração de energia fotovoltaica pois a cidade apresenta clima favorável, com elevadas horas de sol o ano inteiro e

valor médio do total diário da irradiação global horizontal é de 5,66 kWh/m², onde a média do Nordeste é 5,49kWh/m², segundo INPE (2022).

A geração local junto com a adoção de medidas para o aumento da eficiência energética nas edificações apresentam ganhos e economias para os moradores, como uma menor fatura de energia elétrica. No fim, a sociedade em geral é beneficiada pois há redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e a economia de recursos naturais (WRI, 2017).

Segundo Lamberts *et al* (2014), há um grande potencial em reduzir a demanda energética esperada para os próximos anos se os projetos arquitetônicos estiverem adequados ao clima e conscientes das vantagens de utilização de estratégias naturais de iluminação, aquecimento e resfriamento de ambientes.

Diante do cenário energético mundial e buscando ressaltar o papel social do arquiteto para a transformação da realidade, esse trabalho irá propor Habitações Populares Bioclimáticas nZEB na cidade de Maceió-Al.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta arquitetônica em nível de Anteprojeto de Habitação Popular Bioclimática, na cidade de Maceió-AL na ZB 8, que se configurem em Edifícios de Energia Zero (NZEB).

1.1.2 Objetivos Específicos

- **Aplicar** medidas de eficiência energética nas propostas arquitetônicas, a fim de obter a classificação 'A' em EE para envoltória, aplicando o método simplificado da INI-R;
- **Analisar** a introdução de sistemas fotovoltaicos, dimensionados com a intenção de suprir 100% da demanda de energia elétrica, depois da introdução de medidas de eficiência energética;
- **Comparar** o desempenho das UH entre as com medidas de EE aplicadas, com sistema de geração local e com características de referência (segundo a INI-R)
- **Discutir** a viabilidade de um projeto de habitação popular de energia zero para a cidade de Maceió.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho foi estruturado em seis capítulos. No primeiro capítulo apresenta-se a contextualização e problemática e os objetivos do trabalho.

No segundo capítulo é feita uma revisão bibliográfica que descreve conceitos de arquitetura bioclimática e eficiência energética, apresentando uma síntese das estratégias bioclimáticas com aplicabilidade as propostas que serão apresentadas. Também aborda a nova proposta de avaliação da eficiência energética das edificações, a INI-R, e seus métodos de avaliação: prescritivo, simplificado e de simulação. Por fim, esse capítulo revisa o conceito de NZEB, seu contexto mundial e a realidade brasileira em relação ao assunto, bem como principais leis e medidas governamentais relacionadas a edifícios de energia próximo a zero.

O terceiro capítulo aborda as condicionantes para elaboração dos projetos e apresenta as propostas que serão chamadas de proposta “Norte” e proposta “Sul”, bem como os atributos do projeto: Acessibilidade, layout, identidade visual, as possíveis ampliações para o projeto e os métodos construtivos e materiais utilizados. Também serão mostradas as estratégias bioclimáticas e de EE que foram aplicadas.

O quarto capítulo descreve o método utilizado para avaliação da eficiência energética pela INI-R para o projeto. Além de mostrar como foi realizado o cálculo de consumo energético e o dimensionamento de sistema fotovoltaico, para elevar o nível do edifício em NZEB.

O quinto capítulo expõe os resultados obtidos: consumos relativos às estimativas de energia elétrica e energia primária, dimensionamento de sistema para aquecimento de água, nível em EE alcançado, dimensionamento de sistema fotovoltaico, análise dos resultados, comparação do consumo dos modelos reais e os modelos de referências e discussão da viabilidade das soluções propostas.

No sexto e último capítulo estão apresentadas as conclusões, uma breve análise da INI-R, limitações do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

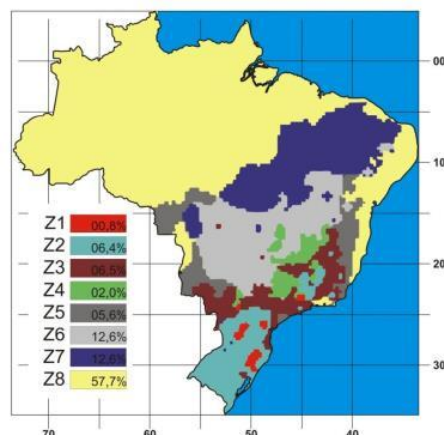
A Arquitetura Bioclimática procura diminuir os impactos causados pela intervenção do meio urbano e atingir uma ligação entre o construído e a paisagem, ela se utiliza da relação entre zonas climáticas e as características arquitetônicas para isto.

O termo Arquitetura Bioclimática surgiu pela primeira vez na década de sessenta, quando os irmãos Olgyay aplicaram a bioclimatologia na arquitetura, considerando o conforto térmico humano e criaram a expressão Projeto Bioclimático (Olgyay, 1973). Essa arquitetura procura satisfazer as experiências de conforto térmico do homem, por meio do uso de seus próprios elementos e das condições favoráveis do clima em que se insere. (LAMBERTES DUTRA E PEREIRA, 2014, p.84).

De acordo com Davies (1999, p.3), essas são as etapas de Olgyay (1963) para alcançar o controle ambiental trabalhando com o clima: Pesquisar o clima local; avaliar o clima e a importância dos diversos elementos disponíveis; propor uma solução técnica para chegar ao conforto térmico, que devem incluir orientação solar do local, cálculo de sombreamento, forma da construção, ventilação e o equilíbrio da temperatura interior. As etapas devem ser incorporadas na solução definida no projeto arquitetônico.

A fim de elevar o desempenho térmico das edificações através de uma melhor adequação climática foi definido o Zoneamento Bioclimático Brasileiro pela NBR 15.220 (ABNT, 2005), que propôs uma adaptação da Carta Bioclimática a partir daquela sugerida por Givoni (1992). Subdividiu-se o território nacional em 8 zonas relativamente homogêneas quanto ao clima e foram indicadas estratégias bioclimáticas para cada zona (ABNT, 2005).

Figura 1 - Mapa do Zonemamento Bioclimático Brasileiro



Fonte: ABNT, 2005.

Desde 2012 o LABEEE da UFSC vem realizando trabalhos a fim de propor uma revisão do zoneamento bioclimático brasileiro, que deverá ser adotada no processo de revisão da norma atual em breve (LABEEE, 2021). Porém, em virtude da não oficialização da nova proposta até o momento presente, este trabalho irá tomar como base a NBR 15220 de 2005.

Segundo Duarte e Gonçalves (2006), um bom projeto deve preocupar-se em realizar uma arquitetura de menor impacto ambiental, que tange a questão da energia, apresentando soluções para lidar com as condições ambientais locais, envolvendo temperatura do ar, temperatura superficial, umidade, radiação solar, ventos, ruídos e, ainda, a qualidade do ar, aliadas a um bom aproveitamento de luz natural.

Diferente de um edifício comercial, em uma residência os ganhos de calor gerado por presença de pessoas, computadores e sistemas de iluminação artificial são bem inferiores ao ganho de calor através de superfícies externas, aberturas, exposição a radiação solar e à ventilação. Desse modo, há um grande potencial no projeto de habitações para incorporação de estratégias bioclimáticas (BATISTA, LAMBERTS, 2010).

Um projeto que faz uso de estratégias bioclimáticas irá proporcionar o conforto do usuário, além de contribuir para que a eficiência energética seja alcançada na edificação. Nesse trabalho, foi buscado em revisão da literatura conhecer as estratégias possíveis para aplicação no projeto proposto, descritas a seguir.

2.1.1 Estratégias Bioclimática

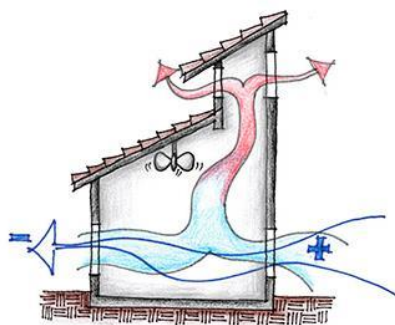
A seguir serão apresentadas as estratégias bioclimáticas com aplicabilidade na ZB 08 e que foram utilizadas na proposição dos projetos.

2.2.1.1 Ventilação Natural

“A ventilação natural é, após o sombreamento, a estratégia bioclimática mais importante para o Brasil.” (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 2014, p. 173). A ventilação natural é responsável por manter a qualidade do ar nos ambientes internos, remover a carga térmica adquirida pela edificação e proporcionar o resfriamento psicofisiológico das pessoas (BITTENCOURT, CANDIDO, 2010).

De acordo com Rupp e Ghisi (2013) a ventilação natural em edificações é uma estratégia que minimiza os impactos ambientais, porque consegue reduzir o uso do ar condicionado, refletindo assim em um menor consumo de energia.

Figura 2 - Ilustração de ventilação cruzada e efeito chaminé.



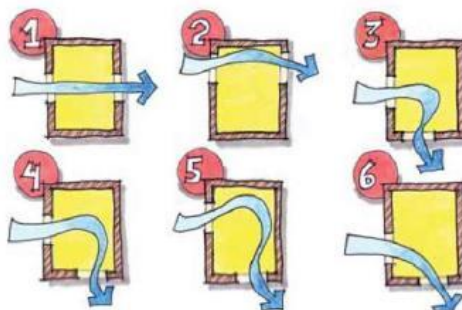
Fonte: PROJETEEEE, 2021.

Em estudo realizado para o clima de Maceió por Passos (2009), a autora cita que mesmo nos períodos mais quentes do ano a ventilação natural é recomendada devido a seu potencial em amenizar o desconforto através da evaporação do suor, pois a média anual da umidade relativa do ar é alta na cidade. Além disso, ela sugere o uso de aberturas que possibilitem o controle da entrada de ventilação e o direcionamento dos ventos no ambiente interno, como esquadrias pivotantes e venezianas móveis.

2.2.1.1.1 Ventilação Cruzada

Na NBR 15.220:2005 (ABNT, 2005) a ventilação cruzada é uma das estratégias indicadas para cidades inseridas na Zona Bioclimática 8. Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014) uma das técnicas mais eficazes de ventilação natural é a ventilação cruzada, para seu efeito é necessário, essencialmente, duas aberturas em paredes diferentes. Evans e Schiller (1988) realizaram simulações em túnel de vento para observar o comportamento da ventilação nos ambientes internos, na Figura 3 é possível ver as opções de posicionamento das aberturas e seus efeitos.

Figura 3 - Padrão de ventilação determinado pelo posicionamento de esquadrias



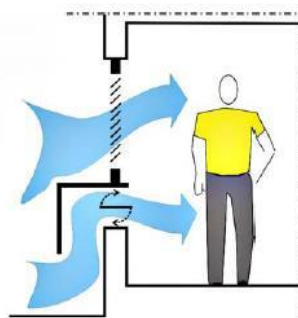
Fonte: EVANS E SCHILLER, 1988 adaptado por LAMBERTES DUTRA E PEREIRA, 2014, p. 185.

Para promover a ventilação cruzada, é necessário que as aberturas estejam posicionadas em faces opostas da edificação. Com uso dessa estratégia de ventilação é possível acelerar as trocas por convecção ao remover o calor dos ambientes, bem como melhorar a sensação térmica dos usuários pelo efeito da evaporação. (PROJETEEE, 2021a).

2.2.1.1.2 Peitoril Ventilado

O peitoril ventilado é um dispositivo com formato de “L” invertido, sobreposto a uma abertura localizada abaixo das janelas. Seu formato permite que o vento passe por sua abertura enquanto evita a radiação solar direta e a entrada de água de chuvas. Além disso, sua dimensão possibilita que seja mantido aberto em períodos noturnos, permitindo o uso da ventilação noturna sem comprometimento da segurança (BITTENCOURT, CANDIDO, 2010).

Figura 4 - Peitoril ventilado



Fonte: BITTENCOURT, CANDIDO, 2010, p.74.

Esse dispositivo tem bom funcionamento na ventilação de dormitórios, pois consegue direcionar o fluxo de ar na altura das pessoas deitadas. Utilizar esquadrias pivotantes horizontais pode aperfeiçoar sua funcionalidade, uma vez que é possível regular a intensidade do fluxo de ar (BITTENCOURT, CANDIDO, 2010).

2.2.1.1.3 Muro Ventilado

A construção do muro é a principal modificação realizada após a entrega de conjuntos habitacionais de interesse social, segundo algumas Avaliações Pós Ocupação (APO). Porém, os muros representam obstáculos a livre circulação dos ventos, principalmente em construções térreas em lotes pequenos, prejudicando o desempenho da ventilação natural (COSTA, 2018). O uso do muro permeável possibilita a ventilação natural, podendo ser uma estratégia para equilibrar a necessidade de privacidade dos usuários da residência com a demanda por conforto. De acordo com Costa (2018) o muro ventilado deve ser combinado a outras estratégias de ventilação natural, como peitoril ventilado e esquadrias em venezianas, para melhor desempenho.

Holanda (1976) já evidenciava o uso dos muros vazados no Nordeste como uma estratégia bioclimática para a região, ele sugere tirar partido dos elementos de paredes vazados, os cobogós, por ser elementos simples, leves, econômicos e sem exigências de manutenção.

2.2.1.2 Iluminação Natural

Um aspecto importante a ser considerado no projeto arquitetônico é a iluminação natural, que pode evitar gastos desnecessários com iluminação artificial, além de ser preferível ao ser humano. Um bom planejamento deve ser feito desde o início, considerando a forma do edifício, suas cores, orientação, e distribuição espacial. (LAMBERTES DUTRA E PEREIRA, 2014).

A iluminação natural pode ser lateral ou zenital, o projeto deve considerar a forma, disposição dos ambientes no edifício, tipo de tarefa realizada no local e aspectos do clima local para escolha do sistema de iluminação adequado. Para iluminar regiões mais próximas a janela, a iluminação lateral é mais adequada, porém esse sistema provoca uma redução da iluminância a partir do momento que se afasta da fonte (janela). No geral, a uniformidade na distribuição da luz sobre um ambiente é mais eficiente na iluminação zenital, quando comparado ao sistema lateral com mesma área de abertura (CABÚS, 1997).

Para fins de pré-dimensionamento da penetração de luz natural no interior de um ambiente pelo sistema de iluminação lateral Lamberts, Dutra e Pereira (2014) sugerem que a proporção entre a profundidade alcançada seria 1,5 vezes a altura de uma janela padrão e de 2 vezes a altura de uma janela com uma prateleira de luz (Figura 14). Ainda segundo os autores, o sistema de iluminação funcionará melhor com o posicionamento das janelas em mais de uma parede no ambiente, para melhor distribuição da luz e redução do ofuscamento.

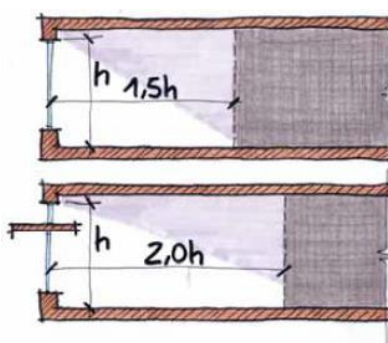


Figura 5 - Penetração de luz no interior do ambiente.

Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira 2014, p. 159.

Segundo Cabús (1997, p. 17) apud Robbins (1986) “A iluminação zenital [...] é aquela onde a luz natural penetra no ambiente através de aberturas situadas no teto, as quais geralmente fazem parte da cobertura da edificação.” Apesar desse sistema obter uma

iluminação mais uniforme e receber mais luz natural ao longo do dia, apresenta uma desvantagem em relação a dificuldade de sombreamento, porém isso pode ser resolvido com posicionamento do vidro das aberturas verticalmente, como na Figura 15 (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA 2014).

Figura 6 - Tipos de iluminação zenital



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira, 2014, p.159.

2.2.1.3 Sombreamento

No Brasil, principalmente no Nordeste, o sombreamento é uma das estratégias mais indicadas em um projeto de arquitetura, por conta de sua característica de verões quentes e muito sol presente no ano inteiro em toda sua extensão (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

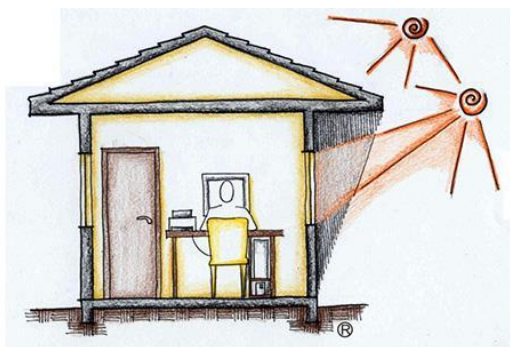
Essa estratégia é fundamental para reduzir ganhos solares na envoltória da edificação. Para sua correta execução é necessário que o projetista domine a geometria solar, que depende do lugar de implantação do edifício. As proteções solares devem ser projetadas para evitar ganhos nos períodos mais quentes, sem prejudicar a iluminação natural através das aberturas. O estudo da insolação também deve considerar o entorno da área edificada, além de verificar o sombreamento produzido por massas de vegetação e áreas construídas vizinhas, pois as necessidades de sombreamento podem ser reduzidas em algumas fachadas (PROJETEEE, 2021b).

2.2.1.3.1 Beirais

O elemento de sombreamento mais comum é o beiral da própria cobertura da edificação, eles funcionam como elementos de proteção solar horizontal (PROJETEEE, 2021c). De

acordo com Bittencourt (2004) protetores horizontais apresentam melhor desempenho nas horas do dia em que o sol está mais alto, e são menos eficientes nas horas próximas ao nascer e por do sol.

Figura 7 - Sombreamento de aberturas com beiral



Fonte: PROJETEEE, 2021.

Os beirais podem ser calculados para funcionar em qualquer época do ano e horário definidos, por meio da altura solar é possível realizar o cálculo para uma determinada latitude e assim projetar o elemento, a sua largura determinará o tamanho da sombra que será projetada sob as aberturas e paredes (CASTRO, 2011).

2.2.1.3.2 *Venezianas*

A veneziana é um tipo de esquadria, que consegue permitir a ventilação permanente dos ambientes e o sombreamento por meio de suas palhetas inclinadas e paralelas, que podem ser móveis ou não. Esse elemento funciona como pequenos protetores horizontais, e a depender da intenção do projeto podem ser projetados para possibilitar o máximo de entrada da ventilação e também impedir a penetração direta de raios solares sem comprometer a iluminação natural (BITTENCOURT, 2004).

2.2.1.4 Pintura externa refletiva

Para a melhoria no desempenho térmico das edificações em climas quente, é essencial que o exterior da edificação faça uso de materiais com alta refletância (que refletem a maior parte da radiação solar), pois estes conseguem reduzir a temperatura superficial do elemento

construtivo durante o dia. Essa temperatura superficial mais amena reflete em uma menor transferência de calor para o interior do ambiente e em um ambiente interno mais confortável (SEKER, TAVIL, 1996).

Segundo Dornelles (2008, p. 30):

A incidência da radiação solar sobre os edifícios constitui sua maior fonte de ganhos térmicos e, por este motivo, o meio natural mais eficaz para reduzir ganhos de calor nas edificações é controlar e minimizar a radiação solar que atinge o envelope construtivo ou reduzir sua absorção pelo edifício.

Os primeiros estudos sobre o efeito da absortância solar de superfícies externas nas temperaturas internas de edificações foram realizados por Givoni (1981). Nesse estudo foi possível constatar uma grande diferença entre a temperatura das superfícies externas com alta absortância e a temperatura do ar no exterior da edificação, efeito da radiação solar incidente. Porém, a temperatura das superfícies com baixa absortância solar foram muito próximas a temperatura do ar exterior (GIVONI; HOFFMAN, 1965, 1968).

Dornelles (2008, p. 35) explica que “a absortância solar das superfícies opacas não é influenciada unicamente pela cor que elas apresentam.” De acordo com a autora, diversas características físicas da superfície vão influenciar na sua absortância, como a absorvidade do material (que depende de sua composição química), a rugosidade da superfície, a ondulação da superfície e sua manutenção (estado de limpeza).

Por fim, é importante citar que a experiência do usuário no uso de uma residência também interfere no comportamento térmico. É necessário que os padrões de uso e ocupação do edifício residencial estejam de acordo com as estratégias e tecnologias bioclimáticas projetadas para tal de modo a não prejudicar o conforto dos usuários (BATISTA, LAMBERTS, 2010).

2.2 SELO PROCEL EDIFICAÇÕES, ETIQUETA PBEEDIFICA E INSTRUÇÃO NORMATIVA DO INMETRO PARA CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O Procel - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica foi instituído em 30 de dezembro de 1985, a fim de promover o uso eficiente da energia elétrica e combater o seu desperdício (PROCEL INFO,2020). Uma das atuações do Procel no país é no setor de edificações, por meio do PROCEL Edifica, onde incentiva a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais (água, luz, ventilação etc.) para reduzir os desperdícios e os impactos sobre o meio ambiente (PROCEL INFO, 2020a).

Com o propósito de estimular o mercado consumidor a adquirir e utilizar imóveis mais eficientes, a ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de energia foi desenvolvida, em parceria entre o Inmetro e Eletrobrás/PROCEL Edifica. A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), que faz parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), evidencia o atendimento a requisitos de desempenho estabelecidos em normas e regulamentos técnicos, classificando as edificações de “A” (mais eficiente) a “E” (menos eficiente). (PBE EDIFICA, 2020).

O Selo Procel Edificações foi criado em 2014 para imóveis não residenciais, com intuito de identificar as edificações que apresentam a melhor classificação de eficiência energética (nível “A”). Em 2020, o Selo “passou a agraciar também unidades habitacionais autônomas – casas e apartamentos de edifícios multifamiliares, tanto em fase de projeto quanto já construídos” (PROCEL, 2021).

O RTQ-C e o RTQ-R, lançados em suas versões iniciais em 2009 e 2010, respectivamente, contém os requisitos necessários para classificação do nível de eficiência energética das edificações. Entretanto, desde 2014 o Procel Edifica junto com o Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E) desenvolvem ações para realizar os aperfeiçoamentos necessários a estes requisitos.

A Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), que vem para substituir o RTQ-C, foi aprovada e está em vigor pela Portaria Nº 42, de 24 De Fevereiro de 2021 (INMETRO, 2021a).

A alteração da proposta do RTQ-R - Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012 (INMETRO, 2012) para INI-R - Instrução Normativa para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais encontra-se em Consulta Pública nº 18, de 12 de julho de 2021 (INMETRO, 2021b) e logo deve ser oficializada (PBE EDIFICA, 2021).

Segundo o website do PBE EDIFICA (2021) a diferença mais impactante no aperfeiçoamento da avaliação nas novas propostas é que estas baseiam-se no consumo de energia primária e a o método de cálculo baseia-se na comparação da edificação com ela mesma, em sua condição real e com a condição de referência, que deve adotar características que equivalem à classe C de eficiência energética.

