



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL
CAMPUS SERTÃO
ENGENHARIA DE CIVIL

GLEIDSON MARTINS DA COSTA

**DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES: PROPOSTA DE BRISE-SOLEIL
PARA REDUÇÃO DE CARGA TÉRMICA EM HABITAÇÕES DE INTERESSE
SOCIAL DO MUNICÍPIO DE PAULO AFONSO – BA**

Delmiro Gouveia/AL

2017



GLEIDSON MARTINS DA COSTA

**DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES: PROPOSTA DE BRISE-SOLEIL
PARA REDUÇÃO DE CARGA TÉRMICA EM HABITAÇÕES DE INTERESSE
SOCIAL DO MUNICÍPIO DE PAULO AFONSO – BA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão, como requisito parcial, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prf. Msc. Aline Maria Pereira Nogueira.

Delmiro Gouveia/AL

2017

C837d Costa, Gleidson Martins da

Desempenho térmico em edificações: proposta de Brise-Soleil para redução de carga térmica em habitações de interesse social do município de Paulo Afonso-BA / Gleidson Martins da Costa. – 2017.

78f.: il.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2017.

Orientação: Prof. Me. Aline Maria Pereira Nogueira.

1. Brise- Soleil 2. Desempenho Térmico.3. Edificações.
I. Título.

CDU 624

Folha de Aprovação

AUTOR: GLEIDSON MARTINS DA COSTA

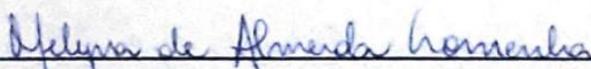
**DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES: PROPOSTA DE BRISE-SOLEIL
PARA REDUÇÃO DE CARGA TÉRMICA EM HABITAÇÕES DE INTERESSE
SOCIAL DO MUNICÍPIO DE PAULO AFONSO – BA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo Colegiado do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus Sertão em 14 de junho de 2017.

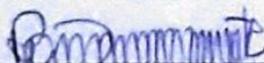


Profa. Msc. Aline Maria Pereira Nogueira, UFAL (Orientadora)

Banca examinadora



Profa. Msc. Melyna de Almeida Lamenha, UFAL/Campus do Sertão (Examinador Interno)



Prof. Msc. Rubens de Oliveira Duarte, UFAL/Campus A. C. Simões (Examinador Externo)

AGRADECIMENTOS

Deixo aqui os meus agradecimentos às pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para concretização de mais uma meta na minha vida. Em especial, agradeço:

À Deus, por toda saúde, proteção, felicidade e vitórias obtidos no decorrer dessa jornada.

Aos meus avós Maria de Lourdes e José Martins, pelo exemplo de dedicação, respeito e caráter, bem como pelo empenho para ofertar amor, educação, conforto, segurança e todo bem estar. À minha irmã Carla Malâny e minha mãe Geane Martins, por todo amor e companheirismo. Aos meus tios e primos, por estarem sempre dando suporte nos momentos de alegria e tristeza.

Ao Adriano Moraes, Ana Clara, Felipe Guilherme, Larissa Costa, Robério Satyro, Patrícia Figueredo e Valquíria Abreu, companheiros com quem tive a oportunidade de compartilhar manhãs, tardes e noites de estudo. Sobretudo, por serem amigos que tornaram essa jornada singular diante dos momentos de alegria e aprendizado que pude vivenciar com cada um deles.

Ao Jeremy Dean, Gláucia César e Janaina Vieira, minha segunda família durante o período de intercâmbio nos Estados Unidos. Também, ao meu amigo Danilson Rodrigues que, mesmo com a distância, sempre se mostrou preocupado com a nossa amizade e compreensivo nos momentos em que precisei me ausentar.

À minha orientadora Aline Nogueira, pela amizade, atenção e conhecimento compartilhado no decorrer do meu último ano da graduação.

Aos ex-membros do PET Engenharias, Daniel Bruno, Daone Silva, Augusto César, Kerolaynh (in memorian) e Bruna Rosa, pelas experiências vivenciadas no grupo, bem como pela colaboração com a minha formação acadêmica e pessoal.

RESUMO

As modificações causadas ao meio ambiente têm levado o ser humano a repensar suas atitudes em relação à natureza. Diante dessa problemática, o conceito de Desenvolvimento Sustentável tem sido empregado nos mais diferentes contextos e propósitos. Na construção civil, este termo pode ser aplicado por meio da proposta de edificações que interajam adequadamente com as condições climáticas do ambiente ao seu entorno e garantam o conforto térmico para seus usuários. Nesses moldes, o presente trabalho busca debater sobre as formas de melhorar a sustentabilidade nos edifícios do semiárido brasileiro, através da proposta de utilização de brise-soleil em um conjunto habitacional situado em Paulo Afonso-BA. O uso dessa estratégia em climas quentes pode melhorar o conforto térmico dos moradores, pois ela permite reduzir o ganho de calor proveniente da radiação solar. Em vista disso, de acordo com o estudo da geometria da insolação na localidade, foram sugeridos modelos de quebra-sóis que protegessem as janelas da radiação solar direta durante o maior tempo possível. Todavia, notou-se que esse fato não era adequado em algumas ocasiões devido à ocorrência de problemas relacionados à obstrução da visibilidade, iluminação e ventilação natural. Em vista disso, sugeriu-se como solução brises que permitem sombrear as janelas nos períodos em que são constatadas as temperaturas mais altas na região. No caso das habitações analisadas, os resultados apresentaram uma redução máxima nos ganhos de calor de, aproximadamente, 40% apenas com a aplicação de proteções solares nas janelas. Além disso, notou-se que os ambientes voltados para oeste estão expostos às piores condições de desempenho térmico, pois eles têm os maiores ganhos de calor.

Palavra-chave: Desempenho Térmico, Sustentabilidade, Conforto Térmico, Brise-soleil.

ABSTRACT

The changes caused to the environment have made the human beings to rethink about their attitudes towards nature. In view of the foregoing, the concept of Sustainable Development has been used in many situations. In the civil construction, this term may be applied through the proposal of buildings that properly interact with the climatic conditions of the surrounding environment and guarantee comfort to their residents. In this sense, this paper seeks to discuss about the ways of improving buildings' sustainability from Brazilian semi-arid, proposing solar shading devices to dwellings from Paulo Afonso – BA. Thus, according to the insulation geometry, it was designed different shading devices to protect the windows from direct sunlight during most of time. With this type of strategy, it is possible to improve the thermal comfort of the residents, as it allows to reduce the gains of heat from solar radiation. In view of this, according to the study of the geometry of the sunshine in the locality, it was suggested models of shading devices that protected the windows of direct solar radiation for the longest time possible. However, it was noted that this fact was not adequate in some occasions due to the occurrence of problems related to obstruction of visibility, lighting and natural ventilation. In view of this, it was suggested as a solution to block the insolation inside the buildings in the periods in which the highest temperatures in the region are observed. In the houses analyzed, the results showed that the shading devices reduced the thermal load by 40%. Furthermore, it was noticed that the rooms facing west are exposed to the worst thermal conditions due to they have the highest heat gains.

Key-words: Thermal Performance, Sustainability, Thermal Comfort, Brise-soleil.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	07
1.1 Justificativa	07
1.2 Problema da pesquisa	08
1.3 Objetivo	08
1.3.1 Objetivo geral	08
1.3.2 Objetivos específicos	09
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 Conforto térmico nos edifícios	10
2.1.1 Variáveis humanas	11
2.1.2 Variáveis climáticas	12
2.1.3 Variáveis arquitetônicas	22
2.1.4 Arquitetura Bioclimática: Índices e normas de avaliação do conforto térmico	22
2.2 Carta Bioclimática Brasileira	26
2.3 Estratégias de condicionamento térmico passivo para o semiárido brasileiro	28
2.4 Quebra-Sóis: O uso de brise-soleil em edificações	32
2.4.1 Geometria da insolação e processo de dimensionamento de brise	34
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	44
3.1 Caracterização do objeto de estudo	44
3.1.1 Informações gerais	44
3.1.2 Dados climáticos do município de Paulo Afonso-BA	49
3.1.3 Estudo de caso: Condomínio Tancredo Neves	52
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
REFERÊNCIAS	67
ANEXOS	73