O uso do consumo de energia primária como indicador de eficiência permite que tanto a energia elétrica, quanto a energia térmica, oriundas de diversas fontes, sejam contabilizadas (ex.: edificações que utilizam energia elétrica, a gás e solar). Dessa forma, ao converter consumos energéticos em energia primária, é possível ter um parâmetro de comparação entre edificações e a possibilidade de somar diferentes tipos de energia, ou mesmo subtrair, no caso de edifícios com geração local de energia (PBE EDIFICA, 2021).

A Classificação da EE da unidade habitacional vai de “A” a “E”. Na INI-R, é possível avaliar as edificações energeticamente eficientes que tenham sistemas de geração de energia renovável instalados localmente, podendo ser classificadas como “Edificações de Energia Quase Zero” ou “Edificações de Energia Positiva” a partir do método.

A Etiqueta também foi atualizada, e em sua nova versão ela irá fornecer informações relativas ao consumo anual e mensal de energia primária por sistema final, além de trazer novas informações complementares como a quantificação das emissões de dióxido de carbono e o potencial de economia de água potável a partir de sistemas que promovem a redução de seu consumo (PBE EDIFICA, 2021).

2.2.1 ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

A etiqueta proposta para o método simplificado e o método de simulação da INI-R possui três páginas, sendo a primeira página a principal, mostrada na Figura 8. Nesta página é possível observar a classificação final da edificação com base no consumo de energia primária e o consumo de energia Elétrica e Gás. Na parte inferior da primeira página, a ENCE traz

As páginas seguintes desta etiqueta contam com informações complementares, estas podem ser observadas na Figura 9. Na segunda página é possível encontrar informações detalhadas acerca do consumo da edificação e dos itens informativos: Consumos totais e parciais, porcentagem de energia elétrica proveniente de geração local renovável e as emissões de CO₂. Na terceira página são informadas as condições de conforto e avaliação utilizadas.

Diagrama de uma placa de eficiência energética (NBR 15575)

Seção 1: Identificação e Classificação

- INMETRO** (Logotipo)
- PBE Edifica** (Programa Brasileiro de Etiquetagem)
- Classificação de eficiência energética** (A, B, C, D, E)
- Consumo final de energia elétrica** (20,8 kWh/m²/ano)

Seção 2: Avaliação da Edificação

- Percentual de metas cumpridas** (Gráfico de barras)
- Uso racional de água** (Índice de 100%)
- Emissões de carbono** (Índice de 100%)

Seção 3: Observações e Informações Adicionais

- Observações:** 1. O consumo de água por pessoa-mês é de 10,5 m³, ou seja, 1 litro por segundo. 2. O consumo de energia elétrica por pessoa-mês é de 20,8 kWh.
- QR Code** (Código de barras)

Legenda:

- Classificação considerando eficiência energética da edificação e geração local:** (Seta verde apontando para a classificação A)
- Os valores de referência relativos à classe Calinhados com a NBR 15575:** (Seta amarela apontando para a classificação A)
- Consumo final de energia elétrica e elétrica:** (Seta vermelha apontando para o consumo de 20,8 kWh/m²/ano)
- Uso racional de água e emissões de dióxido de carbono incluídos e de caráter informativo:** (Seta vermelha apontando para o índice de 100%)

Figura 9 - Nova ENCE (2º e 3º Pág.) - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia para Edificações Residenciais para o método simplificado e de simulação. (INI-R)



2.2.2 INI-R – Instrução Normativa Inmetro para classe de eficiência energética de edificações residenciais

A nova proposta para a avaliação da eficiência energética das edificações residenciais passa a ser chamada de Instrução Normativa Inmetro para a classe de eficiência energética de edificações residenciais (INI-R). Na INI-R, que encontra-se em consulta pública, o consumo de energia elétrica e energia térmica da edificação são levados em consideração, assim como o potencial de geração de energia local renovável (PACHECO, 2018).

Sobre a INI-R, o website do PBE EDIFICA lista os principais motivadores para melhorias na antiga metodologia (RTQ-R):

- Compatibilizar o método da INI-R com o método de avaliação do desempenho térmico da NBR 15575;
- Melhorar indicador de desempenho para ajudar o consumidor na tomada de decisão no momento da escolha do seu imóvel, permitindo que a economia gerada na edificação sejam quantificadas,
- Incluir a avaliação de edificações de energia quase zero e edificações de energia positiva, estimulando a geração de energia nas edificações.

A estimativa do consumo de energia pode ser realizada por meio dos métodos prescritivo, simplificado e de simulação. Nos métodos simplificado e de simulação, a classificação da UH é realizada com base no consumo de energia primária, comparando-se o consumo da edificação no modelo real com a mesma edificação com características de referência (INMETRO, 2021b).

Neste trabalho o método para classificação de eficiência energética que será utilizado no projeto proposto será o método simplificado.

2.2.2.1 Método Prescritivo

O método prescritivo pode ser aplicado em edificação residencial unifamiliar ou unidade habitacional de edificação multifamiliar, mas é possível apenas a classificação da envoltória em classe C de eficiência energética. Para obtenção de classificação mais elevada na envoltória (classes A e B), esta deve ser avaliada pelo método simplificado ou de simulação (INMETRO, 2021b).

2.2.2.2 Método Simplificado

No método simplificado, a eficiência energética das unidades habitacionais é avaliada por meio de três sistemas individuais: envoltória, sistema de condicionamento de ar e aquecimento de água. O método aplica-se somente às edificações que tenham parâmetros construtivos que atendem aos intervalos definidos na proposição do método, conforme Tabela 2 e 3. Edificações que não atendem a um ou mais critérios expostos nos limites descritos devem ser avaliadas pelo método de simulação (INMETRO, 2021b).

Tabela 1 - Limites de aplicação do método simplificado, variáveis da UH.

Parâmetro	Limites do método	
	Mínimo	Máximo
Absortância solar da cobertura	0,20	0,90
Absortância solar das paredes externas	0,20	0,90
Área do ambiente de permanência transitória	2 m ²	100m ²
Capacidade térmica da cobertura	25kJ/(m ² .K)	500 kJ/(m ² .K)
Capacidade térmica das paredes externas	26 kJ/(m ² .K)	400 kJ/(m ² .K)
Capacidade térmica do piso	25 kJ/(m ² .K)	440 kJ/(m ² .K)
Fator de abertura para ventilação	0,05	1,00
Fator solar do vidro	0,20	0,87
Pé-direito	2,40 m	7,50 m
Transmitância térmica da cobertura	0,45 W/m ² .K	3,80 W/m ² .K
Transmitância térmica das paredes externas	0,24 W/m ² .K	4,40 W/m ² .K
Transmitância térmica do piso	0,70 W/m ² .K	4,10 W/m ² .K
Transmitância térmica do vidro	2,50 W/m ² .K	5,87 W/m ² .K

Tabela 2 - Limites da aplicação do método, variáveis do APP.

Parâmetro	Limites do método	
	Mínimo	Máximo
Ângulo vertical de sombreamento	0º	50º
Ângulo horizontal de sombreamento	0º	60º
Ângulo vertical de obstrução do entorno	0º	60º
Área do ambiente de permanência prolongada	5 m ²	100 m ²
Área envidraçada	0 m ²	30 m ²
Dimensão horizontal da parede externa	0 m	15 m
Dimensão horizontal da parede interna	0 m	20 m

A edificação é avaliada sob duas condições: o modelo real, com as características de projeto da edificação; e o modelo de referência, com características da envoltória listadas na ABNT NBR 15575:2021-1, subseção 11.4.7.2. (INMETRO, 2021b).

O método simplificado envolve a inserção de dados relativos à geometria da edificação, as propriedades térmicas de materiais utilizados na edificação e a características dos ambientes de permanência prolongada em um metamodelo de redes neurais artificiais.

Assim, por meio do metamodelo, que é disponibilizado no site do PBE Edifica <<http://pbeedifica.com.br/redes/residencial/>> é possível obter o percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura (PHFT), as temperaturas anuais máxima (Tomáx) e mínima (Tomín) e a carga térmica de refrigeração (CgTR), de aquecimento (CgTA), e total (CgTT) para o modelo real e modelo de referência, e então determinar a classe de EE da UH para o sistema de envoltória (INMETRO, 2021b).

O metamodelo calcula estas variáveis conforme descrito no procedimento de simulação computacional da ABNT NBR 15575-1:2021, subseções 11.4.7.5 a 11.4.7.8.

2.2.2.3 Método de Simulação

O método de simulação é recomendado para as unidades habitacionais que não atendam aos limites de aplicação do método simplificado. Este método aplica-se somente à envoltória da edificação. Por esse método deve-se estabelecer o percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura (PHFT), às temperaturas anuais máxima (Tomáx) e mínima (Tomín) e à carga térmica de refrigeração (CgTR), de aquecimento (CgTA), e total (CgTT) das UH ou de unidades habitacionais em edificações multifamiliares.

O método de simulação adotado na INI-R incorpora o procedimento de simulação computacional para avaliações de desempenho térmico segundo a ABNT NBR 15575-1:2021 e considera as subseções da norma, especificadas na INI-R (INMETRO, 2021b).

2.2.2.4 Geração Local De Energia Renovável

Na nova INI-R é possível avaliar o uso de sistemas de geração de energia local por meio de fontes de energia renováveis em unidades habitacionais (UHs) ou de edificações multifamiliares. O sistema de geração local deve estar instalado na edificação avaliada ou no mesmo lote em que ela se encontra e estar conectado ao relógio medidor de energia da edificação ou parcela da edificação a qual atendem.

A energia gerada por meio do uso de fontes renováveis ao longo do ano (GEE) deve ser estimada por laudo técnico, a fim de que possa ser subtraída do consumo total de energia primária da edificação. Na nova avaliação EE por meio do novo método da INI-R é possível a avaliação de Edificações de Energia Quase Zero (NZEBs) e Edificações de Energia Positiva (EEPs) (INMETRO, 2021b).

2.2.2.5 Nearly Zero Energy Buildings (NZEBs)

Um edifício NZEB é uma tipologia caracterizada por sistemas de consumo energético eficientes em conjunto com sistemas de produção de energia local, que resultam num balanço energético neutro ou muito próximo de zero.

A edificação de energia quase zero (NZEB) deve ser energeticamente eficiente, comprovada pela obtenção da classificação A de eficiência energética da UH sem considerar o desconto da parcela referente à geração local de energia renovável; ou seja, baseando-se na classificação a partir do consumo de energia primária total da edificação real. Para ser NZEB, a edificação deve ter no mínimo 50% de sua demanda energética anual suprida por energia renovável gerada localmente (INMETRO, 2021b).

2.2.2.6 Edifício de Energia Positiva (EPP)

A edificação será classificada como de energia positiva quando tiver geração local de energia renovável superior à sua demanda anual de energia, com balanço energético positivo. Como resultado, o EPP recebe a classificação de eficiência energética A+ na ENCE (INMETRO, 2021b).

Em casos onde a produção energética é excedente ao consumo o proprietário pode descontar os créditos adquiridos em outro imóvel ou mesmo “vender” a energia solar gerada pelo seu sistema fotovoltaico para a rede distribuidora, recebendo créditos em energia (PORTAL SOLAR, 2022).

2.2.2.7 Emissões de dióxido de carbono

As emissões de dióxido de carbono podem ser estimadas na INI-R, sendo de caráter informativo e não tem influência na classe de EE. Baseia-se na comparação entre as emissões de dióxido de carbono da edificação real e sua condição de referência para determinar o percentual de redução ou acréscimo das emissões de dióxido de carbono (CO₂) (INMETRO, 2021b).

Reduzir as emissões de CO₂ no setor de edificações é um dos caminhos para alcançar os compromissos estabelecidos em 2015 no Acordo do Clima de Paris. Chefes de estado e governos em todo o mundo comprometeram-se em “limitar a elevação das temperaturas no mundo todo a menos de 1,5 grau Celsius acima dos níveis pré-industriais, o que reduziria de forma significativa o impacto das mudanças climáticas.” (JONES, 2022)

“Um edifício de energia zero equilibra as emissões de gases de efeito estufa da energia tradicional por meio da redução do consumo, para minimizar as emissões de carbono, usando energias renováveis, como a eólica e a solar, ou adquirindo compensações de carbono para alcançar um ponto de equilíbrio (JONES, 2022).”

2.2.2.8 Uso Racional de Água

Na INI-R a avaliação do uso racional da água tem caráter informativo e não altera a classe de eficiência energética da edificação. Nesta avaliação compara-se o consumo de água potável da edificação real e em sua condição de referência, para determinar o percentual anual de redução do consumo de água potável (INMETRO, 2021b).

Assim, o proprietário consegue ter uma noção do quanto consumiria se sua residência fosse projetada de outra maneira, facilitando a conscientização ambiental e refletindo numa possível economia na fatura de água.

2.3 EDIFÍCIO DE ENERGIA ZERO

O conceito de ZEB – Zero Energy Building ou edifício de energia zero surgiu após a crise de 1973. Desde então, alguns edifícios de energia zero foram concebidos, porém eles operavam fora da rede, gerando localmente toda a energia necessária para seu funcionamento. As expectativas atuais para ZEB é que eles estejam conectados a rede, evitando assim os sistemas de armazenamento que são onerosos, bem como o superdimensionamento do sistema (BERARDI, 2018).

Atualmente, o conceito de ZEB ressurgiu como alternativa para diminuir o impacto das construções no meio ambiente e como política de construção civil em diversos países. Derivações do termo também estão em relevância, como NZEB - Nearly Zero Energy Building (edifício de balanço energético próximo a zero) e ZEB+ (edifício de balanço energético positivo).

Figura 10 - NZEB, ZEB e ZEB+.



Fonte: EmiratesGBC, 2017.

Segundo Attia (2018) os Edifícios de Energia Zero se configuram como uma parte significativa das estratégias ao redor do mundo para alcançar a eficiência energética, uma vez que os edifícios representam cerca de 30-40% da energia final utilizada no mundo. A redução da demanda de energia em edifícios, portanto, é a chave para um futuro mais sustentável.

O conceito de ZEB é que os edifícios tenham baixa demanda por energia e atendam as suas necessidades de energia anualmente a partir de fontes renováveis, que podem ser produzidas no local ou nas proximidades. (ATTIA, 2018)

É importante lembrar que ser um edifício ZEB não se resume em apenas produzir a própria energia, colocando placas fotovoltaicas no edifício, por exemplo.

A criação de um Zero Energy Building começa pela chamada inteligência arquitetônica e arquitetura bioclimática, afinal, é através do projeto de arquitetura que se pode reduzir ao mínimo possível a iluminação artificial e sistemas de climatização, por exemplo. Sendo extremamente importante um equilíbrio entre estas duas disciplinas. Temos que ter iluminação natural suficiente, que economize energia e gere conforto aos ocupantes, mas que não sobrecarregue os sistemas de climatização. (AECweb, 2021)

Outro ponto a ser observado é que a depender dos objetivos do projeto, dos valores dos projetistas ou proprietário e da política energética do governo no país em questão um edifício de energia zero pode ter definições diferentes (PACHECO, 2018). Um estudo realizado por Pacheco, Ghisi e Lamberts (2013) verificou na literatura e concluiu que existem divergências em razão das definições de energia, geração própria, consumo próprio e medição de energia.

Quatro definições de ZEB foram introduzidas por Torcellini *et al* (2006) há mais de uma década e embora outras definições tenham sido apresentadas anteriormente, as quatro definições propostas por Torcellini *et al* (2006) e reelaboradas por Pless e Torcellini (2006) ainda representam relevância (BERARDI, 2018). De acordo com os autores, esses são os quatro definições de ZEB: energia do local, fonte primária, custo zero de energia e energia de emissões zero.

ZEB Energia Local – O edifício irá produzir a energia que consome, contabilizada no medidor do edifício. A energia renovável gerada no local será diretamente comparada às necessidades do edifício. Ou seja, “a energia a ser reposta por geração própria do edifício é igual à medição da energia importada da rede durante o período de balanço.” (PACHECO, GHISI E LAMBERTS, 2013, p.12).

ZEB Fonte Primária - O edifício produz energia renovável a fim de superar sua demanda anual, em termos de energia primária. No cálculo do consumo do edifício a energia importada e exportada é multiplicada pelos fatores de conversão em energia primária, que devem considerar a energia usada para extração, geração e distribuição (BERARDI, 2018).

ZEB de custo zero de energia - Essa definição de ZEB baseia-se no custo e significa que o valor que a concessionária paga ao proprietário do edifício pela energia gerada para a rede elétrica deve ser igual ou maior que o valor que o proprietário paga à concessionária pela energia usada ao longo do ano (BERARDI, 2018).

ZEB de emissões zero - Um edifício com emissões zero deve produzir energia renovável livre de emissões no mesmo volume em que usa fontes de energia não renovável. Desse modo, os GEE produzidos pelo edifício são compensados por meio da geração de energia limpa e compensações de carbono (BERARDI, 2018).

A definição de ZEB a ser utilizada neste trabalho é a de Energia Local.

2.3.1 Cenário Mundial e Nacional

As mudanças climáticas e escassez de recursos trouxeram desafios globais e há um consenso sobre o fato de que metas de eficiência energética de ponta precisam ser estabelecidas no setor de construção. Neste contexto, a viabilidade de edifícios com energia zero (ZEB) ou pelo menos edifícios com energia quase zero (NZEB) tem se tornando central e muitos governos têm adotado esses conceitos para o setor da construção civil, estabelecendo políticas e diretrizes (BERARDI, 2018). A fim de compreender o panorama Mundial, a situação em alguns países foi estudada neste trabalho, abordadas a seguir.

Na União Europeia, a Diretiva de Desempenho Energético da Construção – em inglês Energy Performance Building Directive (EPBD) é a pioneira a elaborar e refinar metas ZEB e NZEB mundialmente (BERARDI, 2018). Essa diretiva 2010/31/EU – Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) é complementada pela Diretiva (EU) 2018/844, e determina que os edifícios públicos novos sejam nZEB a partir de 01/01/2019 e todos os demais edifícios e retrofits nZEB a partir de 01/01/2021. Essas estratégias visam ao objetivo da EU para 2050 de reduzir as emissões de gases do efeito estufa em 80-95% em comparação a 1990.

O Programa de Tecnologias de Construção do Departamento de Energia dos Estados Unidos da América também definiu metas estratégicas a serem alcançadas, similar ao que é expresso na Europa, porém com metas menos ávidas (BERARDI, 2018). Definiu-se que casas que serão comercializadas sejam de energia zero a partir de 2020 e que edifícios comerciais se tornem de energia zero até 2025 (EUA, 2018). O Estado da Califórnia comprometeu-se com a meta de até 2030 tornar todos os novos edifícios comerciais em NZEB e 50% dos edifícios comerciais existentes em NZEB.

No Japão, o governo pretende alcançar o ZEB no que diz respeito aos novos edifícios públicos até 2020 e no que diz respeito a todos os novos edifícios, em média, até 2030 (MOE,

2012). Várias atividades e políticas estão sendo conduzidas no país, dentre elas a formulação de um roteiro para ZEB, o desenvolvimento de projetos de demonstração e uma diretriz de design para auxiliar os projetistas (REHVA, 2018).

Deve-se ter em consideração que os países abordados são países desenvolvidos, e no Brasil ainda existem muitos desafios a ser vencidos. Porém, é importante observar a tendência mundial no setor da construção civil, que é a redução do consumo energético nos edifícios, por meio da adoção dos ZEB ou NZEB e a definição de metas para alcançar esse objetivo.

No Brasil ainda não existem políticas e diretrizes para edifícios ZEB ou NZEB. Porém, como a INI-R leva em consideração os consumos das edificações e a possibilidade de avaliação da introdução de sistemas de geração de energia local renovável, é possível sua aplicação para classificação do edifício como ZEB ou NZEB (PACHECO, 2018).

Em dezembro de 2019 a Eletrobras, por meio do Programa Nacional de Conservação de Energia (Procel), abriu a primeira Chamada Pública para projetos de edificações NZEB (Near Zero Energy Buildings), como forma de fomentar o conhecimento, estudo e desenvolvimento de projetos de NZEB, junto à sociedade.

Foram apresentadas 32 propostas por instituições públicas, mistas e sem fins lucrativos, e selecionaram-se quatro iniciativas, que devem receber um subsídio de até R\$ 1 milhão cada para a viabilização dos projetos. As edificações deverão favorecer a disseminação desse conceito no território nacional e funcionar como modelos de referência para o setor de construção civil, a área acadêmica e o poder público (PROCEL INFO, 2020).

Figura 11 - a) Primeiro lugar: Projeto Nova Casa Cepel NZEB; b) Segundo lugar: Projeto Anexo FAUrb – NZEB UFPel; c) Terceiro lugar: Centro de Pesquisa e Capacitação em Energia Solar – Laboratório Fotovoltaica UFSC; d) Quarto lugar: LabZero UnB





Fonte: a) Cepel.com, 2020. b) Ufpel.edu, 2020. c) Ufsc.br, 2020. d) Unb.br, 2020.

2.3.2 Geração local – Sistema de geração fotovoltaica

Os sistemas de geração de energia renovável instalados no próprio edifício são preferidas para edifícios ZEB ou NZEB. O motivo é que dessa forma as perdas em transporte são reduzidas, otimizando a eficiência energética do sistema. Por isso, o uso de geração fotovoltaica ou eólica são os mais indicados nesses casos (PACHECO, GHISI E LAMBERTS, 2013). Neste trabalho, a tecnologia solar fotovoltaica foi escolhida para dimensionamento do sistema que irá atender ao projeto proposto.

A célula básica do sistema solar fotovoltaico é o módulo solar, e a tensão de operação do sistema em corrente contínua é determinado pela quantidade de módulos conectados em série. A junção da potência nominal dos módulos individuais que vai dar a potência instalada do sistema. (RÜTHER, 2004)

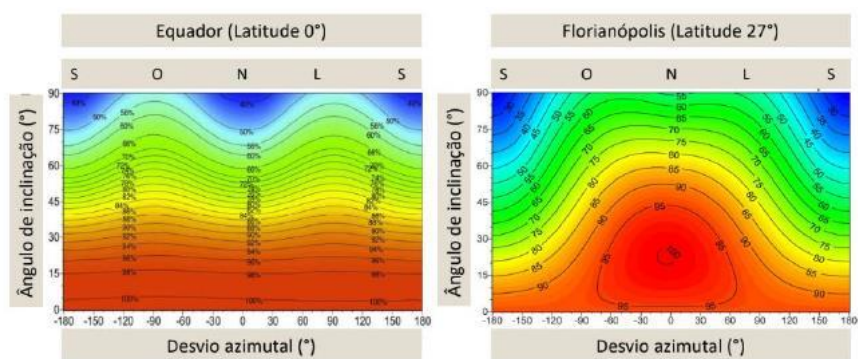
Segundo Rüther (2004), várias são as vantagens dos sistemas fotovoltaicos, dentre essas destacam-se: sua simplicidade de operação, a possibilidade de integração à arquitetura (sendo o único requisito fundamental uma orientação solar favorável) e a característica de geração silenciosa e que não gera poluição.