1 INTRODUÇÃO

Muitos dos impactos ambientais que ocorrem na natureza estão intrinsecamente ligados à ação humana. A Associação Portuguesa de Engenharia Ambiental (APEA, 2009) cita a destruição dos ecossistemas, o esgotamento dos recursos naturais e as mudanças climáticas como algumas das consequências da ação antrópica ao planeta. Tais problemas têm feito à sociedade repensar seus conceitos e comportamentos.

Diante desse quadro, a Conferência de Estocolmo, realizada em 1972, pode ser considerada como a primeira iniciativa dos países no sentido de discutir sobre a degradação do meio ambiente (MIKHAILOVA, 2004). Após este encontro, outras reuniões foram realizadas a fim de estabelecer metas para preservação da natureza.

O conceito de “desenvolvimento sustentável” é um dos produtos/avanços dos debates estabelecidos pelos países participantes da Conferência das Nações Unidas. Nestes termos, o relatório *Nosso Futuro Comum* da Organização das Nações Unidas (ONU, 1987) define o Desenvolvimento Sustentável como “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas necessidades”. Além disso, é importante salientar que o desenvolvimento sustentável é formado por três pilares fundamentais: econômico, social e ambiental.

A construção civil, como um dos principais setores responsáveis por alterar o meio ambiente, gerar consumo de recursos naturais e energéticos, e emitir resíduos para o meio ambiente, está incluso neste debate (XAVIER, 2011). Neste sentido, o conceito de sustentabilidade também tem sido utilizado no âmbito da construção, levando em conta algumas particularidades.

Na visão de Freitas (2008), o conceito de construção sustentável deve atender não somente a questão da preservação ambiental, mas também atender as questões de qualidade de vida e conforto dos habitantes. Neste panorama, alguns dos aspectos que devem ser considerados na aplicação da sustentabilidade ao ambiente construído são: o aproveitamento passivo dos recursos naturais, a eficiência energética, a qualidade do ar e ambiente interior, e o conforto termo-acústico (ibid.).

1.1 Justificativa

Diante do exposto, o desenvolvimento deste trabalho está justificado na preocupação em se propor habitações ambientalmente adequadas e confortáveis para os seus usuários, sem

que haja aumento nos custos referentes à construção e manutenção das residências. Desta maneira, busca-se por meio deste trabalho ressaltar a importância de pensar a edificação como um elemento que relaciona questões construtivas, ambientais, e humanos.

Além disso, diante da escassez de estudos sobre conforto térmico em habitações da região semiárida brasileira, como foi notado por Martins, Bittencourt e Krause (2012) e Santos, Costa e Barros (2014), é cada vez mais necessário o desenvolvimento de estudo sobre este tema, visando o desenvolvimento sustentável da região.

1.2 Problema de pesquisa

O Brasil, nos últimos anos, passou por um intenso processo de construção de conjuntos habitacionais em todo seu território, sendo o principal precursor o Programa Minha Casa Minha Vida. O referente programa do governo federal foi criado em 2009, com o objetivo de atender o déficit habitacional do país. Neste sentido, o relatório da Fundação João Pinheiro (2013) afirma que o país possuía um déficit de 6,490 milhões de unidades de acordo como dados do último censo demográfico.