Um ponto importante a discutir-se sobre o sistema fotovoltaico é a questão do posicionamento dos seus módulos. Definir bem essa posição pode aperfeiçoar o sistema e é onde o projetista tem total domínio e liberdade para fazê-lo (ZOMER, 2021). A regra geral para aproveitamento da incidência solar máxima no ano é que os módulos tenham sua inclinação relacionada com a latitude local, e a orientação ideal é a de uma superfície voltada para o norte geográfico - para países do Hemisfério Sul (RÜTHER, 2004).

Porém, Zomer e Rüther (2021) explicam que a tecnologia fotovoltaica tem como vantagem a capacidade em aproveitar a irradiação solar, até quando os módulos não estão em sua posição ideal. Os autores explicam que muitas vezes as perdas são menores que 5% ao ano, e recomendam avaliar sempre a influência dos desvios em relação ao norte e inclinações diferentes da latitude, bem como as perdas decorrentes de tais alterações. Por isso, fatores estéticos, energéticos e custo devem ser levados em consideração ao posicionar os módulos, (ZOOMER, 2021).

Conclui-se que “não existe apenas uma orientação ideal, mas de modo geral, quanto mais orientado ao norte, melhor” (RUTHER, ZOMER, 2021). Segundo Zomer (2014), quanto maior a latitude do local, mais o desvio azimutal vai importar. No caso de Florianópolis (27°) então a perda de eficiência do módulo fotovoltaico é maior do que no caso do Equador (0°).

Figura 12 - Variação da irradiação solar para diferentes posições e localidades.



Fonte: ZOMER, 2014.

Vários fatores podem afetar a performance do sistema gerador fotovoltaico, o principal é a radiação solar, e a inclinação e orientação dos módulos. Além disso, a temperatura dos painéis, o sombreamento parcial, o descasamento entre painéis, as resistências dos condutores e o estado de limpeza dos painéis também influenciam o rendimento desse sistema (RUTHER, 2004).

2.3.3 Legislação Aplicável

A Resolução Normativa ANEEL N° 482 de 17 de abril de 2012 (REN 482, 2012) regulamenta o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (através da Micro e Minigeração Distribuída) de fontes renováveis de energia elétrica, como solar fotovoltaica, eólica, biomassa e hídrica.

Essa resolução permite que o consumidor possa gerar sua própria energia elétrica, por meio de fontes renováveis em sua unidade consumidora e forneça à energia excedente a distribuidora local, que posteriormente é descontado de sua fatura de energia (ANEEL, 2015).

Em 2015 a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 687/2015 revisando a Resolução Normativa nº 482/2012, a fim de reduzir os custos e tempo para a conexão da microgeração e minigeração; compatibilizar o Sistema de Compensação de Energia Elétrica com as Condições Gerais de Fornecimento (Resolução Normativa nº 414/2010); aumentar o público alvo e melhorar as informações na fatura. (ANEEL, 2015) Essa resolução altera alguns pontos da resolução anteriormente citada, mas o sistema de compensação de energia elétrica se mantém.

A Aneel discutiu uma nova proposta de revisão da REN 482 2012, por meio de consultas públicas envolvendo diferentes segmentos da sociedade entre 2018 e 2019. Como resultado do debate à época, observou-se a necessidade de assegurar ao mercado de Micro e Mini Geração Distribuída (MMGD) o seu estabelecimento via uma lei federal, ou seja, pela criação de um Marco Legal para a MMGD no Brasil. Em paralelo, a Aneel publicou no final de março de 2021 uma minuta da nova resolução normativa que alteraria a atual REN 482 2012 (GREENER, 2021).

O momento atual no setor passa por diversas mudanças, essas duas propostas que estão sendo elaboradas em paralelo irão definir novas regras para consumidores que produzem a própria energia, a chamada geração distribuída. (GREENER, 2021; ESTADÃO, 2021).

Neste trabalho, será considerado o formato de sistema de compensação de energia, tal como define a Resolução Normativa ANEEL Nº 482 de 17 de abril de 2012, pelo fato da incerteza da aprovação dos textos atuais do Marco Legal e da não oficialização da revisão desta resolução.

3 APRESENTAÇÃO DO PROJETO

3.1 INTRODUÇÃO: CONDICIONANTES DE PROJETO

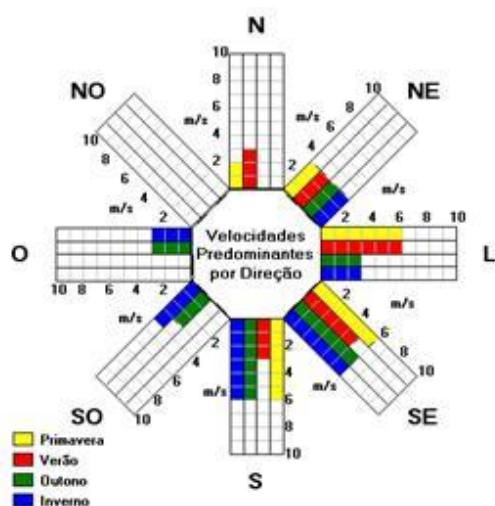
3.1.1 Contextualização Climática

O projeto será desenvolvido para a cidade de Maceió, que é a capital do estado de Alagoas e está inserida na região Nordeste do país. Localizada na latitude 9°45' ao sul do Equador e longitude 35°42' a oeste do meridiano de Greenwich.

De acordo com o INMET (1992), seu clima é caracterizado como quente e úmido e apresenta uma constância de nível térmico que é comum no litoral do Nordeste brasileiro (BARBIRATO, et al, 2000). A cidade apresenta temperatura média anual de 24,8°C e variação anual de 2,8°C entre os valores médios mensais de temperaturas do ar, com valores de temperatura absoluta em torno dos 38°C nos meses mais quentes (PASSOS et al, 2018).

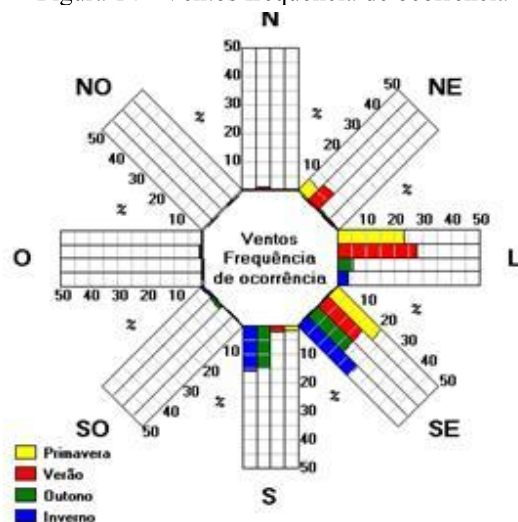
Possui duas estações bem definidas: um período de altas temperaturas e pouca pluviosidade com ocorrência de chuvas passageiras, de outubro a janeiro, e um período intensamente chuvoso, com temperaturas mais amenas em relação à estação anterior, de abril a julho (INMET, 1992).

Figura 13 - Velocidades predominantes por orientação



Fonte: SOL-AR, 2021.

Figura 14 - Ventos frequência de ocorrência



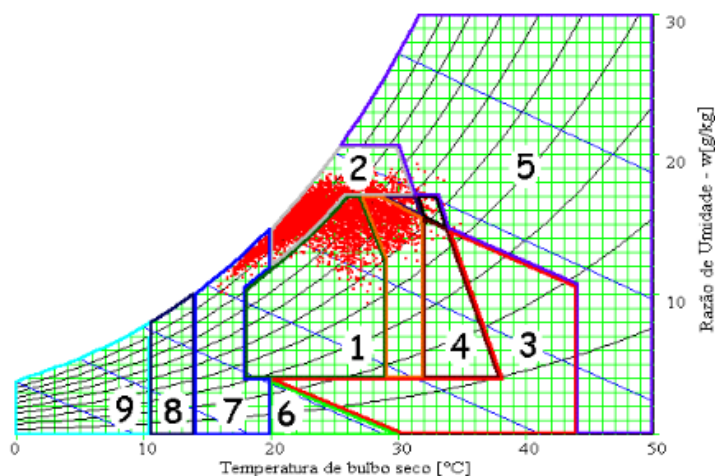
Fonte: SOL-AR, 2021.

Segundo Barbirato, et al, (2000) Maceió sofre influência alternada dos ventos alísios de Sudeste, mais frequente (de velocidade fraca a moderada) e os ventos de retorno do Nordeste, durante os meses mais quentes. Acima estão as rosas-dos-ventos para a cidade de

Maceió, a Figura 13 apresenta as velocidades predominantes em cada uma das orientações principais e a Figura 14 mostra sua frequência de ocorrência.

Uma análise da carta bioclimática (Figura 15) para a cidade de Maceió feita por Lamberts *et al* (2014, p. 319) propõe que a estratégia de ventilação apresenta-se como a mais indicada, sendo a grande solução para o desconforto térmico, resolvendo 75% das horas do ano.

Figura 15 - Carta bioclimática de Maceió

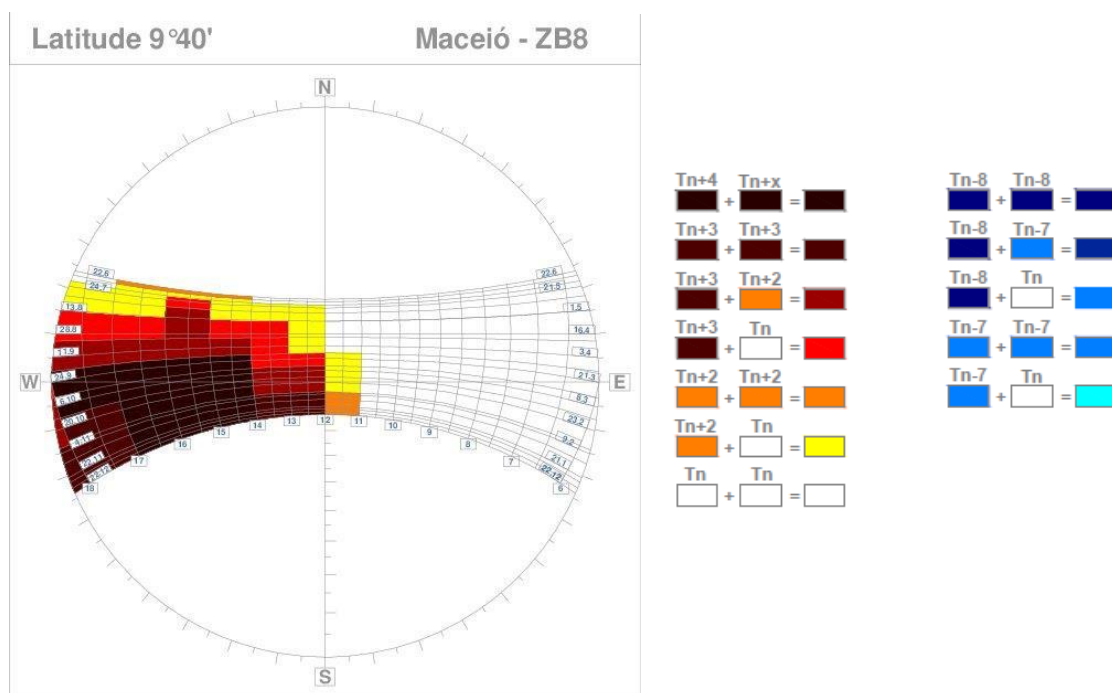


Fonte: LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014.

Com relação à insolação, a carta solar é a ferramenta utilizada para conhecer o percurso do sol na abóbada celeste, nos diferentes períodos do dia e do ano, representadas por projeções em um plano (BITTENCOURT, 2004). A carta solar para Maceió-AL está representada na Figura 16, com temperaturas do ar plotadas segundo a legenda, em que T_n é a Temperatura neutra. As temperaturas neutras (T_n) fornecem variações acima das quais a insolação deve ou não ser bloqueada, dadas em número de graus acima da T_n (T_n+2 , $T_n+3...$), e abaixo das quais a insolação deve ser permitida, dados em graus abaixo da T_n (T_n-6 , T_n-7 , $T_n-8...$) (PEREIRA, SOUZA, 2008).

Para evitar ganhos excessivos por radiação solar, é necessário usar proteções solares nas aberturas expostas aos períodos de insolação destacados pelas manchas amarela e vermelha. Porém, deve-se atentar para a necessidade de iluminação natural (LAMBERTES; DUTRA E PEREIRA, 2014, p. 319).

Figura 16 - Carta solar da cidade de Maceió-AL.



Fonte: SOUZA, VELOSO E MATTOS, 2010.

Outro aspecto relevante quanto à radiação solar é o grande potencial para geração de energia fotovoltaica no país, especialmente no Nordeste, segundo estudos do INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2018). O valor médio anual do total diário de irradiação solar foi analisado para as cinco regiões brasileiras e a região que apresentou o maior potencial solar foi o Nordeste, com valor médio do total diário da irradiação global horizontal de 5,49 kWh/m² e da componente direta normal de 5,05 kWh/m².

A cidade de Maceió apresenta uma grande vantagem para uso da geração de energia fotovoltaica, pois tem elevadas horas de sol o ano inteiro e valor médio do total diário da irradiação global horizontal é de 5,66 kWh/m², segundo INPE (2022)

3.1.2 Terreno e Implantação

Adotou-se um terreno hipotético na cidade de Maceió/AL para desenvolvimento desse projeto, onde serão apresentadas propostas para duas diferentes orientações de fachadas frontais: Norte e Sul. Para definir o dimensionamento do terreno, os seguintes documentos e informações foram considerados: A Portaria Nº 660, de 14 de Novembro de 2018 e Portaria Nº 959, de 18 de Maio de 2021; O Código de Urbanismo de Maceió; e o levantamento de dimensões de lotes nos empreendimentos de mesmo padrão existentes na cidade.

A Portaria Nº 660, de 14 de Novembro de 2018 (BRASIL, 2018) dispõe sobre as diretrizes para a elaboração de projetos e estabelecem as especificações técnicas mínimas da unidade habitacional e as especificações urbanísticas dos empreendimentos, no âmbito do Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV. Esta define a área útil mínima da UH deve ser 36,00 m², se área de serviço for externa, ou 38,00 m², se a área de serviços for interna.

O presente trabalho observou as definições desta portaria, além de verificar as recomendações do atual Programa Casa Verde e Amarela, que tem seus requisitos definidos pela Portaria Nº 959, de 18 de Maio de 2021 (BRASIL, 2021) e apresenta as mesmas recomendações quanto a área útil mínima da UH.

Como as portarias não definem tamanhos de lotes individualizados, a área útil foi o aspecto considerado para dimensionar uma área de terreno adequada a portar uma unidade habitacional que estivesse de acordo.

Foram observados os lotes individualizados de empreendimentos horizontais padrão MCMV em Maceió, com fins de dimensionar um lote que estivesse de acordo com a realidade construtiva na cidade. Além disso, pretende-se demonstrar a possibilidade de executar um projeto bioclimático, que também é acessível e flexível, que pode ser adaptado as diferentes necessidades dos moradores e as futuras reformas ao longo da sua vida útil. Os empreendimentos residenciais estão descritos abaixo:

- Residencial Jardim Royal I - 2122 unidades habitacionais com lotes 7x18;
- Residencial Novo Jardim – 2482 unidades habitacionais com lotes 7x18;
- Residencial Jardim das Orquídeas- 466 unidades residenciais com lotes 7,2 x 13,10m.

Figura 18 - Residencial Jardim Royal I



Fonte: http://www.contratoengenharia.com.br/obras_concluidas.php?id_obra=36

Figura 17 - Residencial Jardim das Orquídeas



Fonte: <http://www.engenharq.com.br/empreendimentos/novo-jardim/>

O Plano Diretor da cidade de Maceió-Al (2006) é o seu principal instrumento da política de desenvolvimento urbano e ambiental e a Política Habitacional é um dos temas prioritários para o município. Uma das diretrizes da Política Habitacional do Município de Maceió é a prioridade no atendimento à habitação de interesse social nas áreas indicadas como Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS).

O Código de Urbanismo e Edificações do Município de Maceió (2007) determina zonas de estímulo à promoção de habitação de interesse social, que são as zonas ZR-1, ZR-2, ZR-3 e ZR-9. Atentou-se aos parâmetros urbanísticos disponíveis no Código nessas Zonas para o Uso Residencial 1 (UR-1), já que neste projeto será implantado apenas uma unidade residencial unifamiliar no lote, que podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros Urbanísticos para UR-1

Zona	Taxa de Ocupação do terreno Máxima	Testada mínima do lote (m)	Área mínima do lote	Recuo Frontal (m)	Laterais e de Fundos(m)
ZR-1	90%	5	125	-	-
ZR-2	90%	10	250	3,00	-
ZR-3	80%	5	125	3,00	-
ZR-9	70%	5	125	2,00	-

Fonte: MACEIÓ, 2007. Adaptado pelo autor.

Ressalta-se que o Código de Urbanismo e Edificações do Município de Maceió (2007) prevê a flexibilização desses parâmetros para promover a habitação de interesse social, de modo a favorecer o acesso e diminuir os custos. Diante das informações apresentadas, definiu-se um terreno com 8m de testada e 16m de profundidade, totalizando uma área de 128m² (Figura 19). Inicialmente, decidiu-se adotar obrigatoriamente apenas o recuo frontal de 3,00m, para viabilizar a proposta e visando mais liberdade ao pensar o projeto, já que o terreno era pequeno. Porém, foram adotados recuos laterais e de fundos conforme ilustra a Figura 20, além de um recuo frontal maior que 3,00 metros, devido à influência que exercem no conforto térmico e luminoso da edificação.

Figura 19 - Dimensão do lote.



Figura 20 - Recuos adotados para implantação Norte e Sul.



Fonte: Autora, 2022.

Optou-se pela escolha de duas implantações da edificação no terreno, com relação a orientação solar da fachada principal: Norte e Sul. A definição dessas duas orientações se deve ao fato de que na metodologia simplificada da INI-R, que calcula por meio de um metamodelo de redes neurais artificiais, exigir que a edificação tenha sua orientação solar definida em um dos quadrantes Norte, Sul, Leste ou Oeste.

Primeiramente as quatro orientações seriam adotadas, porém com o desenvolvimento do projeto percebeu-se que as propostas Oeste e Leste iriam ser muito diferentes da Norte e Sul. Devido a configuração do terreno ser longitudinal e a necessidade do atendimento de condições de conforto e acessibilidade em todas as propostas. Por isso decidiu-se manter para este trabalho apenas as orientações Norte e Sul.

3.1.3 Programa de Necessidades

O Programa de necessidades para elaboração do projeto foi definido de acordo com a Portaria N° 660, de 14 de Novembro de 2018 (BRASIL, 2018) que define especificações

técnicas para projetos padrão Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV e com a Portaria Nº 959, de 18 de Maio de 2021 (BRASIL, 2021) que apresenta os requisitos do atual Programa Casa Verde e Amarela. O Programa de necessidades mínimo apresentado para unidade habitacional consta com sala, 1 dormitório casal, 1 dormitório para duas pessoas, cozinha, área de serviço e banheiro.

Além disso, as Portarias apresentam exigências em relação ao mobiliário mínimo previsto para cada cômodo, e estes foram dimensionados visando o atendimento dessas exigências, que serão abordadas no item apresentação do projeto, no terceiro capítulo deste trabalho.

3.2 O PROJETO

O projeto que será apresentado a seguir foi pensado para atender a implantação com fachada principal nas orientações Norte e Sul. Também serão apresentadas as modificações e reformas possíveis, que foi um dos partidos adotados na elaboração desses projetos: permitir que os moradores ampliem suas casas sem necessidade de grandes mudanças em sua estrutura. O partido arquitetônico também levou em consideração a acessibilidade, conforto térmico, eficiência energética, funcionalidade e uso de materiais com bom custo benefício, que tivessem bons desempenhos térmicos e que o uso fosse possível em obras de habitação popular.

Ressalta-se que a intenção do trabalho não é uma proposta de conjuntos habitacionais de habitação popular, mas sim de uma unidade habitacional de alto desempenho, que possa ser um modelo para inserção em um conjunto que tenha as outras demandas necessárias contempladas. Entende-se que “o exercício pleno do direito à moradia compreende o acesso à mobilidade, infraestrutura urbana, equipamentos comunitários e serviços públicos” (SNH/MCidades, 2017, p. 14).

3.2.1 Setorização

Figura 21 - Setorização proposta “Sul” e “Norte”



Fonte: Autora, 2021.

No projeto de arquitetura a setorização organiza os espaços e as suas especificidades, agrupando os ambientes de mesma função ou que tenham funções semelhantes. Os projetos propostos nesse trabalho foram organizados nos seguintes setores: social, íntimo, serviço e de circulação.

O setor social é composto por uma varanda e uma sala de estar/refeições, que pode ser observado na Figura 21. Essa área é o ponto de partida para os outros ambientes, também é onde os moradores irão passar um tempo juntos ou receber visitas. Apesar de estar incluída no setor de serviço a cozinha foi projetada de forma integrada a sala, sem divisões por paredes, esse ambiente funcionará também como um espaço social, o que é muito comum nos projetos atuais.

No setor íntimo (Figura 21) foram localizados os dois quartos e um banheiro. Nos quartos o acesso é feito por um pequeno hall que liga a área íntima a área social, tendo suas portas de acesso direcionadas ao corredor. O banheiro tem sua porta de acesso voltado para a sala. Esses ambientes costumam ser de uso privado dos moradores, exceto pelo banheiro, que por ser o único da casa também funcionará como social.

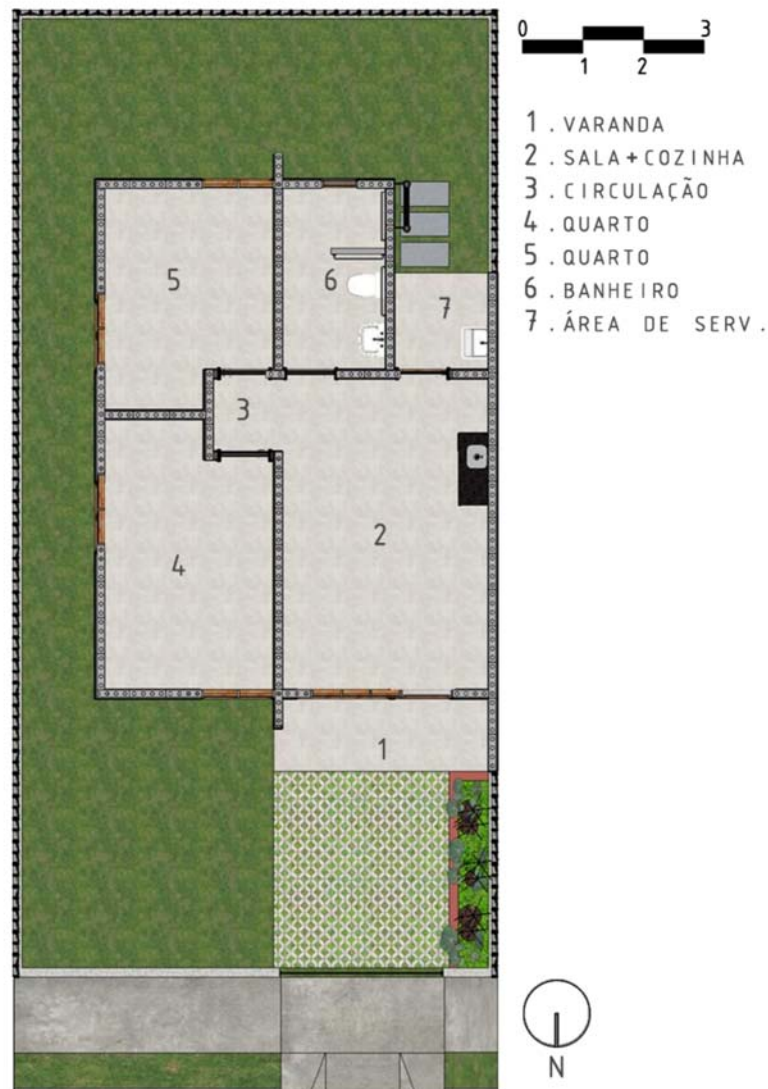
O setor de serviço (Figura 21) é onde as atividades de manutenção da casa acontecem, ele deve ser pensado para ser funcional e prático, pois nesses ambientes vai ocorrer muita movimentação durante a utilização e abrigar vários equipamentos. Nesse projeto a cozinha e área de serviço são os ambientes do setor de serviço.