Em termos locais, o Diagnóstico do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental de Paulo Afonso (2016) estima que o presente município necessite de 32.578 novas residências até 2022. Todavia, essa necessidade em produzir novas residências leva a construção e replicação de projetos que não contemplam questões essenciais como o clima da localidade, conseqüentemente, o conforto térmico dos moradores.

Neste contexto, diante da necessidade de construir novas habitações que estejam ambientalmente adequadas as condições climáticas da região de Paulo Afonso-BA (temperaturas altas e baixa umidade na maior parte do ano), torna-se importante ampliar a discussão sobre estratégias construtivas que busquem atender o conforto térmico nas moradias locais, complementando assim os instrumentos de planejamento urbano do município.

1.2 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como intuito propor o uso de estratégias de condicionamento passivo, através do dimensionamento de brise-soleils que se adequem às características

climáticas do município de Paulo Afonso – BA, para melhoria do conforto térmico em habitações de interesse social da localidade.

1.3.2 Objetivos específicos

- Avaliar a influência da radiação sobre as habitações do conjunto habitacional Tancredo Neves, levando em conta a localização e orientação geográfica das mesmas;
- Aplicar estratégias de condicionamento passivo, direcionadas para regiões de clima quente e seco, no projeto do condomínio selecionado como parâmetro de estudo; e
- Verificar as melhorias no conforto e desempenho térmico das edificações destacadas após a aplicação dos conceitos de bioclimatismo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Conforto térmico

De acordo com Lambert, Dutra e Pereira (2014) o conforto ambiental pode ser representado por um conjunto de condições do ambiente que garantem ao ser humano bem estar visual, acústico, antropométrico/ergonômico e térmico. Com base nesta premissa, percebe-se que o conforto térmico é um dos fatores analisado no processo de avaliação do conforto ambiental nas edificações.

Na visão de Grzybowski (2004), este último tem maior destaque, entre os aspectos citados, devido ao grande número de reclamações que ele recebe. Neste panorama, as habitações de interesse social se sobressaem, pois, geralmente, são construídas obedecendo à uma mesma tipologia e sem contemplar as especificidades climáticas e culturais de cada região brasileira (FRACISCO, 2009).

No que tange ao conforto térmico, inúmeras definições podem ser encontradas nas publicações. Em termos gerais, sabe-se que tais definições estão relacionadas com a percepção do ser humano sobre as questões climáticas do ambiente em sua volta. Neste sentido, segundo Lamberts et al (2016), o conforto térmico está ligado ao estado mental de satisfação do ser humano com o ambiente térmico que o circunda; por sua vez, a insatisfação pode ser reflexo da sensação de desconforto devido o calor ou frio, causada quando há diferença entre o calor produzido pelo organismo humano e o colar perdido para o ambiente.

De acordo com Schmid (2005), até o final do século XVIII, a palavra conforto quase não era usada no contexto das edificações, passando a ser empregada nessa conjuntura apenas por volta do início do século XIX. Desde então, os estudos sobre conforto térmico têm crescido, sendo utilizados como uma ferramenta auxiliar no desenvolvimento de projetos sustentáveis. Para tanto, Lamberts et al (2016) destacam que o estudo sobre o conforto térmico deve apontar, sobretudo, as condições para concepção de um ambiente adequado para o ser humano desenvolver suas atividades, além de determinar os métodos para análise térmica de um ambiente.

Diante do exposto, Almeida (2000) explica que para conceber um projeto com conforto, é necessário observar as variáveis humanas, climáticas e arquitetônicas do ambiente, buscando principalmente, entender as inter-relações que estão estabelecidas entre elas. Assim sendo, o trabalho seguirá apresentando a respeito dessas variáveis e destacando como elas podem influenciar no conforto térmico.

2.1.1 Variáveis humanas

Exposto às condições climáticas do ambiente, o ser humano está constantemente realizando troca de calor com o meio. A quantidade de calor transmitida é função de uma característica fisiológica humana que afeta diretamente na sensação de conforto do indivíduo. Essa característica é chamada de homeotermia.