3.2.2 Proposta “Norte”

O projeto da proposta “Norte” se desenvolveu a partir da determinação do terreno hipotético de 8x16m, com área total de 128m², em que a fachada principal foi posicionada na orientação norte. Sua área construída resultou em 59,00m², sendo 51,90m² de área útil.

Os ambientes de longa permanência foram priorizados para receber melhor os ventos predominantes e o sombreamento adequado. Dessa forma, o projeto iniciou-se pela distribuição dos quartos, que tem a maior fachada externa posicionada na orientação leste, recebendo o sol da manhã e sombreamento no período da tarde.

Figura 22 - Planta baixa proposta “Norte”



Fonte: Autora, 2022.

O banheiro e a área de serviço estão voltados (predominantemente) para orientação oeste, que é mais desfavorável aos outros ambientes, com intuito de funcionar como barreiras térmicas. Por conta das limitações do terreno, foi necessário que uma parte da parede interna da casa fosse colada ao muro, voltado a oeste devido a isto, não existem aberturas nessa orientação. Nessa área estão a cozinha e sala de estar/refeições, e para compensar a orientação menos favorável, as outras três orientações (norte, leste e sul) apresentam aberturas para que ocorra a ventilação cruzada e o efeito do ganho de calor pela parede oeste seja minimizado. além do uso de vedações com bom isolamento térmico e uso de cores de pintura externa reflexivas.

Figura 23 - Perspectiva fachada frontal proposta “Norte”



Fonte: Autora, 2022.

Figura 24 - Perspectiva da proposta “Norte”



Fonte: Autora, 2022.

3.2.3 Proposta “Sul”

Nesse projeto, a fachada principal foi posicionada na orientação sul no terreno com mesmas dimensões. Também tem área construída 59,00m², com 51,90m² de área útil, e apresenta mesmas lógicas de distribuição dos ambientes que a proposta anterior. A diferença é a orientação solar da fachada principal e posterior. O comportamento dessas mudanças e a influência delas será observado mais a frente nos item 3.2 - estratégias bioclimáticas e de eficiência energética.

Figura 25 - Planta baixa proposta “Sul”



Fonte: Autora, 2021.

Figura 26 - Perspectiva fachada frontal proposta “Sul”



Fonte: Autora, 2022.

Figura 27 – Perspectiva fachada posterior proposta “Sul”



Fonte: Autora, 2022.

3.2.4 Layout e Acessibilidade

O layout dos ambientes foi elaborado visando o atendimento a Portaria Nº 660, de 14 de Novembro de 2018 (BRASIL, 2018) e Portaria Nº 959, de 18 de Maio de 2021 (BRASIL, 2021) em relação ao mobiliário mínimo previsto para cada cômodo de projetos de habitação popular, que podem ser observadas no quadro abaixo. Além disso, o layout do mobiliário foi projetado para atender a exigências de circulação para promover a acessibilidade, de acordo com NBR 9050 (ABNT, 2020).

Quadro 1- Mobiliário previsto por cômodo.

Dormitório casal	Quantidade mínima de móveis: 1 cama (1,40 m x 1,90 m); 1 criado mudo (0,50 m x 0,50 m); e 1 guarda-roupa (1,60 m x 0,50 m). Circulação mínima entre mobiliário e/ou paredes de 0,50 m.
Dormitório duas pessoas	Quantidade mínima de móveis: 2 camas (0,90 m x 1,90 m); 1 criado-mudo (0,50 m x 0,50 m); 1 guarda-roupa (1,50 m x 0,50m). Circulação mínima entre as camas de 0,80 m. Demais circulações, mínimo 0,50 m.
Cozinha	Largura mínima da cozinha: 1,80 m. Quantidade mínima: pia (1,20 m x 0,50 m); fogão (0,55 m x 0,60 m); geladeira (0,70 m x 0,70m). Previsão para armário sob a pia e gabinete.
Sala de estar/refeições	Largura mínima sala de estar/refeições: 2,40m. Quantidade mínima de móveis: sofás com numero de assentos igual ao número de leitos, mesa para 4 pessoas e estante/armário TV.
Banheiro	Largura mínima do banheiro: 1,50m. Quantidade mínima: 1 lavatório sem coluna, 1 vaso sanitário com caixa de descarga acoplada, 1 box com ponto para chuveiro – (0,90x0,95) com previsão para instalação de barras de apoio e de banco articulado, desnível máximo 15mm; Assegurar área para transferência ao vaso sanitário e ao box.
Área de serviço	Quantidade mínima: 1 tanque (0,52 m x 0,53 m) e 1 máquina (0,80 m x 0,65 m). Prever espaço e garantia de acesso frontal para tanque e máquina de lavar.

Fonte: BRASIL, 2018.

Na Figura 28 abaixo, podem ser observadas as perspectivas internas da sala de refeições e cozinha, que são ambientes integrados.

Figura 28 - Perspectivas internas sala de estar, refeição e cozinha



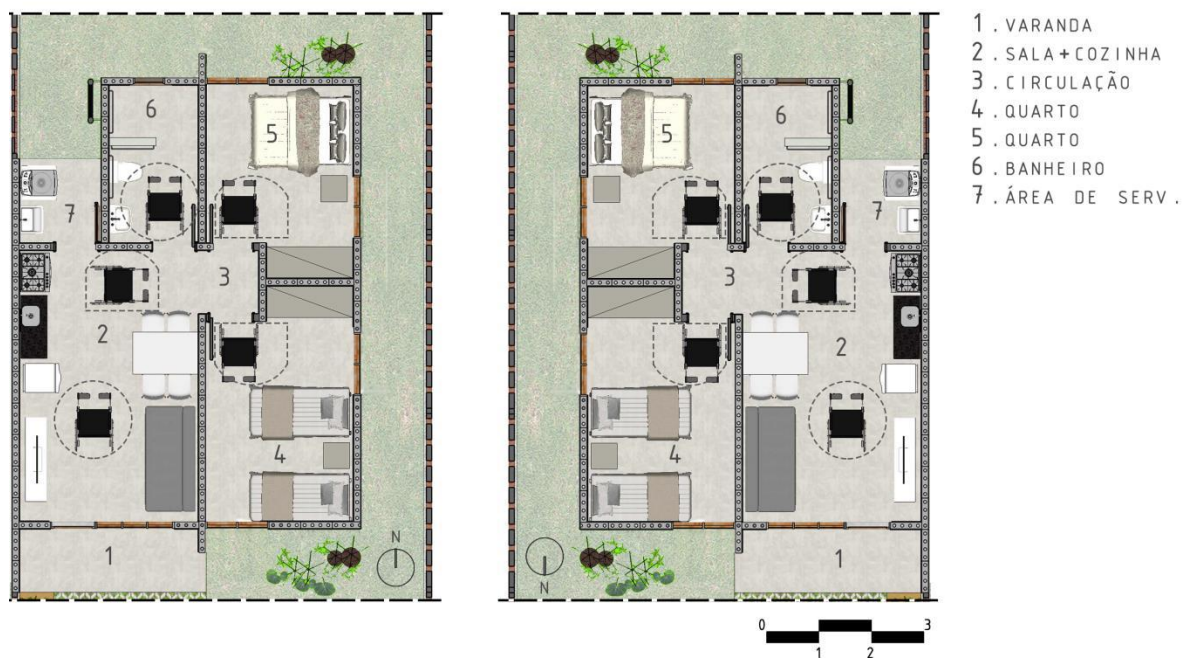
Fonte: Autora, 2021.

Uma das diretrizes essenciais no projeto foi que as UH fossem inclusivas e acessíveis, assim as propostas tem todos os cômodos com layout dimensionado para o conforto, segurança e bem-estar dos usuários, de acordo com a NBR 9050 (ABNT, 2020). Apesar da Portaria Nº 660, de 14 de Novembro de 2018 (BRASIL, 2018) definir a área útil mínima para uma UH de projetos padrão MCMV em 36m² ou 38m², observou-se que essa área útil era incompatível para uma UH com espaços acessíveis, segundo a NBR 9050 (ABNT, 2020).

Entretanto, a mesma Portaria Nº 660, de 14 de Novembro de 2018 (BRASIL, 2018), também exige que as questões de acessibilidade sejam contempladas. De acordo com esse documento: Espaços devem ser livres de obstáculos em frente as portas, com espaço de 1,20m; Nos banheiros deve ser possível inscrever um módulo de manobra sem deslocamento, que permita rotação de 360°; Nos demais ambientes, deve ser possível inscrever módulo de manobra sem deslocamento que permita a rotação de 180°.

A Portaria Nº 660 (BRASIL, 2018) ainda comenta que todas essas recomendações devem estar de acordo com as definições da ABNT NBR 9050 e suas eventuais atualizações.

Figura 29 - Plantas de layout mostrando a acessibilidade na proposta “Sul” e “Norte”.



Fonte: Autora, 2022.

Assim, nesse projeto todas as propostas seguem as recomendações apresentadas acima, bem como a norma de acessibilidade, como pode ser observado na Figura 30. Além disso, todas as portas da UH apresentam vão livre de 0,80m de largura.

3.2.5 Identidade Visual

Para este projeto, foram propostas três opções de identidade visual para as fachadas, que poderão ser escolhidas pelos usuários a fim de gerar uma maior identificação e sensação de pertencimento. A casa pode ser “personalizada” a partir da escolha do material do muro ventilado (diferentes tipos de cobogós) como também pela cor de algumas paredes externas, como pode ser observado na Figura 30.

Figura 30 - Opções de identidade visual das fachadas



Fonte: Autora, 2022.

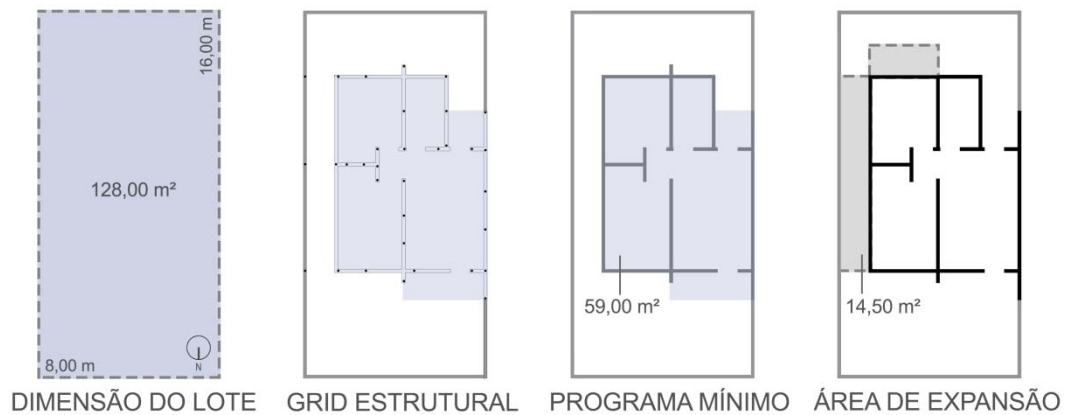
3.2.6 Opção de ampliação

Na habitação popular a necessidade de ampliação é a modificação mais frequente e por isso foi uma das principais diretrizes no desenvolvimento das propostas. Assim, os projetos foram elaborados para possibilitar a ampliação sem alterar a proposta formal, evitando a descaracterização das fachadas. Buscou-se minimizar problemas comuns causados por modificações espontâneas, como perda da funcionalidade, iluminação e ventilação natural.

Apresentam-se nas figuras abaixo as plantas das opções de ampliação da residência para a proposta “Norte”, o projeto de ampliação das proposta “Sul” será igual, alterando apenas a fachada principal.

Foram previstas 4 propostas de ampliação da residência, três ampliações no sentido horizontal e uma na vertical. A Figura 31 abaixo mostra a lógica de expansão, bem como o grid estrutural previsto no projeto para possibilitar que sejam feitas as modificações.

Figura 31 - Estratégia para expansão do projeto



Fonte: Autora, 2022.

Na opção de ampliação horizontal 01 a ideia seria tornar o quarto de casal uma suíte, utilizando uma parte do recuo posterior para construção de um banheiro com 3,36m², como pode ser observado na planta baixa na Figura 32. Nessa opção, a janela posterior do quarto 02 é retirada e nesse espaço insere-se a porta de acesso ao banheiro, a coberta seria uma continuação da existente. Assim, a área construída na proposta de ampliação horizontal 01 é 63,00m² e área útil 55,28m².

Figura 32 - Ampliação horizontal 01



Fonte: Autora, 2022.

A ampliação horizontal 02 seria uma ampliação do espaço do quarto 01, resultando numa área de 17,80m², onde seria inserido uma divisória em drywall para criar dois novos ambientes: o quarto 01 reduzido, com 9,08m², e um espaço novo que pode ser uma área comercial da família, com 9,30m². Nessa proposta as janelas são reaproveitadas e só mudam suas posições, e seria necessário apenas a adição de uma porta de acesso a área comercial, além dos ajustes na cobertura. A área construída na proposta de ampliação horizontal 02 é 65,60m² e a área útil é 58,55m².

Figura 33 - Ampliação horizontal 02



Fonte: Autora, 2022.

Já a proposta de ampliação horizontal 03 seria a ampliação dos dois quartos, eliminando completamente o recuo lateral na orientação leste. As janelas localizadas ali seriam reaproveitadas, como pode ser observado na planta baixa ilustrada na Figura 34. A área construída na proposta de ampliação horizontal 03 é 70,80m² e área útil 62,93m².

Figura 34 - Ampliação horizontal 03



Fonte: Autora, 2022.

Figura 35 - Ampliação vertical



Fonte: Autora, 2022.

A proposta de ampliação vertical (Figura 35) pretende-se criar um pavimento extra, que contém uma sala cozinha integradas, um quarto e um banheiro. Seu acesso será dado pelos fundos da casa, com o acréscimo de uma escada helicoidal pré-moldada. A área poderá

ser utilizada como quarto extra no caso de expansão da família, área comercial, escritório, ou mesmo para abrigar um inquilino e vir a ser fonte de renda para a família. Nessa proposta, a área construída é 91,66m² e sua área útil 79,98m².

3.2.7 Materiais e métodos construtivos

O sistema construtivo e estrutural adotado para este projeto foi o bloco de Concreto Celular Autoclavado (CCA), que foi escolhido a fim de otimizar o processo construtivo, custo de obra e reduzir os resíduos. Este material é leve e tem dimensões que possibilitam maior velocidade de assentamento dos blocos, influenciando diretamente na agilidade na construção, reduzindo gastos excessivos com mão-de-obra (CELUCON, 2021).

Estas características tornam o material uma excelente opção para habitação popular, uma vez que a demanda por a construção de obras com maior grau de produtividade e racionalização é alta em empreendimentos como este.

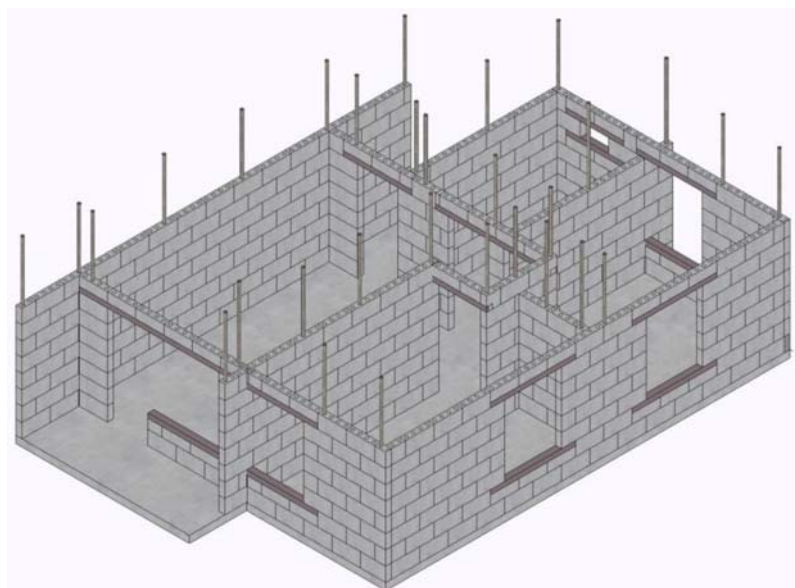
Além disso, o bloco CCA possui características de isolamento térmico e acústico, é resistente ao fogo e é leve, em comparação com outros materiais de construção, facilitando seu manuseio, transporte e reduzindo os custos no dimensionamento das estruturas (CELUCON, 2021).

Os blocos CCA utilizados tem dimensões 60cmx30cm e para construir um metro cubico de parede são necessários 5,5 blocos aproximadamente. Por se tratar de um material leve, com maiores dimensões e com ótima aderência, influencia diretamente na velocidade de assentamento, que pode ser até 4x mais rápido que a alvenaria comum (CELUCON, 2021).

A dimensão horizontal e vertical dos blocos foi levada em consideração e foi prevista toda a modulação deles em planta e corte, para aproveitar ao máximo e evitar cortes. A amarração dos blocos pode ser vista na Figura 36 que mostra a casa em perspectiva.

Os blocos CCA são materiais de vedação, a estrutura que vai sustentar as paredes e coberta é feita por pilares delgados em concreto armado, que ficam dentro do blocos. A locação dos pilares foi prevista para possibilitar a expansão dos quartos nas opções de ampliação horizontal apresentadas anteriormente.

Figura 36 - Perspectiva da estrutura



Fonte: Autora, 2022.

Na cobertura foi utilizada telha cerâmica esmaltada na cor branca, devido a suas propriedades térmicas, que favorecem a redução de temperaturas internas. Também foi utilizado a telha de fibrocimento apenas no abrigo do reservatório de água.

Para o reservatório de água, foram utilizadas caixas d'água pré-fabricadas em polietileno, por conta da disponibilidade no mercado e por serem mais utilizadas em edificações como estas.

O dimensionamento do reservatório foi feito em função da composição familiar, considerando quatro integrantes com um consumo diário médio de 150L por pessoa e prevendo a necessidade de uma reserva extra no caso de escassez por 2 dias, resultando em um volume necessário 1.200L. No projeto, utilizou-se duas caixas d'água de 750L cada, totalizando 1.500L que irá atender com folga a demanda da família.

Elementos de concreto foram utilizados no projeto, como cobogós nos muros.

As esquadrias utilizadas no projeto foram escolhidas por conta de uma limitação da avaliação de eficiência energética pelo método simplificado da INI-R, que considera apenas venezianas de madeira. Por isso, nos APP foram utilizadas venezianas móveis de madeira, para permitir manuseio e controle da entrada de luz, ventos e raios solares.

As demais esquadrias tem caixilhos em madeira e folhas em vidro, com abertura do tipo pivotante, que permitem maior área efetiva de abertura para ventilação e iluminação.

3.2.8 Limitações do Projeto

Este projeto foi desenvolvido com objetivo de ser avaliado pelo método simplificado da INI-R para obter a classificação A em EE. Por conta disso, foi necessário adotar algumas limitações para que o projeto estivesse passível de avaliação por esse método, a fim de não recorrer ao método de simulação computacional.

Além dos parâmetros construtivos que atendem aos intervalos definidos na proposição do método, apresentados anteriormente na revisão bibliográfica, a INI-R lista outras limitações. A seguir serão apresentadas especialmente as que tiveram impacto nas decisões de projeto e as respectivas soluções.

Segundo a INI-R, no método simplificado “não é possível representar elementos de sombreamento que sejam vazados ou mesmo aqueles que somente ocorram em determinados períodos de tempo” (INMETRO, 2021b, p. 15) e apenas as venezianas de madeira foram consideradas nos metamodelos. Isso influenciou na escolha do tipo de sombreamento e no tipo de esquadrias.

A geometria da edificação, os materiais e métodos construtivos também foram itens pensados para possibilitar a aplicabilidade do método simplificado da INI-R. A orientação solar das fachadas, que se encontram nos quadrantes Norte /Sul /Leste /Oeste também foi um item necessário para simplificar a aplicação do método.

Outro fator muito limitante foi a falta de informações detalhadas sobre a aplicação da INI-R, pois como visto anteriormente a norma ainda não foi publicada oficialmente até o momento da publicação deste trabalho. Lacunas como a forma de utilização do metamodelo disponível online pelo PBE, o preenchimento de dados e a geração dos resultados foram os problemas encontrados. A experimentação da plataforma, refazendo o processo várias vezes e a conferência com cálculos manuais foi a forma encontrada para conseguir utilizar o método simplificado.

3.3 ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS E DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Em virtude de garantir o bem-estar dos usuários e por consequência obter a classificação de nível “A” em eficiência energética da edificação no aspecto de envoltória, as propostas buscaram aproveitar ao máximo as estratégias bioclimáticas de conforto e eficiência energética, que foram estudadas na revisão bibliográfica deste trabalho.

Foram observadas as diretrizes estabelecidas pela NBR 15.220 (ABNT, 2005) para a Zona Bioclimática 8, que inclui a cidade de Maceió-AL:

- Aberturas: grandes e sombreadas;
- Vedações externas: parede leve e refletora, cobertura leve e refletora;
- Estratégias de condicionamento térmico passivo: ventilação cruzada permanente no verão;

As especificações das estratégias que foram aplicadas aos projetos serão abordadas a seguir.

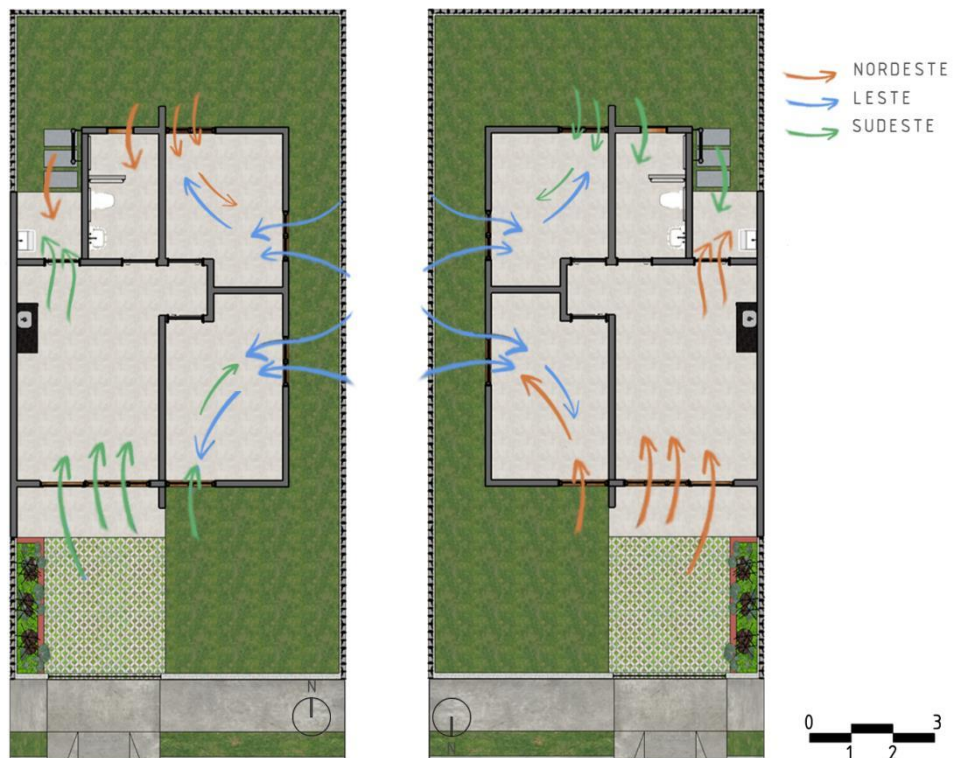
3.3.1 Ventilação Natural

Os benefícios no aproveitamento da ventilação natural em habitações incluem melhoria na qualidade do ar no interior, economia de energia com os dispositivos de condicionamento artificiais, entre outros.

Para possibilitar a ventilação natural nestes projetos, as seguintes estratégias foram incorporadas: Grandes áreas de abertura efetiva para ventilação; Uso do peitoril ventilado nos quartos, para ventilação noturna e no nível do mobiliário; Emprego do muro permeável para permitir a ventilação por meio dos cobogós, Ventilação cruzada nos ambientes de permanência prolongada; Uso de Venezianas móveis, que possibilitam o controle da entrada de ventilação mesmo com as janelas fechadas.

Nos esquemas de ventilação natural para as propostas “Norte” e “Sul” a seguir é possível observar como foram incorporadas as estratégias. Os dormitórios tem sua maior fachada externa posicionada a Leste, que permitem a entrada dos ventos predominantes leste e sudeste, além disso, possuem janelas posicionadas de forma estratégica para que a ventilação cruze o ambiente.

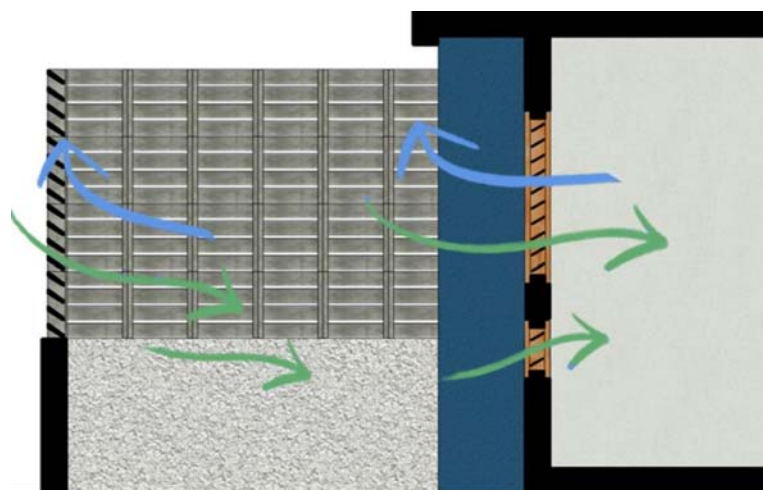
Figura 37 - Esquema mostrando ventilação natural nas propostas “Sul” e “Norte”



Fonte: Autora, 2022.

Abaixo, a Figura 38 mostra um esquema simulando a ventilação natural com o uso combinado das estratégias do peitoril ventilado, muro permeável e venezianas móveis das janelas.

Figura 38 – Corte esquemático de ventilação mostrando peitoril ventilado, muro permeável e venezianas móveis.



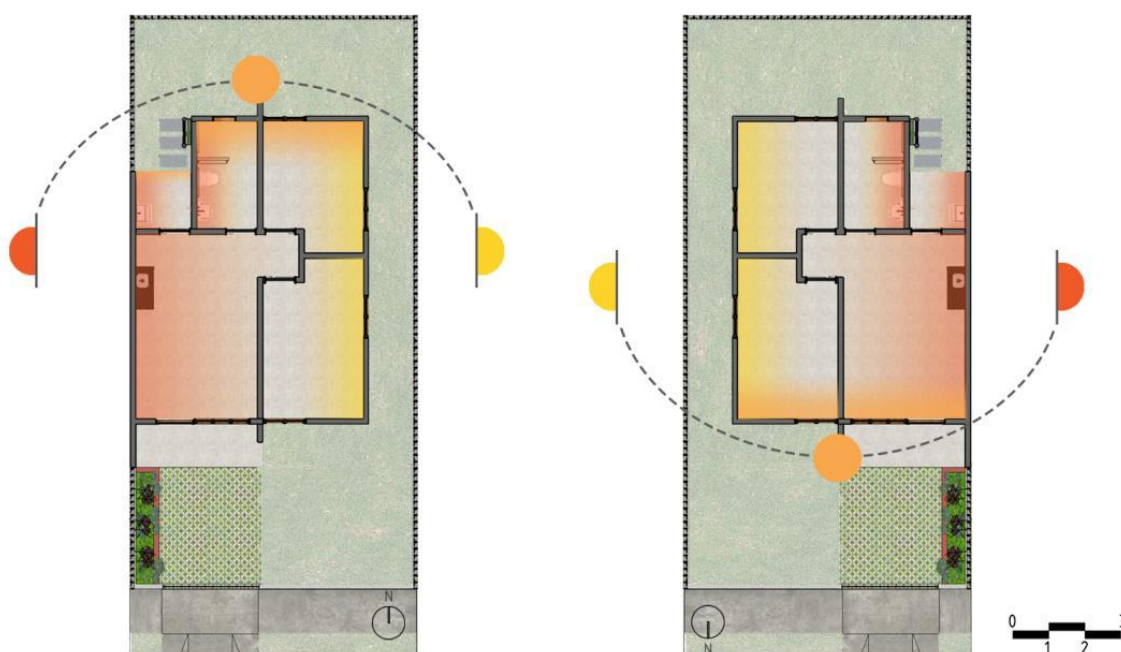
Fonte: Autora, 2022.

A carta solar mostra que, durante o ano inteiro, a orientação leste vai receber sol da manhã, das 6h às 12h, já a orientação oeste recebe sol no período da tarde, das 12h às 18h.

No solstício de inverno, que compreende de 21 de março a 23 de setembro, a orientação norte receberá sol durante todo o dia, das 6h às 18h. No solstício de verão, período de 23 de setembro a 21 de março a orientação sul recebe sol das 6h às 18h.

A trajetória solar foi aplicada as plantas das propostas “Norte” e “Sul”, apresentadas no esquema da Figura 40:

Figura 40 - Esquema da trajetória solar nas propostas “Sul” e “Norte”.



Fonte: Autora, 2022.

No projeto, a orientação solar para evitar ganhos de calor advindos da radiação direta nos ambientes de permanência prolongada foi priorizada, sendo o ponto de partida da proposta. Nas duas propostas “Norte” e “Sul”, os dormitórios ficaram com a maior fachada externa a leste, onde recebem o sol no período da manhã.

O ambiente integrado que compreende sala de estar, refeições e cozinha foi um pouco prejudicado com relação à orientação oeste, em consequência das dimensões do terreno.

Segundo o software online PROJETEEE (2021d), “as orientações leste e oeste recebem grande intensidade de radiação solar, sendo a orientação oeste sujeita ao pico de radiação.” Por isso, para amenizar os efeitos negativos da orientação oeste, decidiu-se colar a parede externa nos limites do terreno, evitou-se qualquer tipo de abertura na orientação e

utilizou-se de pintura reflexiva na parede externa para amenizar os ganhos de calor com a radiação direta.

Na proposta com fachada principal “Norte” a sala de estar, refeições e cozinha e o quarto 01 tem fachadas externas orientadas a norte, recebendo o sol o dia inteiro no solstício de inverno. Nessa mesma proposta, a fachada posterior orientada a Sul, que compreende a área de serviço, banheiro e o quarto 02, estão expostos ao sol durante o dia no Solstício de Verão.

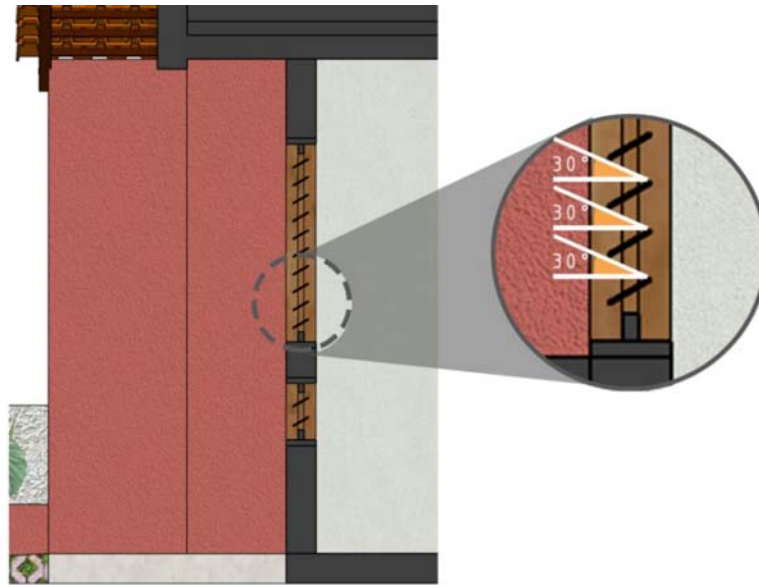
Já na proposta com fachada principal “Sul”, a situação é invertida. A sala de estar, refeições e cozinha e o quarto 01 tem fachadas externas orientadas a sul, recebendo o sol o dia inteiro no solstício de verão e a fachada posterior expõe a área de serviço, banheiro e o quarto 02 ao sol durante o dia no Solstício de Inverno.

A partir do estudo da incidência solar nas fachadas, analisou-se a necessidade de sombreamento nos APP da residência. O sombreamento vertical com uso de venezianas foi a opção escolhida, por conta do método de avaliação da INI-R.

O método simplificado da INI-R é restrito aos sombreamentos com uso de venezianas em madeira, não sendo possível analisar sombreamentos vazados ou que ocorram apenas em determinados períodos de tempo. Segundo a INI-R, todos os sombreamentos são considerados fixos e permanentes ao longo do ano, e no caso de venezianas móveis o ângulo desse elemento deve ser considerado fixo no ângulo máximo possível (INMETRO, 2021b, p. 15).

Outra limitação devido ao método usado explica que “caso existam vários elementos de sombreamento numa dada orientação, somente será aceita a média ponderada caso a diferença nos ângulos do menor e do maior elemento seja inferior a 10°;” (INMETRO, 2021b, p. 15). Por conta disso, e para padronizar um ângulo de proteção das aberturas que atendesse a todas as fachadas, optou-se pelo detalhamento das venezianas com ângulo alfa de 30°, o corte da janela com venezianas pode ser observado na Figura 41.

Figura 41 - Corte da janela mostrando o ângulo de sombreamento horizontal.



Fonte: Autora, 2021.

A partir das cartas solares das fachadas, foram obtidas as máscaras de sombra formadas pelas venezianas nas aberturas dos APP. Na proposta “Norte”, a sala tem uma janela na fachada norte (janela 1), o quarto 1 tem uma janela na fachada norte (janela 1) e outra na fachada leste (janela 2), e o quarto 02 tem uma janela na fachada leste (janela 2) e uma na sul (janela 3), como pode ser observado na Figura 42.

Figura 42 – Planta com legenda das janelas da proposta “Norte”.



Fonte: Autora, 2021.

Na proposta “Sul”, a sala tem uma janela na fachada sul (janela 3), o quarto 01 tem uma janela na fachada sul (janela 3) e outra na fachada leste (janela 2), já o quarto 02 tem uma janela na fachada leste (janela 2) e uma na fachada norte (janela 1), como pode ser observado na Figura 43.

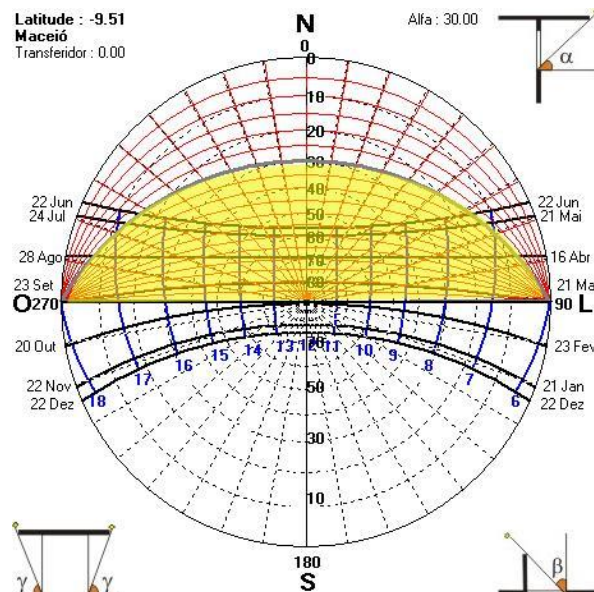
Figura 43 - Quartos da proposta “Sul”



Fonte: Autora, 2022.

As janelas foram numeradas nas plantas como Janela 1, Janela 2 e Janela 3, para identificar as cartas solares com as máscaras de sombra das janelas com venezianas. A janela 1 representa a abertura direcionada na orientação Norte, é possível verificar na máscara de sombra (Figura 44) que a Janela 1 é sombreada durante todo o período do dia, durante todo o ano.

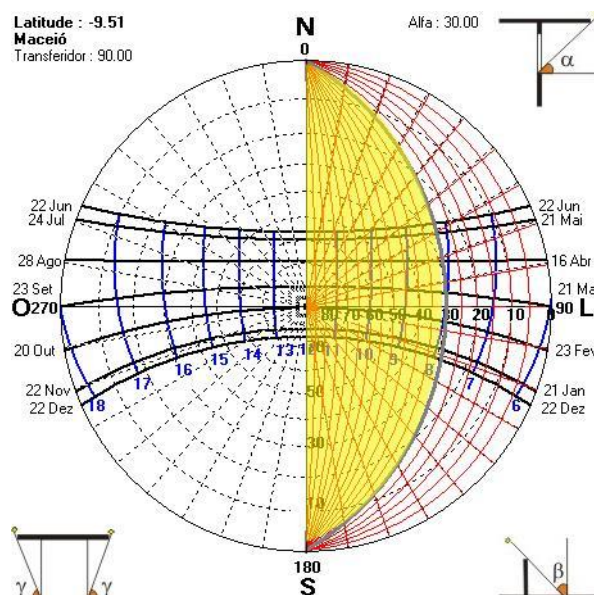
Figura 44 - Máscara de sombra abertura da fachada Norte



Fonte: Autora, 2021.

As Janelas 2 representam as aberturas direcionadas na orientação Leste (Figura 45). Sua máscara de sombra mostra a proteção solar durante todo o ano, no período da manhã, a partir das 08h00min ou 08h20min aproximadamente, dependendo da época do ano.

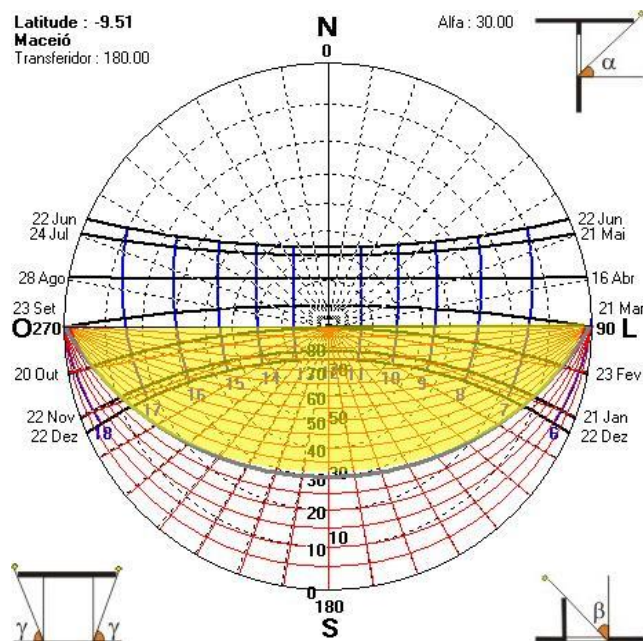
Figura 45 - Máscara de sombra aberturas da fachada Leste



Fonte: Autora, 2021.

A Janela 3 retrata a abertura na orientação Sul, sua máscara de sombra pode ser observada na Figura 46. De acordo com a carta, a proteção solar vai funcionar durante todo o ano o dia inteiro, das 06h30min da manhã às 17h30min da tarde, aproximadamente.

Figura 46 - Máscara de sombra aberturas da fachada Sul



Fonte: Autora, 2021.

A fachada Oeste não foi analisada por não existirem aberturas neste projeto. É possível perceber que as venezianas com aberturas de 60° se mostraram adequadas para proteção solar nas diversas fachadas em que foram aplicadas.

Ressalta-se que a insolação foi estudada sem considerar o entorno edificado, o que poderia mudar bastante as necessidades de sombreamento na edificação, pois as sombras provocadas por áreas construídas ou massas de vegetação vizinhas poderiam minimizar a necessidade de sombreamento em algumas fachadas.

Porém, como os projetos propostos aqui não foram locados em conjuntos, e sim UH independentes, não foi possível prever e estudar o entorno, os impactos das implantações vizinhas, e considera-se essa uma limitação deste trabalho.

4 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Neste trabalho a metodologia utilizada consiste na avaliação da eficiência energética dos projetos de UH apresentados anteriormente, para a cidade de Maceió-AL, através da aplicação do método simplificado da INI-R. Após a obtenção dos valores de consumo pelo método simplificado, sistemas fotovoltaicos foram dimensionados objetivando a obtenção de balanço energético zero. O método será detalhado nos itens a seguir.

4.1 APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO DA INI-R

A partir da apresentação dos projetos das edificações residenciais unifamiliares foi possível realizar a avaliação da eficiência energética das duas propostas (Norte e Sul) pelo método simplificado da INI-R.

Dois sistemas individuais são avaliados no método simplificado: envoltória e aquecimento de água. As características e elementos construtivos de envoltória da condição de referência devem ser definidos como descrito na ABNT NBR 15575:2021-1.

A classificação de eficiência energética das unidades habitacionais (UHs) será definida por meio do percentual de redução do consumo estimado de energia primária (RedCEP), comparando-se o modelo real com o modelo de referência.

4.1.1 Levantamento dos parâmetros de envoltória

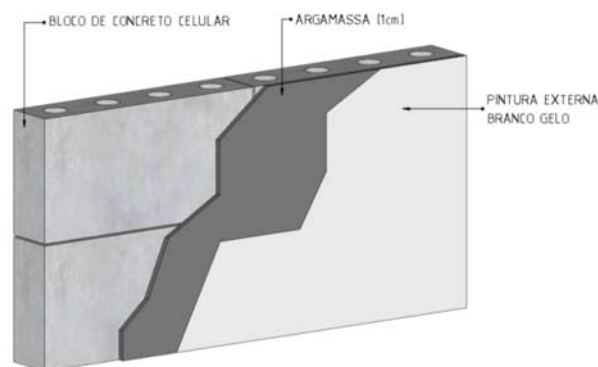
4.1.1.1 Propriedades Térmicas da Condição Real

Serão descritas as propriedades térmicas dos materiais utilizados no projeto proposto na condição real para as propostas “Norte e “Sul”. Os materiais foram escolhidos visando o atendimento aos limites definidos pela INI-R, mostrados anteriormente no capítulo de revisão bibliográfica.

A composição das paredes da UH consiste em uma camada de revestimento externo em argamassa comum de 1cm, com bloco celular autoclavado (12,5x30x60)cm e revestimento interno em argamassa comum de 1cm. Essa composição apresenta transmitância térmica (U) de 1,02 W/(m²K) e capacidade térmica (CT) de 107 kJ/(m²K), de acordo com MARINOSKI (2015).

As paredes externas em contato com ambientes de permanência prolongada receberam pintura acrílica fosca na cor branco gelo, que apresenta absorvância 0,297 (DORNELLES, 2008) Paredes externas com pinturas com cores diversas (azul, rosa e amarelo) estão presentes nos projetos somente nos ambientes de permanência transitória (banheiro) e elementos de fachada, por isso a absorvância dessas paredes não é considerada e nem detalhada aqui.

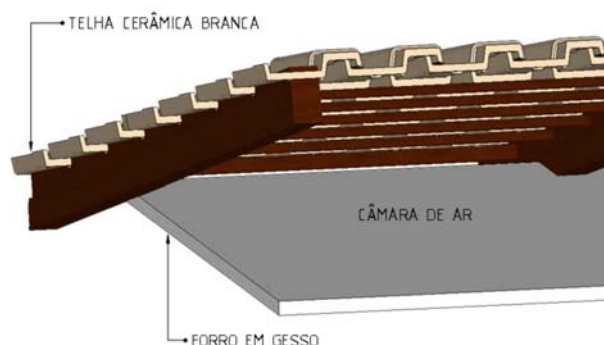
Figura 47 - Composição das paredes



Fonte: Autora, 2022.

A cobertura dos ambientes de permanência prolongada (APP) é composta por telha cerâmica de 1cm, com câmara de ar (maior que 5cm) e forro em gesso de 3cm. Essa composição apresenta transmitância térmica (U) de 1,94 W/(m²K) e capacidade térmica (CT) de 37 kJ/(m²K), conforme LAMBERTS (2014). A telha cerâmica é do tipo americana com acabamento esmaltado na cor branca, apresenta absorvância 0,35 (DORNELLES, 2021).

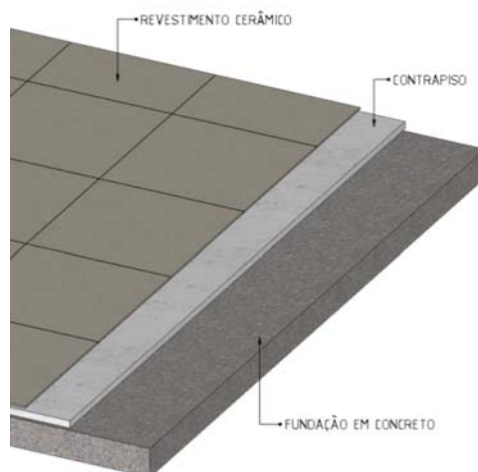
Figura 48 - Composição da cobertura



Fonte: Autora, 2022.