De acordo com Almeida (2000), o ser homeotérmico tem a capacidade de manter a temperatura interna do corpo estável, independentemente das condições climáticas. Para tanto, o ser humano busca liberar uma quantidade de calor suficiente para manter a temperatura interna do organismo em torno de 37°C (variando entre 36,1°C e 37,2 °C), sendo o limite inferior de 32°C e o limite superior de 42°C para os casos de enfermidade (FROTA; SCHIFFER, 2001). Todavia, enquanto a temperatura nos órgãos vitais deve estar o mais próximo possível dos 37°C, nas regiões periféricas essa temperatura pode ter maior variação segundo a necessidade do corpo de conservar ou dissipar calor (ARANTES, 2012).

É importante ressaltar que a energia para regular a temperatura do corpo e transformar em potencialidade de trabalho é proveniente da atividade metabólica do ser humano (LAMBERTS et al 2016). Dessa energia produzida no metabolismo, cerca de 80% é utilizada para manter a temperatura interna do corpo em equilíbrio, à medida que aproximadamente 20% dela é transformadas em potencialidade de trabalho (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Dando continuidade a discussão, Almeida (2000) explica que a sensação de conforto térmico ocorre quando nenhum mecanismo de termorregulação for utilizado pelo corpo humano, ou seja, quando a quantidade de calor produzido pelo metabolismo é compatível com a atividade realizada. Neste sentido, nas situações em que a resultando do fluxo de calor entre o corpo e o meio ambiente é zero, o indivíduo estará em estado de conforto térmico. Além disso, quanto maior for o trabalho realizado pelo organismo humana para regular a temperatura interna, conseqüentemente, maior será a sensação de desconforto (ARANTES, 2012).

Na condição de desconforto térmico, a mudança no desempenho do indivíduo irá variar de acordo com a sensação de “frio” ou “calor”. Neste sentido, Arantes (2012) cita a superatividade como uma das conseqüências do super-resfriamento, que reduz o estado de alerta e concentração do ser humano. Já para o superaquecimento, ele cita o cansaço e a sonolência, que reduzem o desempenho físico e aumentam a incidência de erros.

Além das variáveis humanas citadas, questões como o sexo, idade, raça, hábitos alimentares, peso e altura podem influenciar na condição de conforto de cada indivíduo e

devem ser consideradas (LAMBERTS et al, 2016). Todavia, sabendo que o conforto térmico envolve variáveis subjetivas, Fagner (1970 apud XAVIER, 1999) salienta que não é possível que todas as pessoas expostas às mesmas condições climáticas em um ambiente, ao mesmo tempo, sintam-se em estado de conforto. Diante disso, no estudo de conforto térmico, busca-se sempre achar quais as condições em que um maior número de pessoas encontra-se satisfeita (LAMBERTS et al, 2016).

A fim de verificar a temperatura em que não há a necessidade de mais frio ou calor no ambiente, foi estabelecido o conceito de temperatura neutra. Para Aroztegui (198? apud BERGMANN, 2011), a temperatura neutra pode ser calculada por (Equação 1):

$$T_n = 11,9 + 0,543 \cdot t_{nm} \quad (1)$$

Onde:

T_n = temperatura neutra;

t_{nm} = temperatura média mensal.

Ademais, esclarece-se que na visão de Lamberts et al (2011), a neutralidade térmica é uma condição necessária, mas não é satisfatória para sentir-se em conforto térmico. Neste panorama, eles destacam que uma pessoa pode estar, por exemplo, exposta a uma condição assimétrica de radiação, sentindo-se em neutralidade térmica, mas não estará em conforto térmico.