A composição do piso é fundação em concreto com 12cm, com contrapiso de 3cm e piso em revestimento cerâmico, com 0,75cm de espessura. Apresenta transmitância térmica (U) de 3,2 W/(m²K) e capacidade térmica (CT) de 361,8 kJ/(m²K), conforme cálculo realizados por meio do website PROJETEEE (2022).

Figura 49 - Composição do piso



Fonte: Autora, 2022.

A síntese das propriedades térmicas adotadas para os elementos no modelo proposto estão descritas na Tabela 4 abaixo.

Tabela 4 - Síntese propriedades térmicas do modelo real

Elemento	U W/(m²K)	CT kJ/(m²K)	Absortância
Parede	1,02	107	0,29
Piso	3,2	361,8	-
Coberta	1,94	37	0,35

4.1.1.2 Esquadrias e Percentual de Abertura para Ventilação

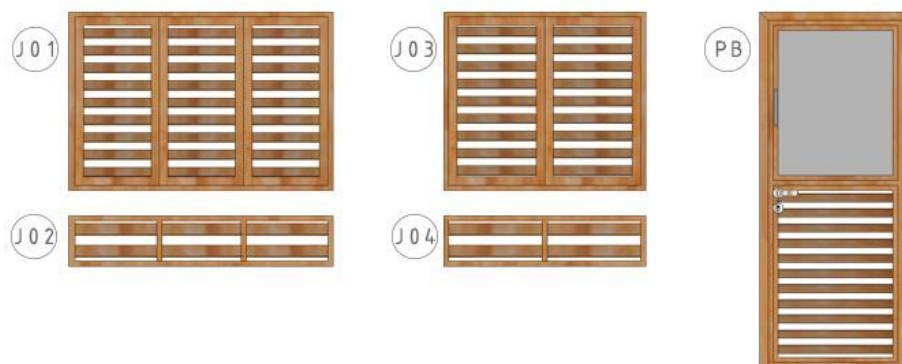
Todas as esquadrias dos APP são venezianas móveis de madeira, e algumas ainda permitem o giro 90° para abrir a folha da esquadria completamente. A Figura 50 e Figura 51 ilustram as janelas utilizadas em cada APP e na Tabela 5 o quadro de esquadrias do modelo real com suas dimensões.

Figura 50 - Planta baixa com localização das esquadrias nos APP.



Fonte: Autora, 2022.

Figura 51 - Esquadrias utilizadas nos APP



Fonte: Autora, 2022.

Tabela 5 - Quadro de esquadrias modelo real

Janelas	Quant.	Dimensão	Tipo
J1	1	1,50x1,00m/1,10m	Giro 90° + Venezianas com aberturas 60°
J2	1	1,50x0,30m/0,60m	Venezianas com aberturas 60°
J3	4	1,20x1,00m/1,10m	Giro 90° + Venezianas com aberturas 60°

J4	4	1,20x0,30m/0,60m	Venezianas com aberturas 60°
PB	1	0,80x2,10m	Porta balcão

Foi analisado o percentual de abertura para ventilação dos APP, expresso em porcentagem. O percentual é calculado levando-se em consideração a área do ambiente e pode ser calculado por meio da Equação 1 abaixo, conforme NBR 15575-1:2021. De acordo com a INI-R, o percentual de abertura para ventilação dos APP para a ZB 8 deve alcançar ao menos 12% da área de piso, o Pv de cada APP alcançado neste projeto estão listados na Tabela 6.

$$P_{V,APP} = 100 \cdot \frac{A_{V,APP}}{A_{p,APP}}$$

Equação 1

onde:

$P_{V,APP}$ = é o percentual de abertura para ventilação do APP, expresso em porcentagem (%);

$A_{V,APP}$ = é a área efetiva para ventilação do APP, expressa em metros quadrados (m²);

$A_{p,APP}$ = é a área de piso do APP, expressa em metros quadrados (m²).

Tabela 6 - Percentual de abertura para ventilação dos APP

Ambiente	Ap,APP	Av,APP	Pv,APP
Sala	18,90	2,80	14,81%
Quarto 01	11,75	1,98	16,85%
Quarto 02	9,51	1,98	20,82%

Os elementos transparentes, vidros, utilizados são do tipo simples incolor de 3mm, com fator solar (FS) 0,87 e transmitância térmica (U) de 5,7 W/(m²K).

4.1.1.3 Sombreamento

O sombreamento estudado para os APP é alcançado com uso das venezianas móveis. Porém no método simplificado da INI-R “todos os sombreamentos são considerados fixos e permanentes ao longo do ano”, e indica-se usar o ângulo fixo máximo possível nos cálculos com uso do metamodelo. (INMETRO, 2021b, p. 15).

Utilizou-se um ângulo de proteção padrão em todas as aberturas dos APP, que atende a todas as fachadas, como visto anteriormente. O ângulo vertical de sombreamento (AVS), ou ângulo alfa de 30°.

4.1.2 Aplicação do Método Simplificado Da INI-R

4.1.2.1 Envoltória

Na análise para a classificação do nível de eficiência energética da envoltória da UH os seguintes indicadores serão avaliados: o percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura (PHFT), as temperaturas operativas anuais máxima (Tomáx) e mínima (Tomín) e as cargas térmicas de refrigeração (CgTR), de aquecimento (CgTA), e total (CgTT).

A razão entre as horas ocupadas dentro de uma faixa de temperatura operativa estabelecida e o total de horas ocupadas do ambiente é o percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa (PHFT). O PHFT da UH é calculado a partir da média aritmética entre os valores de todos os APPs.

A Temperatura operativa (To) é o valor médio entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média do ambiente. A temperatura operativa anual máxima da UH é considerada como a maior entre os valores dos APPs. A temperatura operativa anual mínima da UH é considerada como a menor entre os valores dos APPs.

A Carga térmica de refrigeração (CgTR) é a quantidade de calor a ser retirada do ar para manter as condições desejadas em um ambiente e a carga térmica de aquecimento (CgTA) é a quantidade de calor a ser fornecida ao ar para manter as condições de conforto no ambiente.

Essas variáveis serão obtidas para o modelo real e modelo de referência por meio do metamodelo disponível em <<http://pbeedifica.com.br/redes/residencial/>> , que calcula estas variáveis conforme descrito na ABNT NBR 15575-1:2021 e incorpora os procedimentos da avaliação de desempenho térmico da ABNT NBR 15575-1:2021.

A edificação analisada deve ser representada no modelo real conforme as suas características volumétricas, percentuais de elementos transparentes e de aberturas para ventilação, propriedades térmicas dos sistemas construtivos e presença de elementos de sombreamento externos fixos na fachada (brises, beirais ou venezianas).

A classificação de eficiência energética da envoltória vai de A até E, sendo A a classe mais eficiente. Os seguintes critérios são estabelecidos para classificação da UH, de acordo com os indicadores citados anteriormente:

Tabela 7 - Classes e critérios a serem atendidos.

Classe	Critérios a serem atendidos		
	CgTT	PHFT	Tomáx e Tomín
A	$\text{RedCgTT} \geq \text{RedCgTTmínA}$	$\Delta\text{PHFT} \geq \Delta\text{PHFTmin}$	Para todas as ZB:
B	$\text{RedCgTT} \geq \text{RedCgTTmínB}$		$\text{TomáxUH,real} \leq \text{TomáxUH,ref} + \Delta\text{tomáx}$
C	$\text{RedCgTT} \geq 0\%$	$\text{PHFTreal} > 0,9 \times \text{PHFTref}$	Para ZB 1 a 4:
D	$\text{RedCgTT} \geq \text{RedCgTTmínD}$		$\text{TomínUH,real} \geq \text{TomínUH,ref} - \Delta\text{tomín}$
E	Não atende aos critérios da Classe D		

Para atender-se ao critério de percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT) na Classe A é necessário calcular o ΔPHFT , por meio da Equação 2 abaixo. Também é necessário ter o valor da variável PHFTmin que é obtido conforme a Tabela 8.

$$\Delta\text{PHFT} = \text{PHFT}_{\text{UH,real}} - \text{PHFT}_{\text{UH,ref}}$$

Equação 2

Onde:

ΔPHFT é o incremento do PHFT UH,real em relação ao PHFT UH,ref ;

$\text{PHFT}_{\text{UH,real}}$ é o percentual de horas de ocupação da UH no modelo real dentro da faixa de temperatura operativa (%);

$\text{PHFT}_{\text{UH,ref}}$ é o percentual de horas de ocupação da UH no modelo de referência dentro da faixa de temperatura operativa (%)

No que se refere ao critério de temperatura operativa anual máxima (Tomáx), para as classes de eficiência energética D, C, B e A em todas as zonas bioclimáticas, a Tomax deve ser menor ou igual à obtida para o modelo de referência, após somado um valor de tolerância ($\Delta\text{Tomáx}$), conforme Equação 3.

Considera-se $\Delta\text{Tomáx}$ igual a 2 °C para UHs unifamiliares e para UHs em edificações multifamiliares localizadas no pavimento de cobertura. Para as UHs localizadas nos pavimentos térreo ou tipo, deve-se adotar igual a $\Delta\text{Tomáx}$ igual a 1 °C.

$$Tomáx_{UH,real} \leq Tomáx_{UH,ref} + \Delta Tomáx$$

Equação 3

Onde:

$Tomáx_{UH,real}$ é a temperatura operativa anual máxima da UH no modelo real (°C);

$Tomáx_{UH,ref}$ é a temperatura operativa anual máxima da UH no modelo de referência (°C);

$\Delta Tomáx$ é o valor de tolerância da temperatura operativa anual máxima (°C).

A temperatura operativa anual mínima ($Tomín$) deve ser analisada apenas para UH localizadas nas zonas bioclimáticas 1, 2, 3 ou 4, por isso não será detalhada.

O atendimento às classes D, B e A quanto ao critério de Carga Térmica Total ($CgTT$) requer a obtenção de redução percentual mínima da $CgTT_{UH,real}$ em relação à $CgTT_{UH,ref}$, conforme a Tabela 8. O cálculo da $RedCgTT$ deve ser realizado conforme Equação 4.

$$RedCgTT = ((CgTT_{UH,ref} - CgTT_{UH,real}) / CgTT_{UH,ref}) \cdot 100$$

Equação 4

Onde:

$RedCgTT$ é a redução da carga térmica total da UH no modelo real em relação ao modelo de referência (%);

$CgTT_{UH,ref}$ é a carga térmica total da UH no modelo de referência (kWh/ano);

$CgTT_{UH,real}$ é a carga térmica total da UH no modelo real (kWh/ano).

Tabela 8 - Valores de $\Delta PHFT_{mín}$ e $RedCgTT_{mín}$ a serem adotados.

Parâmetro	Critério de $PHFT_{UH,ref}$	Valor a ser adotado para o parâmetro
$RedCgTT_{mínD}$	-	-17%
$RedCgTT_{mínB}$	Para $PHFT_{ref} < 70\%$	0%
	Para $PHFT_{ref} \geq 70\%$	17%
$RedCgTT_{mínA}$	Para $PHFT_{ref} < 70\%$	35%
	Para $PHFT_{ref} \geq 70\%$	55%
$\Delta PHFT_{mín}$	Para $PHFT_{ref} < 70\%$	Usar equação: $45 - 0,58 \times PHFT_{ref}$
	Para $PHFT_{ref} \geq 70\%$	0%

Os cálculos para a classificação da envoltória foram realizados através da inserção dos dados na interface do metamodelo, onde foi possível obter os valores de $PHFT$, $Tomax$, $Tomín$, $CgTR$, $CgTA$ e $CgTT$ que serão analisados no capítulo de resultados.

4.1.2.2 Aquecimento de água

Segundo a INI-R o sistema de aquecimento de água deve ser avaliado quanto à sua eficiência e consumo energético, a partir do percentual de redução do consumo de energia primária necessário para atender a demanda de água quente da edificação (RedCAA), que é feito comparando-se o consumo da edificação real com o consumo da condição de referência.

$$\text{RedC}_{AA} = ((C_{AA,ref} - C_{AA,real}) / C_{AA,ref}) \cdot 100$$

Equação 5

Onde:

RedCAA é o percentual de redução do consumo de energia primária para a demanda de água quente da edificação real em relação à edificação na condição de referência (%);

CAA,ref é o consumo de energia primária para a demanda de água quente da condição de referência (kWh/ano);

CAA,real é o consumo de energia primária para a demanda de água quente da edificação real (kWh/ano).

A energia requerida para o atendimento da demanda de água quente (EAA) depende do volume de armazenamento e da temperatura da água e o cálculo é feito separadamente para a energia elétrica (Equação 6) e para a energia térmica (Equação 7), que posteriormente são atribuídas às equações de consumo.

$$E_{AAE} = \frac{\rho \cdot C_p \cdot V_{dia,E} \cdot (\theta_{A,uso} - \theta_{A,0})}{3600}$$

Equação 6

Onde:

EAAE é a energia elétrica requerida para o atendimento da demanda diária de água quente (kWh/dia);

ρ é a massa específica da água, equivalente a 1 kg/L;

C_p é o calor específico da água, equivalente a 4.180 kJ/g.°C;

$V_{dia,E}$ é o volume diário de consumo de água quente em sistemas elétricos (m³/dia);

$\theta_{A,uso}$, é a temperatura de uso da água (°C);

$\theta_{A,0}$ é a temperatura da água fria (°C).

$$E_{AAT} = \frac{\rho \cdot C_p \cdot V_{dia,T} \cdot (\theta_{A,uso} - \theta_{A,0})}{3600}$$

Equação 7

Onde:

E AAT é a energia térmica requerida para o atendimento da demanda diária de água quente (kWh/dia);

ρ é a massa específica da água, equivalente a 1 kg/L;

C_p é o calor específico da água, equivalente a 4.180 kJ/g.°C;

$V_{dia,T}$ é o volume diário de consumo de água quente em sistemas térmicos (m³/dia);

$\theta_{A,uso,armaz}$ é a temperatura de uso da água (°C);

$\theta_{A,0}$ é a temperatura da água fria (°C).

De acordo com a instrução normativa, para sistemas sem armazenamento de água quente em UH localizadas nas regiões norte e nordeste adota-se o valor de 38 °C como temperatura de uso ($\theta_{A,uso}$).

Para a temperatura de água fria ($\theta_{A,0}$), deve-se adotar a média anual da temperatura ambiente da cidade onde está localizada a UH. A temperatura para a cidade de Maceió foi obtida por meio da tabela de temperaturas do ar externo, disponível em: http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Planilha%20A.IV%20-Temperatura_ar_mensal_anual.xlsx.

O sistema de aquecimento de água neste projeto é do tipo aquecimento elétrico de um único ponto de consumo (chuveiro elétrico). Portanto, considera-se apenas o consumo de energia elétrica necessário para aquecer a água usada pelos moradores.

O volume diário de água quente deve ser calculado por meio da Equação 8. De acordo com a INI-R, deve-se considerar que existem duas pessoas por dormitório da UH e 50 litros/pessoa/dia para o volume diário de consumo.

$$V_{dia,e\ ou\ t} = \frac{\sum V_{dia,f} \cdot f}{1000}$$

Equação 8

Onde:

$V_{dia,e\ ou\ t}$ é o volume diário de consumo de água quente (m³/dia) da unidade habitacional para sistemas térmicos ou elétricos;

$V_{dia,f}$ é o volume diário de consumo de água quente por pessoa em sistemas elétricos ou térmicos (L);

f é o número de pessoas da unidade habitacional.

Deve-se também considerar perdas em reservatórios térmicos, perdas na tubulação de distribuição de água quente, ganho por recirculação e por sistemas de aquecimento, quando aplicável.

No caso em questão, não existem perdas consideráveis pelo sistema de distribuição por se tratar de um sistema de aquecimento individual, instalado no ponto de utilização e que serve a um único ponto (chuveiro elétrico).

Como o sistema de aquecimento conta com apenas um aquecedor, a eficiência do sistema de equipamentos de aquecimento é igual à eficiência do aquecedor. Segundo a INI-R o rendimento (raq) do aparelho de aquecimento de água deve ser obtido por meio de informações oficiais do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do Inmetro.

Nesse projeto, o sistema de aquecimento elétrico de um único ponto de consumo (chuveiro elétrico) tem eficiência de 0,95. Os cálculos foram efetuados com auxílio de uma planilha excel disponibilizada na página do Procel Edifica.

4.1.3 Consumo total por tipo de energia

4.1.3.1 Consumo de energia elétrica

O consumo total de energia elétrica da UH no modelo real ($C_{EE,real}$) e no modelo de referência é composto pela soma dos consumos para refrigeração (CR), para aquecimento (CA), para aquecimento de água proveniente de fontes de energia elétrica (CAAE) e consumo médio estimado de equipamentos (CEQ).

$$C_{EE,real} = CR_{UH,real} + CA_{UH,real} + C_{AAE,real} + C_{EQ}$$

Equação 9

Onde:

$C_{EE,real}$ é o consumo total de energia elétrica da UH no modelo real (kWh/ano);

$CR_{UH,real}$ é o consumo de energia elétrica para refrigeração da UH no modelo real (kWh/ano);

$CA_{UH,real}$ é o consumo de energia elétrica para aquecimento da UH no modelo real (kWh/ano);

$CAAE, real$ é o consumo do sistema de aquecimento de água proveniente de fontes de energia elétrica da UH no modelo real (kWh/ano);

CEQ é o consumo médio estimado de energia elétrica dos equipamentos (kWh/ano).

O consumo médio de equipamentos (CEQ) deve ser estimado pela Equação 10. Para este cálculo consideram-se duas pessoas por dormitório, no caso deste trabalho serão considerados 4 habitantes na UH.

$$C_{EQ} = (44,6 + 26,6 * N_{UH}) * 12$$

Equação 10

Onde:

C_{EQ} é o consumo médio estimado de equipamentos, em kWh/ano;

N_{UH} é o número de habitantes da Unidade Habitacional.

4.1.3.2 Consumo de energia térmica

Segundo a INI-R deve-se estimar também o consumo total de energia térmica, que provém do consumo de energia para aquecimento de água por fontes térmicas, como gás

natural (GN), gás liquefeito de petróleo (GLP) ou semelhantes. Como neste trabalho não será utilizada nenhuma energia proveniente de fontes térmicas, seu valor é nulo.

4.1.3.3 Consumo de energia primária

O consumo de energia primária da UH no modelo real (CEP_{real}) é determinado pela soma de seu consumo estimado de energia elétrica e térmica, multiplicados pelos respectivos fatores de conversão (Tabela 9) e descontando-se a parcela de energia primária referente à geração local de energia renovável, quando existente.

Tabela 9 - Fatores de conversão de eletricidade e gás em energia primária

Fonte de energia	Fator de Conversão
Eletricidade	1,6
Gás	1,1

4.1.4 Classificação de EE

A classificação de eficiência energética das unidades habitacionais (UHs) deve ser realizada por meio do seu percentual de redução do consumo estimado de energia primária (RedCEP), comparando-se o modelo real com o modelo de referência. Os intervalos para classificação estão descritos na Tabela 10 abaixo, foram observados apenas os valores de RedCEP para a ZB 8 em que a UH está inserida. O sistema de aquecimento de água (SAA) vai definir o intervalo a ser considerado. Z

Tabela 10 - Intervalos das classificações de eficiência energética da UH

SAA	Classificação A	Classificação B	Classificação C	Classificação D	Classificação E
Com acumulação	RedCEP ≥ 30%	30 > RedCEP ≥ 15	15 > RedCEP ≥ 0	0 > RedCEP ≥ -15	RedCEP < -15
Sem acumulação	RedCEP ≥ 28%	28 > RedCEP ≥ 14	14 > RedCEP ≥ 0	0 > RedCEP ≥ -14	RedCEP < -14

4.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE GERAÇÃO LOCAL DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

A fim de obter a classificação das UH como edifícios de energia zero, os sistemas fotovoltaicos foram dimensionados que atendessem a demanda anual de energia elétrica. A área dos módulos fotovoltaicos a ser instalada (Equação 12) será dimensionada a partir do cálculo da potência nominal necessária (Equação 11) para atender ao consumo médio diário da edificação, assim como publicado por Marinovski, Salamoni e Ruther (2004).

$$P_{cc} = \frac{(E/G_{poa})}{R}$$

Equação 11

Onde:

P_{cc} = Potência média necessária (kW_{pcc});

E = Consumo de energia elétrica anual (kWh/ano);

G = Ganho por radiação solar anual (kWh/m²/ano);

R = Rendimento do sistema (%).

$$A_{total} = \frac{P_{cc}}{E_{ff}}$$

Equação 12

Onde:

A_{total} = Área de módulos (m²);

P_{cc} = Potência média necessária (kW_{pcc});

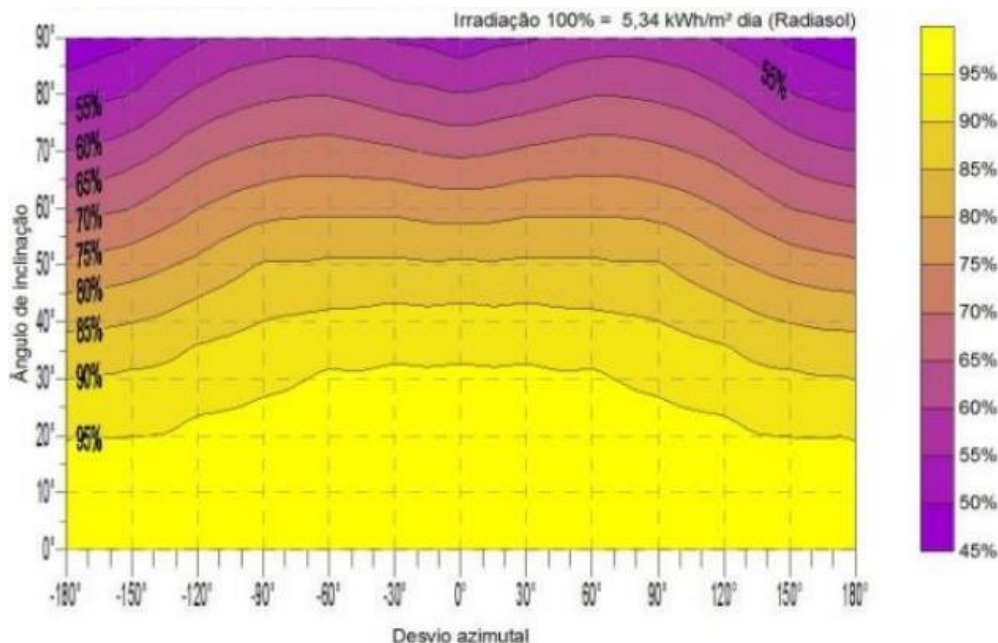
E_{ff} = Eficiência do módulo (%).

Para o rendimento do sistema, consideraram-se os fatores de perda médios da quantificação feita pela Sociedade Alemã de Energia Solar (DGS, 2013), que dizem respeito a perdas por sombreamento, sujidade, reflexão, entre outros. O rendimento do sistema totaliza 76% ao descontar estas perdas.