2.1.2 Variáveis climáticas

Nesta seção, será discutido sobre as variáveis climáticas estudadas para avaliação do conforto térmico em edificações. De acordo com Frota e Schiffer (2001), as principais variáveis relacionadas ao conforto térmico são: temperatura, umidade, velocidade do ar, e radiação solar incidente. Em vista disso, o trabalho seguirá versando sobre tais aspectos.

a) Temperatura

De acordo com Xavier (1999), a variável temperatura corresponde à temperatura do ar ao redor do corpo humano, sendo ela utilizada para determinar a troca de calor por convecção entre homem e ambiente. Vários são os aspectos que influenciam na temperatura do ar em uma dada localidade.

Partindo da premissa que a radiação solar, o coeficiente de absorção de radiação dos materiais, e a distribuição de água são totalmente desiguais na superfície terrestre, Romero (2000) afirma que a temperatura nas camadas mais próximas da Terra, bem como seu perfil em dado local, está variando constantemente ao longo do tempo.

Para ilustrar essa variação da temperatura, Almeida (2000) cita dois casos onde é possível perceber a relação entre a absorção de radiação dos materiais e velocidade do ar sobre a temperatura do ar. Neste sentido, quando a velocidade do ar é pequena, a temperatura encontra-se, majoritariamente, influenciada pelos ganhos térmicos do ambiente. Por sua vez, quando a velocidade do ar é alta, a influência dos ganhos térmicos sobre a temperatura é reduzida.

Diante dessa interferência, para determinar os padrões de temperatura anual e diário de uma localidade é necessário realizar medições com certa frequência. Para tanto, Lambert et al (2016) assumem que a temperatura do ar (temperatura do bulbo seco), costuma ser medida com a temperatura do bulbo úmido através do psicrômetro giratório. Além disso, a supracitada variável pode ser medida por outros aparelhos como os sensores de expansão de líquidos ou sólidos, termômetros elétricos de resistência variável ou termopares (XAVIER, 1999).

Para Lambert et al (2016) a temperatura é a variável mais importante do conforto térmico pois a sensação de conforto está baseada, sobretudo, na perda de calor devido à diferença de temperatura entre pele e o ar, complementada pelos mecanismos termorreguladores. Diante do exposto, afirma-se que o conhecimento sobre a temperatura a nível microclimático contribui na proposição de soluções, pois auxilia na determinação de estratégias construtivas que venham controlar as trocas de calor do corpo humano com o ambiente.

b) Umidade

De acordo com Romero (2000), o vapor de água contido no ar tem origem da evaporação da água, evapotranspiração dos vegetais e outros processos de menor importância. Além disso, o mesmo afirma que a quantidade e a proporção de vapor d'água na atmosfera podem ser expressas de várias maneiras como, por exemplo, pela pressão de vapor e umidade relativa. Desta maneira, faz-se importante conhecer o que tais unidades representam.

A pressão de vapor de água corresponde à pressão que o vapor de água poderia exercer se ocupasse sozinho todo o volume ocupado pelo ar úmido, à mesma temperatura (XAVIER,

1999). Por sua vez, a umidade relativa representa a quantidade de vapor d'água contido no ar úmido em relação à quantidade de vapor de água contido no ar saturado para uma dada condição de temperatura e pressão (LAMBERTS et al, 2016). Segundo Xavier (1999), para os estudos de conforto, é utilizada a noção de umidade relativa do ar, sendo importante conhecer como se dá a distribuição da mesma na superfície da Terra.

De acordo com Romero (2000), a quantidade de vapor d'água é maior próximo da zona equatorial e menor nos polos, acompanhando os padrões de radiação e temperatura ao longo do ano. Além disso, ela destaca que nas regiões secas e semi-secas, a variação da umidade relativa do ar é grande, sendo baixa no início da tarde (temperatura alta) e alto à noite, quando pode ficar saturado. Sabe-se também que quanto maior a temperatura do ar, menor a sua densidade, logo, maior será a sua capacidade em conter água (ALMEIDA, 2000).