A orientação solar da residência deve ser observada e os módulos fotovoltaicos devem ser posicionados preferencialmente orientados ao norte, com ângulo de inclinação que deve ser próximo ao valor da latitude do local de implantação (SOUSA, 2019). No caso de Maceió aproximadamente 9,70° de latitude, porém foi avaliada a possibilidade de adotar outra

inclinação e orientação para os módulos, de acordo com o ábaco do potencial de radiação recebido pelas superfícies para Maceió-AL, na Figura 52.

Figura 52 - Ábaco do potencial de radiação recebido pelas superfícies para Maceió-AL



Fonte: SANTOS, 2014.

Na Figura 52 é possível perceber que ao adotar-se um ângulo de inclinação de até 20° independentemente da orientação solar (desvio azimutal) é possível que as superfícies dos módulos FV recebam o máximo de geração para o local (SANTOS, 2014). Isso mostra a viabilidade em flexibilizar a forma de colocar os módulos no projeto.

No site do Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia, do INPE (2022) foi possível extrair as médias mensais das irradiações diárias no plano inclinado, bem como a média anual, em kWh/m².dia.

Após a escolha da tecnologia de painel fotovoltaico e o tipo de equipamento adotado é possível obter a eficiência do módulo (E_{ff}). Os módulos FV escolhidos e a área necessária para instalação serão apresentados no capítulo seguinte.

5.0 RESULTADOS

Serão apresentados os resultados obtidos por meio da aplicação do método simplificado da INI-R para as propostas “Norte” e “Sul”. Não foram analisadas as propostas de ampliação e reforma, somente os projetos originais. Após a obtenção dos valores de consumo energético das UH, foram dimensionados os sistemas fotovoltaicos que serão apresentados a seguir.

5.1 APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO

5.1.1 Envoltória

Após a inserção dos dados na interface do metamodelo, foi possível obter os valores de percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT), a temperaturas operativa anual máxima (Tomax), a carga térmica de refrigeração (CgTR) e a carga térmica total (CgTT) dos ambientes de permanência prolongada.

No projeto “Norte” o percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT) encontrado foi de 83,84% para uma temperatura operativa anual máxima (Tomax) de 31,45°. A carga térmica de refrigeração (CgTR) dos APP calculado foi 440 kWh/ano. Para a proposta “Sul” o PHFT encontrado foi de 83,15% e a temperatura operativa anual máxima (Tomax) de 31,40°. A carga térmica de refrigeração (CgTR) dos APP calculado foi 415 kWh/ano.

O sistema de envoltória das edificações obteve a Classe A de eficiência energética. Segundo a INI-R, a classificação da envoltória incorpora o procedimento de simulação computacional de avaliação do desempenho térmico da ABNT NBR 15575:2021-1, por meio do metamodelo. A obtenção da Classe A da ENCE para envoltória equivale a obtenção do Desempenho superior da ABNT NBR 15575:2021-1.

5.1.2 Aquecimento de água

Considerou-se o sistema de aquecimento de água com chuveiro elétrico de eficiência 0,95. O consumo de energia elétrica necessário para aquecer a água usada pelos moradores foi 1114 kWh, referente ao volume diário total de água quente de 200 litros. O valor de consumo convertido em energia primária resultou em 1783 kWh/ano. Tanto a proposta “Norte” quanto a “Sul” apresentam mesmo valor de consumo, pois tem o mesmo tipo de aquecimento

(chuveiro elétrico) e mesmo número de moradores. Para o sistema de aquecimento de água obteve-se a Classe A.

5.1.3 Consumo total

5.1.3.1 Consumo de energia elétrica

No modelo real, o consumo de energia elétrica para a proposta “Norte” foi 3367 kWh/ano. Esse valor corresponde a soma do consumo para refrigeração (440 kWh/ano), o consumo médio dos equipamentos (1812 kWh/ano) e o consumo para aquecimento de água (1114 kWh). No modelo de referência para a proposta “Norte”, o consumo anual total de energia elétrica encontrado foi 5366 kWh/ano.

O consumo de energia elétrica encontrado para o modelo real da proposta “Sul” foi 3341 kWh/ano e para o modelo de referência o consumo encontrado foi de 5315 kWh/ano.

O consumo médio de equipamentos (CEQ) foi estimado para 4 moradores, resultou em 1812 Kwh/ano para as duas propostas (Norte e Sul), pois elas tem a mesma demanda de consumo por equipamentos por possuir o mesmo numero de moradores.

5.1.3.2 Consumo de energia primária

Na proposta “Norte” o consumo em energia primária do modelo real estimado foi de 5387 kWh/ano, e para o modelo de referência o consumo estimado seria 8586 kWh/ano. Já para a proposta “Sul” o modelo real apresenta consumo EP estimado de 5346 kWh/ano e 8505 kWh/ano para o modelo de referência.

5.1.4 Classificação de EE

Com os consumos energéticos da envoltória, do sistema de aquecimento de água e dos equipamentos elétricos para a edificação real e de referência, foi possível classificar os dois projetos propostos nesse trabalho, a proposta “Norte” e “Sul”.

Na proposta “Norte” os resultados obtidos mostraram que a edificação alcançou a classe A de EE, apresentando um percentual de redução do consumo de 37% em relação à edificação na condição de referência.

A proposta “Sul” também obteve a classe A em EE e percentual de redução do consumo foi de 37% em relação à edificação na condição de referência.

5.2 GERAÇÃO LOCAL

Foi dimensionado um sistema fotovoltaico de maneira simplificada, como descrito no capítulo de método apresentado anteriormente.

O valor do consumo anual de energia elétrica das UH “Norte” e “Sul” foi encontrado através do método simplificado e utilizado no cálculo da capacidade do sistema fotovoltaico. No caso da UH “Norte” o consumo anual de energia elétrica encontrado foi 3367 kWh/ano e no caso da UH “Sul” 3341 kWh/ano. A potência calculada do sistema fotovoltaico para a proposta “Norte” é 2,17 kWp e para a proposta “Sul” é 2,12 kWp.

Também foi preciso identificar a irradiação diária incidente no plano do painel fotovoltaico para a cidade de Maceió-AL, considerando os módulos orientados a norte e com inclinação. O Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN), do INPE (2022) disponibiliza os valores de irradiação no plano inclinado apresentados na abaixo.

Tabela 11 – Irradiação diária na cidade de Maceió

Mês	Irradiação Inclinada [kWh/m².dia]
JAN	5,92
FEV	6,05
MAR	6,25
ABR	5,59
MAI	4,86
JUN	4,61
JUL	4,69
AGO	5,41
SET	6,00
OUT	6,10
NOV	6,26
DEZ	6,23
Média Anual	5,66

Fonte: LABREN/INPE, 2022

Os painéis fotovoltaicos escolhidos para este projeto foram compostos por módulos de silício policristalino de potência nominal de 280 W. Esses módulos tem alta eficiência e tem classe A de EE. As informações referentes ao módulo escolhido encontram-se na Tabela 12.

Tabela 12 - Dados do módulo fotovoltaico

Fabricante	OSDA
Modelo	ODA280-30-P
Tipo de células	Silício Policristalino
Potência Máxima (W)	280
Comprimento (m)	1,65
Largura (m)	0,99
Área (m²)	1,63
Eficiência (%)	17,21%

Após a definição dos módulos FV que foram utilizados, calculou-se a área necessária para sua instalação que é dada pela razão entre a potência média necessária pela eficiência do módulo.

Na proposta “Norte” a área resultante foi de 12,78 m², equivalente a 7,84 módulos. Foram considerados 8 módulos, com área resultante de 13,04 m², 2,22 kWp e geração anual de 3485 kWh/ano, que serão posicionados a 14° em relação ao plano horizontal, voltadas para o norte.

Na proposta “Sul” a área resultante foi de 12,51 m², equivalente a 7,67 módulos. Nesse caso também serão considerados 8 módulos, que também serão posicionados a 14° em relação ao plano horizontal, porém voltadas para o sul (fachada principal).

Nos dois casos, as edificações passam a ter um consumo anual negativo significando que além de produzir toda a energia que necessitam em um ano irá retornar para a rede 118 kWh (proposta “Norte”) e 144 kWh (proposta “Sul”).

Assim, a classificação das duas UH superam a obtenção do título de edifício de energia próximo a zero (NZEB) e enquadram-se na definição de edifício de energia positiva (EEP), com um Potencial de Geração de Energia (PGE) de 103% (Proposta Norte) e 104% (Proposta Sul), de acordo com a INI-R. Como resultado, as UH de EPP recebem a classificação de eficiência energética A+ na ENCE.

De acordo com INI-R, para a UH ser NZEB ela deve ter 50% ou mais de sua demanda energética anual suprida por energia renovável gerada localmente. Para esse projeto, ainda é possível considerar o uso de 4 módulos FV, que teriam área resultante de 6,52 m², 1,10 kWp e geração anual de 1726,45 kWh/ano. Essa geração anual representará mais de 50% do consumo exigido para as duas propostas “Norte” e ”Sul”, sendo possível ainda a obtenção do título de NZEB.

5.3 PROJETO MODIFICADO – EEP

A seguir, serão apresentados os projetos modificados. Eles são iguais ao projeto anterior, com diferencial da incorporação dos sistemas de geração de energia fotovoltaica.

Os painéis fotovoltaicos serão compostos por 8 módulos, modelo ODA280-30-P, com 1,65m de comprimento e 0,99m de largura. Eles estarão anexados a cobertura das UH e posicionados em inclinação de 14° (mesma inclinação da cobertura cerâmica) em relação ao plano horizontal, voltadas para o norte nos dois projetos (Figura 53 e Figura 55).

Figura 53 - Planta baixa e planta de cobertura da proposta “Norte-EEP”



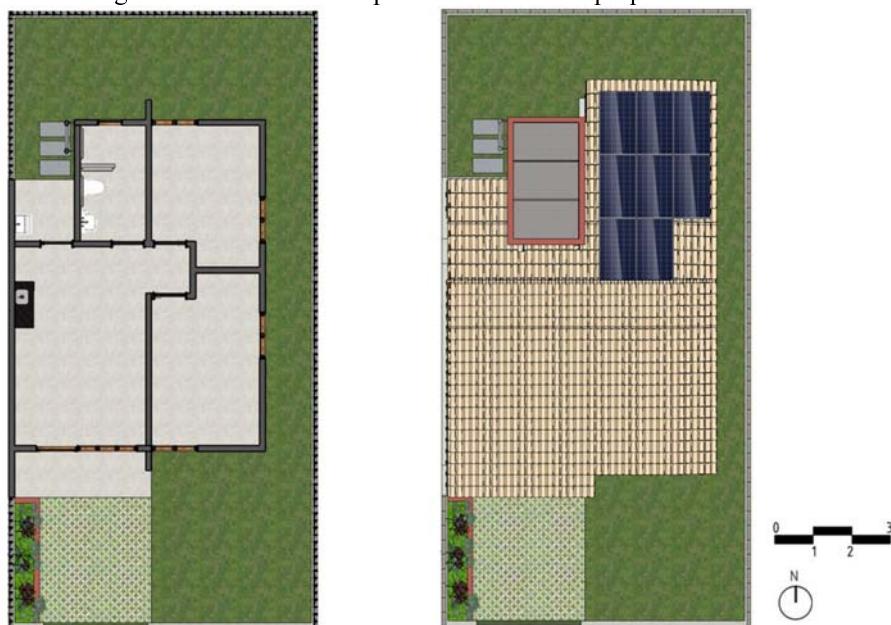
Fonte: Autora, 2022.

Figura 54 - Fachada com incremento dos módulos FV



Fonte: Autora, 2022.

Figura 55 - Planta baixa e planta de cobertura da proposta “Sul-EEP”



Fonte: Autora, 2022.

Figura 56 - Simulação de implantação em um conjunto



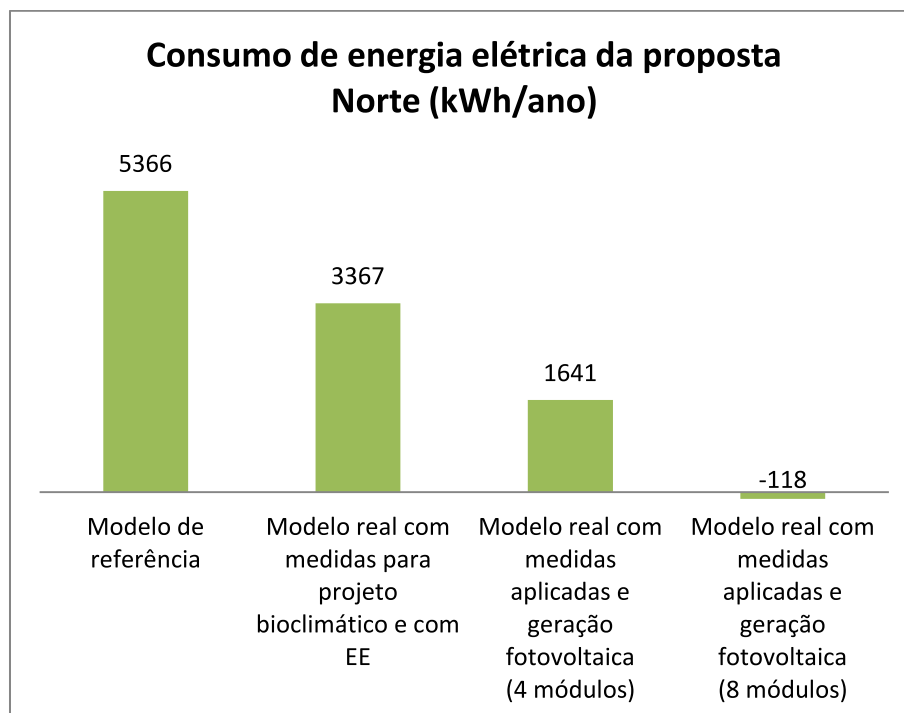
Fonte: Autora, 2022.

5.4 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos para a proposta “Norte” são apresentados na Figura 57 e Figura 58, os consumos de energia elétrica e os mesmos convertidos em energia primária para o modelo na condição de referência (Classe C), na condição real com medidas bioclimáticas e de eficiência energética (Classe A), com as medidas aplicadas e com geração fotovoltaica utilizando 4 módulos fotovoltaicos (Classe A e NZEB) e finalmente com as medidas aplicadas e com geração fotovoltaica (Classe A+), utilizando 8 módulos fotovoltaicos. As Figura 59 e Figura 60 apresentam os resultados encontrados para a proposta “Sul”.

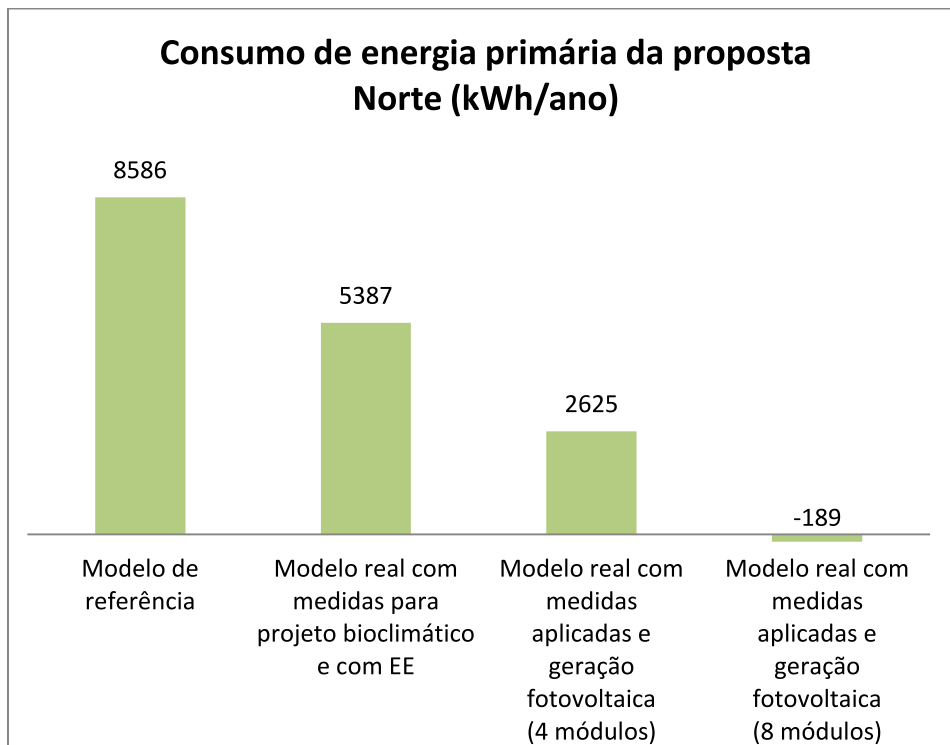
É possível observar o impacto da redução no consumo energético em relação ao modelo de referência, o que significa que para este mesmo projeto, se fossem adotadas percentuais de elementos transparentes, aberturas para ventilação e propriedades térmicas dos sistemas construtivos inferiores aos escolhidos no projeto, a mesma edificação consumiria 37% mais energia ao longo do ano.

Figura 57 – Resultados energia elétrica proposta Norte.



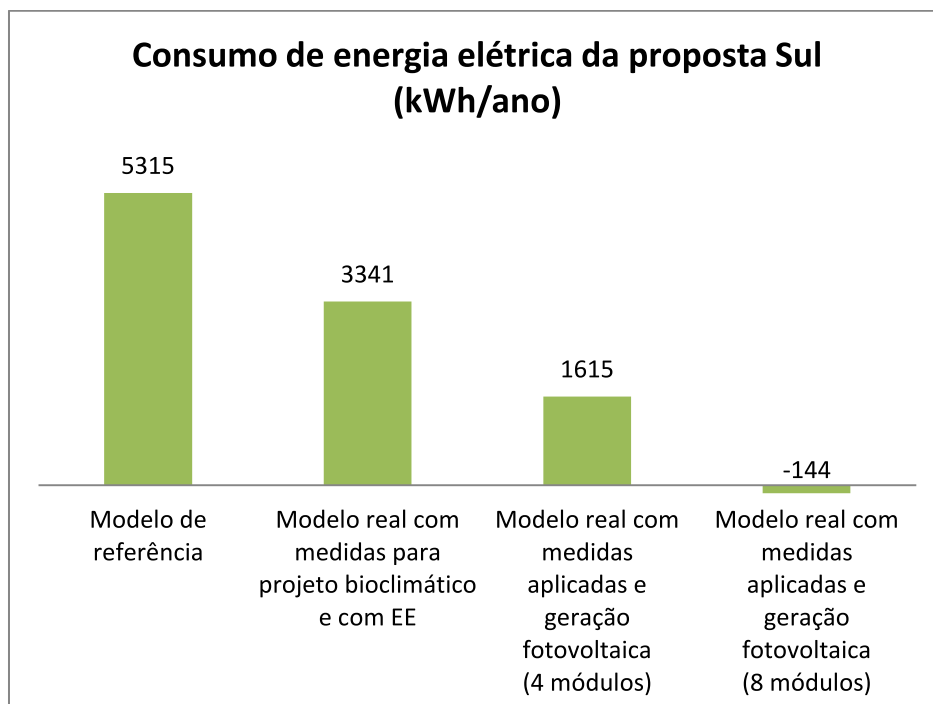
Fonte: Autora, 2022.

Figura 58 – Resultados energia primária proposta Norte.



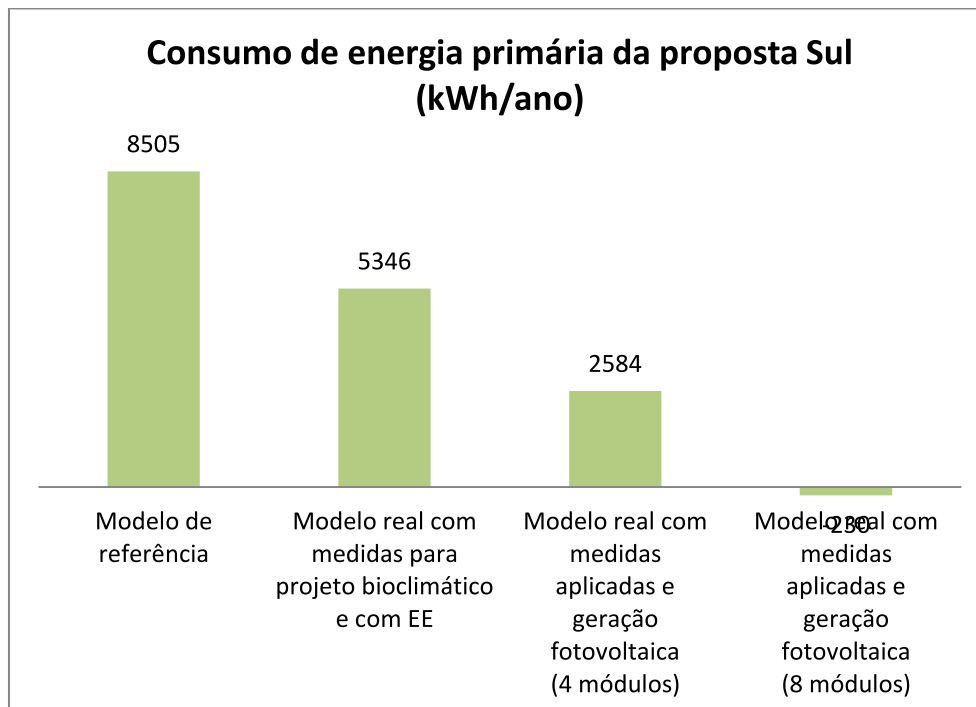
Fonte: Autora, 2022.

Figura 59 - Resultados energia elétrica proposta Sul



Fonte: Autora, 2022.

Figura 60 - Resultados energia primária proposta Sul



Fonte: Autora, 2022.

O incremento da geração local fotovoltaica as propostas possibilitou o balanço energético positivo das UH, com uso de 8 módulos FV, gerando energia excedente que retornará à rede. Assim, as UH recebem a classificação de eficiência energética A+ na ENCE. Também foi demonstrado o resultado para opção de tornar o edifício NZEB, utilizando apenas 4 módulos, que já demonstra uma redução de mais de 50% no consumo anual.

5.5 DISCUSSÃO DA VIABILIDADE PARA HABITAÇÃO POPULAR DE ENERGIA ZERO EM MACEIÓ-AL

Nesse item será discutida a viabilidade de um projeto de habitação popular de energia zero na cidade de Maceió. Para alcançar esse título, foi necessário obter primeiro a classificação de eficiência energética “A” da ENCE do PBE Edifica, pelo método simplificado da INI-R.

As principais medidas aplicadas para alcançar a eficiência energética foram de tecnologias simples e de baixo custo, relacionadas a redução de consumo energia elétrica nas edificações por meio de medidas passivas da envoltória, que melhoraram o desempenho termoenergético da residência.

Posicionar e distribuir corretamente os ambientes da casa com relação a orientação solar, onde os APP (sala e quartos) e suas aberturas estivessem direcionados a receber adequada ventilação e onde a radiação solar direta incidente no período indesejado pudesse ser evitada foi uma das primeiras decisões de projeto que possibilitou chegar a outras.