No que se refere ao estado de conforto do indivíduo, a umidade do ar deve obedecer a certos padrões. Desta maneira, Lamberts et al (2016) advertem que em torno de 25% da energia térmica produzida pelo organismo é eliminada sob forma de calor latente, sendo 10% respiração e 15% por transpiração. Conseqüentemente, é importante que as condições ambientais favoreçam estas perdas. À luz disso, Vieira (2008) destaca que é necessário haver um equilíbrio nos valores da umidade relativa do ar, pois valores baixos ou altos causam, respectivamente, o ressecamento das mucosas ou a condensação superficial, que dificulta na evaporação do suor em climas quentes.

Apesar das considerações feitas acima, a umidade não pode ser analisada como um elemento isolado, mas sim, em conjunto com outros fatores como: temperatura do ambiente, velocidade e fluxo de ar, permeabilidade das superfícies interiores, entre outros (ALMEIDA, 2000). À título de ilustração, Lamberts et al (2016) exemplificam sobre a importância da ventilação para os momentos em que a umidade relativa do ar é alta, tendo em vista que ela potencializa a evaporação na remoção do calor.

Baseando-se no exposto, os índices de conforto térmico buscam determinar os valores da umidade relativa que juntamente aos das demais variáveis climáticas possibilitam um estado de conforto para o ser humano. Neste contexto, a relação entre a umidade relativa do ar e as temperaturas de bulbo úmido (TBU) e seco (TBS), que delimitam uma zona de conforto, é apresentada através de uma carta psicrométrica, que será exposta em seção mais adiante (ALMEIRA, 2000).

c) Vento

Na presente seção será feita uma breve descrição a respeito da formação dos ventos na atmosfera terrestre. Em seguida, discute-se sobre a influência desta variável em nível de projeto.

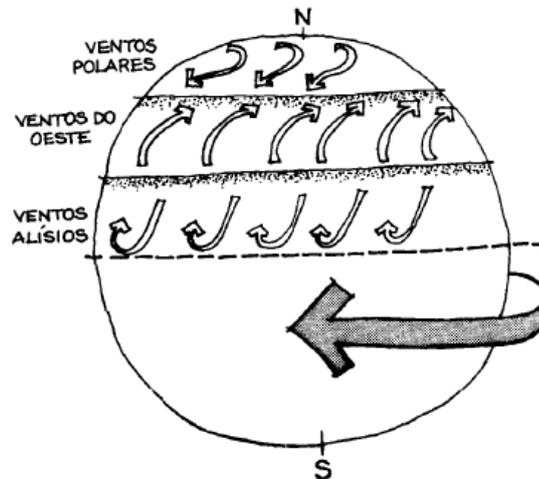
De acordo com Frota e Schiffer (2001), o principal fator que define, a nível global, a direção e as características do vento é a distribuição sazonal das pressões atmosféricas, que é influenciada pela variação de temperatura no globo e pelo movimento de rotação da Terra. Como consequência desses fatores, surgem os movimentos verticais e horizontais das massas de ar. Segundo Bittencourt e Cândido (2011, p. 17):

A circulação vertical é gerada pelo aquecimento do ar na faixa Equatorial, em função da maior intensidade da radiação solar que atinge essa região da Terra. O ar aquecido se expande, torna-se menos denso e sobe verticalmente, criando zonas de baixa pressão. Deslocadas em direção a estas zonas de baixa pressão, as correntes de ar vindas das regiões subtropicais, geram uma circulação horizontal. O ar aquecido sobe até certo ponto onde volta a se resfriar e desce na faixa subtropical, produzindo zonas de alta pressão, propagando-se nas direções norte e sul.

Este processo é apenas parte de como ocorre a formação do movimento do ar. Como foi explicitado inicialmente, o movimento de rotação da Terra também define a direção e características do vento. Tendo em vista que o ar é um fluido leve e encontra-se em contato com a superfície terrestre devido à gravidade e fricção, o mesmo tende a retardar o movimento de rotação da Terra onde este é mais rápido, no Equador (ROMERO, 2000). À luz disso, Frota e Schiffer (2001) destacam que o ar na atmosfera terrestre teria movimento constante e ascendente, dos polos para o Equador, caso a Terra não girasse em torno do próprio eixo.