Analisar a carta solar da cidade e projetar elementos de sombreamento nas janelas que protegessem durante todo o ano foi uma solução que impactou diretamente na menor carga térmica necessária para resfriamento dos APP. Se as janelas não estivessem sombreadas corretamente o gasto energético para manter os APP em condições de conforto seria maior. Nesse projeto, foi escolhido o sombreamento vertical com uso de venezianas por conta da limitação no método simplificado da INI-R. Para uso na habitação popular essas janelas podem ser mais caras, mas seria possível utilizar outros tipos de sombreamento de menor custo (marquise, elementos de fachada) que permitissem o mesmo sombreamento durante todo o ano.

Conhecer as propriedades térmicas (mais especificamente transmitância e condutividade) dos materiais e escolher usar os que apresentavam a resposta térmica desejada foi uma das soluções adotadas. As paredes externas que foram compostas por blocos celulares com revestimento interno e externo em argamassa é uma opção que tem melhor resposta térmica que os blocos em concreto simples ou alvenaria de tijolos cerâmicos, encontrados usualmente na habitação popular. A cobertura foi composta por telha cerâmica com forro em gesso, que é comum na construção civil no país.

Para a cobertura externa, o detalhe da cor utilizada (esmaltada na cor branca) foi o que se diferenciou e foi escolhida por ter baixa absorvância. A cor utilizada nas paredes externas dos APP foi branco gelo, que também apresenta uma absorvância baixa. Essas trocas que estão no controle do projeto de arquitetura são apenas detalhes que tem a capacidade de modificar a qualidade do projeto em eficiência energética e proporcionar o conforto ambiental dos usuários.

Assim, a partir do que foi experimentado nas propostas de habitação popular desse trabalho e analisado pelo método simplificado da INI-R, pode-se considerar que o alcance da Classe “A” em eficiência energética da ENCE é uma realidade possível para habitação popular na cidade de Maceió, já que os elementos e soluções que foram usados no projeto não são tão diferentes do que é encontrado usualmente.

Para obtenção do título de edifício de energia zero foi incrementado ao projeto a geração fotovoltaica por meio de oito módulos FV que produziram 100% da energia elétrica necessária durante todo o ano. O sistema foi dimensionado especialmente para a realidade do projeto, e é importante falar que o tipo de módulo escolhido não levou em conta o custo dos módulos.

Por fim, destaca-se a necessidade em realizar a análise financeira das medidas de eficiência energética e geração de energia fotovoltaica, verificar o custo benefício das medidas e o tempo de retorno do investimento. Porém esse trabalho não tem esse objetivo, sendo uma sugestão de trabalho futuro para elevar a discussão.

Nesse projeto, as soluções em arquitetura bioclimática que reduziram a necessidade de consumo em energia elétrica são perfeitamente aplicáveis para a habitação popular e o sistema de geração FV provavelmente irá compensar o investimento. Conclui-se que é viável a obtenção de um edifício de energia zero para a cidade de Maceió, de acordo com o que é considerado um edifício de energia zero pela INI-R.

6 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral deste trabalho foi a elaboração de propostas arquitetônicas em nível de anteprojeto de habitação popular bioclimática, na cidade de Maceió-AL, que obtivessem o título de edifícios de energia zero, por meio da aplicação de medidas de eficiência energética e o uso de geração local de energia fotovoltaica.

No primeiro momento foram propostas duas edificações, que se diferenciaram pela orientação solar de suas fachadas frontais, chamadas de proposta “Norte” e proposta “Sul”. Esses projetos incluíram medidas de eficiência energética e de arquitetura bioclimática a fim de reduzir a demanda energética das UH e garantir a qualidade e conforto aos usuários.

Os projetos consideram a acessibilidade, conforto térmico, eficiência energética, funcionalidade e usa materiais com bom custo benefício. Também foram apresentadas as modificações e reformas possíveis, para evitar problemas comuns causados por modificações espontâneas, como perda da funcionalidade, iluminação e ventilação natural.

Depois de apresentadas as propostas, obteve-se o consumo estimado de energia através da aplicação do método simplificado da INI-R. Na proposta “Norte” o consumo em energia primária do modelo real estimado foi de 5387 kWh/ano, e para o modelo de referência o consumo estimado seria 8586 kWh/ano. Já para a proposta “Sul” o modelo real apresentou consumo de 5346 kWh/ano e 8505 kWh/ano para o modelo de referência.

Os resultados obtidos para a proposta “Norte” e “Sul” mostraram que a edificação alcançou a classe A de eficiência energética da ENCE, apresentando um percentual de redução do consumo de 37% em relação à edificação na condição de referência.

As soluções que mais impactaram no menor consumo energético obtido para o modelo real em relação ao modelo de referência foram simples, como uso de cores claras nas paredes externas e cobertura da edificação, uso de grandes aberturas efetivas para ventilação, sombreamento das janelas com venezianas, escolha de materiais com propriedades térmicas (U, CT) favoráveis e posicionamento correto de ambientes com relação a orientação solar.

Pelo método simplificado da INI-R não é possível analisar a relevância do incremento do muro ventilado e peitoril ventilado nos projetos, pois seria necessário uma análise pelo método de simulação computacional.

Após a obtenção da Classe A da ENCE para as duas propostas, o consumo estimado de energia calculado foi utilizado para dimensionamento simplificado do sistema de geração local fotovoltaica, a fim de enquadrar os projetos em NZEB.

O potencial de geração de energia fotovoltaica foi calculado com base nos dados de irradiação solar de Maceió-AL e o consumo anual das edificações. O sistema dimensionado contaria com 8 módulos e produziria 3485 kWh/ano, gerando excedentes que retornariam a rede pública. Por fim, após a adição da geração local fotovoltaica nas propostas, estas recebem a classificação de eficiência energética A+ na ENCE e se configuram como edifício de energia positiva - EPP.

Conclui-se que os objetivos do trabalho foram atendidos, foram aplicadas medidas de eficiência energética nas propostas “Norte” e “Sul”, alcançou-se a Classe A da ENCE, sistemas de geração fotovoltaica foram incorporados às propostas e obteve-se o título de edifícios de energia positiva (Classe A+) que é superior à classificação NZEB.

6.1 ANÁLISE DO MÉTODO SIMPLIFICADO DA INI-R

A ferramenta do PBEEdifica InterfaceWeb calcula os valores de percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura (PHFT), as temperaturas anuais máxima (Tomáx) e mínima (Tomín) e as cargas térmicas de refrigeração (CgTR), de aquecimento (CgTA), e total (CgTT), para o modelo real e de forma automática já compara com o modelo de referência. Não há saída de dados sobre o modelo de referência nessa parte de envoltória, por isso não foi possível a comparação os parâmetros mais específicos de PHFT, Tomáx, Tomin, CgTR, CgTA e CgTT.

Na página final do resultado para a classificação da UH obtido com a ferramenta InterfaceWeb apresentam-se apenas os consumos em energia primária anual para o modelo real e o modelo de referência. Sugere-se que esses resultados sejam mais detalhados, a fim de visualizar os parâmetros de envoltória que seriam obtidos no caso do modelo de referência.

Por último, sugere-se uma melhora na interface do metamodelo, de modo facilitar a inserção de dados, pois diversas vezes foi preciso repetir a digitação de dados como os de propriedades térmicas (U, CT, absortância) dos APP, que eram iguais para todos, mas precisaram ser colocados um a um, tornando a ferramenta cansativa e demorada.

6.2 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

As limitações encontradas ao longo do desenvolvimento deste trabalho foram:

- A nova proposta para a avaliação das edificações residenciais encontra-se em consulta pública e até o momento não foi oficializada, por isso deparou-se com a falta de materiais e manuais que exemplificassem sua utilização;
- Para utilizar-se o método simplificado da INI-R e obter a classificação A da ENCE foi preciso adotar algumas limitações de projeto para que não fosse necessário recorrer a simulação computacional;
- O projeto de sistema fotovoltaico foi dimensionado de maneira simplificada e não foi levado em consideração características econômicas, que podem ser limitantes.

6.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A fim de complementar os resultados obtidos com este trabalho, sugere-se

- Reaplicar o método simplificado após publicação oficial da INI-R, a fim de observar as mudanças;
- Aplicar o método de simulação após a publicação oficial da INI-R, para comparar os resultados obtidos com os resultados da aplicação do método simplificado;
- Avaliação de outras tipologias residenciais unifamiliares com outras dimensões;
- Realizar análise financeira de medidas de eficiência energética e geração de energia fotovoltaica propostas.
- Avaliar e comparar o consumo energético real anual de uma edificação existente com os consumos obtidos através do método simplificado da INI-R para esta mesma edificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15220. **Desempenho Térmico de Edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575: Edificações Habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575- 1: Edificações Habitacionais- Desempenho Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Novas regras para geração distribuída entram em vigor**. Brasília, DF: ANEEL, 2016. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=9086&id_area=90>. Acesso em: out. 2021.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração Distribuída**. Brasília, DF: ANEEL, 2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>>. Acesso em: out. 2021.

ANIBOLETE, D. Seguindo tendência mundial, Brasil começa a investir em edificações NZEB. In: **PROCEL INFO – Centro Brasileiro de Informações de Eficiência Energética**. Rio de Janeiro, 27 ago. 2020. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B8D1AC2E8-F790-4B7E-8DDD-CAF4CDD2BC34%7D&Team=¶ms=itemID=%7B37A1E97B-5C1A-4D95-88E4-513B04FE0AA2%7D;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D>>. Acesso em: out. 2021.

Barbirato, G. M. Lyra, R.; Fernandes, E. F.; Barbosa, R.V.R.; Oliveira, T.C.F.S.; Teles, V.R. (2000) Análise do clima urbano de Maceió-AL: comparações entre diversas escalas. In: **CBMET – Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/12-0452921461266ed5e5f7b20589b9acaf.pdf>>.

BATISTA, J. O.; LAMBERTS, R. Classificação do desempenho térmico da casa eficiente: avaliação segundo as normas brasileiras. In: LAMBERTS et. al. **Casa eficiente: bio-climatologia e desempenho térmico**. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010, v. 1. p. 19-35.

BERARDI, U. ZEB and NZEB (Definitions, Design Methodologies, Good Practices, and Case Studies). In: ASDRUBALI, F.; DESIDERI, U. (edit.). **Handbook of Energy Efficiency in Buildings: A Life Cycle Approach**. Editora: Butterworth-Heinemann, 1st edition, 2018. cap. 3, p. 88-116.

BITTENCOURT L. Uso das cartas solares: Diretrizes para arquitetos. 4 ed. rev. e ampl. – Maceió: EDUFAL, 2004. 109 p.

BITTENCOURT L., CÂNDIDO C. **Introdução à Ventilação Natural**. 3 ed. Maceió:EDUFAL, 2008.

BOLDRINI, Leandra Carolina. **BIM e Design da experiência do usuário na otimização de uma ferramenta para avaliação simplificada da eficiência energética da envoltória de edificações residenciais**. 2020. 154 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

BRASIL - Ministério das Cidades. Portaria n.º 660, de 14 de novembro de 2018. Dispõe sobre as diretrizes para a elaboração de projetos e estabelece as especificações técnicas mínimas da unidade habitacional [...] no âmbito do Programa Minha Casa, Minha Vida - PMCMV. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, Ed. 220, p. 105, 15 nov. 2018.

BRASIL - Ministério do Desenvolvimento Regional. Portaria n.º 959, de 18 de maio de 2021. Dispõe sobre os requisitos para a implementação de empreendimentos habitacionais no âmbito da linha de atendimento aquisição subsidiada de imóveis novos em áreas urbanas, integrante do programa Casa Verde e Amarela. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, Ed. 93, p. 155, 19 maio de 2021.

BRASIL. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. **Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia**. Brasília, DF, 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10295.htm>. Acesso em: 19 jul. 2021.

CABÚS, R. C. **Análise do desempenho luminoso de sistemas de iluminação zenital em função da distribuição de iluminâncias**, 1997. 156 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

CB3E. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações - **Instrução Normativa Inmetro Para A Classe De Eficiência Energética De Edificações Residenciais - INI-R** (em desenvolvimento). 2018. Disponível em: <<http://www.cb3e.ufsc.br>>.

CB3E. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações - **Apresentação - Método residencial**. 2018. Disponível em: <<http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Me%CC%81todo%20residencial%20-%20CT%20Inmetro.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2021.

CELUCON – Módulos de Concreto Celular. Caderno Técnico. Vila Rica – Morro da Fumaça/SC: 2021.

CUNHA, Elisete; HIDALGO, Paulo. **Webinar NZEB**. 2020. 1 video (1 hora e 5 min.). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=WO-CyzICIL0&list=LL&index=19>. Acesso em: jun. 2021.

DAVIES, E. **Understanding bioclimatic Skyscrapers**, 1999. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/241984895/Davies-E1-IDBE4-Understanding-Bioclimactic-Skyscrapers>>. Acesso em: 09 out. 2021.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. 2008. 160p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

DGS - German Solar Energy Society. **Planning and Installing Photovoltaic Systems**. 2013.

GIVONI, B. Comfort climate analysis and building design guidelines. *Energy and Buildings*, v. 18, n. 1, p. 11–23, 1992.

GREENER. **Análise do Marco Legal da Geração Distribuída e Revisão da REN 482 – Mercado de Energia Solar Fotovoltaica**. 2021.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY . *World Energy Outlook 2019*. IEA, Paris, France. November 2019.

INMET. **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990**. Brasília, 1992. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>>. Acesso em: jun. 2021.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Portaria n.º 163, de 08 de junho de 2009. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C)**. Rio de Janeiro, 2009.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Portaria n.º 449, de 25 de novembro de 2010. Regulamento Técnico da Qualidade para a Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**. Rio de Janeiro, 2010.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Portaria n.º 50, de 01 de fevereiro de 2013. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Anexo geral V – Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros**. Rio de Janeiro, 2013.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Portaria n.º 42, de 24 de fevereiro de 2021. Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C)**. Rio de Janeiro, 2021a.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Consulta Pública nº 18/2021. Proposta de alteração da Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. Rio de Janeiro, 2021b.

IWARO, J.; MWASHA, A. A review of building energy regulation and policy for energy conservation in developing countries. *Energy Policy*, [s. l.], v. 38, n. 12, p. 7744–7755, 2010.

LABEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. *Proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro*. Florianópolis, 2014. Disponível em:

<<https://labeee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro>>. Acesso em: out. 2021.

LABREN - O Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia, INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Dados de irradiação para o Estado de ALAGOAS**. Disponível em: http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017_AL.html. Acesso em: abr. 2022.

LAMBERTS, R. **Série Aula Aberta FAU: Eficiência Energética em Habitação de Interesse Social**. 2021. FAU UFPA. 1 vídeo (1 hora e 48 min.). Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=NuQwNT56G5s&list=LL&index=29&t=3361s>>. Acesso em: jul. 2021.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2014.

MACEIÓ. Lei Municipal Nº 5.593, de 08 de fevereiro de 2007. Código de urbanismo e edificações do município de Maceió. Disponível em: <http://www.maceio.al.gov.br/wp-content/uploads/admin/documento/2013/11/Lei-Municipal-5.593-de-08-de-Fevereiro-de-2007-C%C3%93DIGO-DE-URBANISMO-EEDIFICA%C3%87%C3%95ES-DOMUNIC%C3%8DPIO-DE-MACEI%C3%93.pdf>. Acesso em: 8 de abril 2021.

_____. Plano Diretor. Prefeitura Municipal de Maceió, 2005. Disponível em: <http://sempla.maceio.al.gov.br/sempla/dpu/PLANO%20DIRETOR_MAPAS%20A3/PLANO%20DIRETOR%202006_AT3.pdf>. Acesso em: 08 de abril 2021.

MARINOSKI, D. L.; SALAMONI, I. T.; RUTHER, R. Pré-dimensionamento de Sistema Solar Fotovoltaico: Estudo de caso do edifício-sede do CREA-SC. In: Conferência Latinoamericana de Construção Sustentável, 1.; Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 10., 2004, São Paulo - SP. I CLACS; X ENTAC, 2009.

MDR - Ministério do Desenvolvimento Regional. **Cartilha portaria de requisitos**: requisitos técnicos, urbanísticos e socioterritoriais. Brasília: MDR, 2021. 62 p.

MOURA, Heloisa Melo. **Apresentação**. Habitação de Interesse Sustentável. Distrito Federal, 2020. Disponível em: <<http://www.habitacaodeinteressesustentavel.org/>>. Acesso em: 12 fev. 2021.

OLGYAY, V. **Design With Climate**, New Jersey, Princeton University Press, 1963. P.11

ONU Habitat. Housing of the center of the New Urban Agenda. 2015

PACHECO, Fernando. **Análise da obtenção de edificações residenciais de energia zero na região da Grande Florianópolis**. 2018. 107 p. TCC Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

PACHECO, M., GHISI, E. E LAMBERTS, R. **Proposição de estratégias para obtenção de Edifícios de Energia Zero**. Relatório interno. Florianópolis, 2013.

PARIZOTTO FILHO, S. Telhado vegetado. In: LAMBERTS et. al. **Casa eficiente: bio-climatologia e desempenho térmico**. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010, v. 1. p. 89-122.

PASSOS et al. Análise de dados meteorológicos de vento para fins de planejamento urbano e arquitetônico na cidade de Maceió-al. In: Congresso Luso-Brasileiro para o Planeamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável: PLURIS 2018. 8, 2018, Coimbra, Portugal. **Anais [...]**. Coimbra: Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, 2018.

PASSOS, I. C. da S. **Clima e arquitetura habitacional em Alagoas: estratégias bioclimáticas para Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar**. 2009. 173 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2009.

PBE EDIFICA – Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações. **Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R)**. Disponível em: <<https://pbeedifica.com.br/nova-ini/inir>>. Acesso em: jul. 2021.

PBE EDIFICA – Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações.. Sobre o PBE EDIFICA. Disponível em: <<https://pbeedifica.com.br/sobre>>. Acesso em: jul. 2021.

PEREIRA, I. M.; SOUZA, R. V. G. Proteção Solar em Edificações Residenciais e Comerciais: Desenvolvimento de Metodologia. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENTAC), 12, Fortaleza, 2008. **Anais [...]** Fortaleza, CE: ANTAC, 2008.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. J. L.; RÜTHER, R.; Samuel Luna de ABREU; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G.. **Atlas brasileiro de energia solar** 2.ed. São José dos Campos : INPE, 2017. 88p.: il. (E-BOOK)

PROJETEEE – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. Ventilação Natural. 2021a. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/projeteee/estrategia/ventilacao-natural/>. Acesso em: 20 ago. 2021.

PROJETEEE – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. Sombreamento. 2021b. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/projeteee/estrategia/sombreamento/>. Acesso em: 20 ago. 2021.

PROJETEEE – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. Tipos de proteção solar. 2021c. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/projeteee/implementacao/tipos-de-protecao-solar/?cod=s>. Acesso em: 20 ago. 2021.

PROJETEEE – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. Melhor orientação e o que sombrear. 2021d. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/projeteee/implementacao/melhor-orientacao-e-o-que-sombrear/?cod=s>. Acesso em: 20 ago. 2021.

PROCEL – Programa Brasileiro de Conservação de Energia Elétrica. **Programas e iniciativas do PROCEL Edifica**. 2021. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/d6bb436a-e8fd-4735-b9c1-65ac12ba002d/3_BrazilMOOCPROCEL_EliseteCunha.pdf>. Acesso em: out. 2021.

REHVA, Current situation and actions for ZEB in Japan, 2018. Disponível em: <<https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/current-situation-and-actions-for-zeb-in-japan>>. Acesso em: 24 set. 2021.

RUPP, R. F.; GHISI, E. Potencial de economia de energia elétrica através do uso da luz natural e da ventilação híbrida em edifícios comerciais em Florianópolis. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 75-86, out./dez. 2013.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos**: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil. Florianópolis: LABSOLAR, 2004. 114 p. : il.

RÜTHER, R.; ZOMER, C. Portal Solar. **Arquitetura orientada com uso de tecnologias fotovoltaicas**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/noticias/opinio/opinio-tecnologia/arquitetura-orientada-com-uso-de-tecnologias-fotovoltaicas>. Acesso em: jul. 2021.

SANTOS I. P. **Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) para Arquitetos e Engenheiros Cíveis**. Campinas: UNICAMP, 2014. 118 p.

SEKER, D. Z.; TAVIL, A. U. Evaluation of exterior building surface roughness degrees by photogrammetric methods. *Building and Environment*. v.31, 1996, p. 393- 398.

SILVA, V.G.; SILVA, M.G.; AGOPYAN, V. **Avaliação de edifícios no Brasil: da avaliação ambiental para avaliação de sustentabilidade**. Revista Ambiente Construído - ANTAC, Porto Alegre, v.3, n.3,p 7-18, jul/set. 2003.

SILVA, W. S. **Desempenho do sistema de telhado verde como estratégia de condicionamento térmico passivo no semiárido alagoano**. 204 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2020.

SNH/MCidades – SECRETARIA NACIONAL DE HABITAÇÃO DO MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Minha Casa + Sustentável**: caderno 1 - análise de custos referenciais qualificação da inserção urbana. Dezembro, 2017.

SOUSA, R. F. **Análise Financeira de Medidas de Eficiência Energética e Geração de Energia em Habitações de Interesse Social**. 2019. 133 p. Dissertação (Mestrado)- Programa Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

TORCELLINI, P. et al. **Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition**. California: ACEEE Summer Study, 2006.

TORCELLINI, P., PLESS, S., Deru, M. and Crawley, D. (2006) **Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition, National Laboratory of the US Department of Energy.** ACEEE Summer Study, 14-18 August 2006, Pacific Grove, California.

TRIANA, M. A. **Abordagem integrada no ciclo de vida de habitação de interesse social considerando mudanças climáticas.** 2016. 473 p. Tese (doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

UE. União Europeia. **DIRECTIVA 2010/31/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios.** Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A32010L0031>>. Acesso em: 05 set 2021.

UE. União Europeia. **DIRECTIVA 2010/31/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios.** Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A32010L0031>>. Acesso em: 05 set 2018.

ZOMER, C. **Método de estimativa da influência do sombreamento parcial na geração energética de sistemas solares fotovoltaicos integrados em edificações.** Tese de doutorado. Florianópolis, 2014. Disponível em: <https://fotovoltaica.ufsc.br/Teses/Tese_Clarissa_Debiasi_Zomer.pdf>.

ZOMER, C. **Arquitetura Solar - Clarissa Zomer - 1ª Jornada Smart.** 2021. 1 video (1 hora e 2 min.). Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=FuXZlv8QRMg&t=10s>>. Acesso em: jul. 2021.

WRI BRASIL – WORLD RESOURCES INSTITUTE BRASIL. **Sustentabilidade em Habitação de interesse social:** Benefícios e custos de medidas para eficiência no consumo de água e energia. Pinheiros: WRI BRASIL, 2017.

ANEXO A – PRANCHAS DOS PROJETOS