O movimento de rotação da Terra também gera uma força desviadora denominada Coriolis (ibid.). De acordo com Bittencourt e Cândido (2011), a Força Coriolis provoca um vento no sentido contrário ao movimento de rotação, que contribui para configuração da circulação do vento na Terra. Na figura 1 é possível verificar a configuração do movimento dos ventos na superfície terrestre, sendo este perfil simétrico em relação à linha do equador.

Figura 1 – Movimento do ar devido à rotação terrestre.



Fonte: ROMERO, 2000.

No que concerne à ventilação para o desenho urbano, é importante conhecer como este se processa nas camadas mais baixas da atmosfera (ROMERO, 2000). Nestes termos, Almeida (2000) assume que, assim como a ventilação a nível global, o movimento do ar nas camadas mais baixas se dá pela diferença de temperatura, deslocando-se da área de maior pressão (ar frio) para a de menor pressão (ar quente).

Todavia, o relevo do solo e os obstáculos exercem influência no movimento visto que eles desviam, alteram e canalizam o movimento (ROMERO, 2000). Este fato torna importante conhecer como os prédios de uma localidade podem impactar a ventilação da região.

Diante do exposto, Bittencourt e Cândido (2011) sugerem que os dados de ventilação para projetos de edificações devem ser coletados com frequência horária, pois, desta forma, é possível conhecer o comportamento diário e sazonal do vento em uma dada localidade.

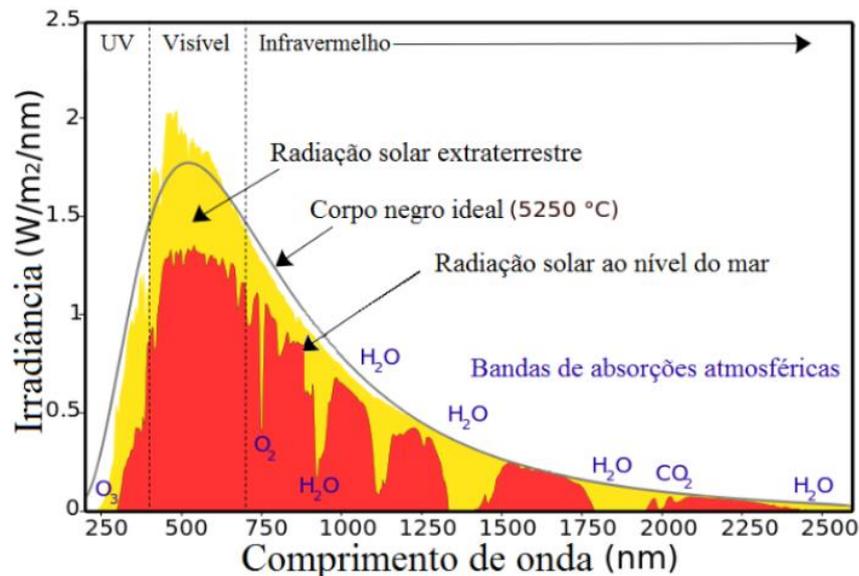
Nos que tanges aos ambientes internos, a velocidade do ar costuma ser abaixo de 1m/s, sem contar com a ação direta do vento (LAMBERTS et al, 2016). Baseando-se no exposto, Corbella e Yanna (2010) ressaltam que a temperatura na qual uma pessoa encontra-se em estado de conforto térmico pode aumentar de 19°C para 24°C apenas ao aumentar a velocidade do ar de 0 m/s para 1m/s, sem que haja alteração na atividade e roupa usada pela pessoa. À luz dessas considerações, percebe-se que o vento pode ser um elemento bastante útil nas estratégias de conforto térmico das edificações.

d) Radiação

A radiação solar, principal fonte de energia (calor) e de luz para o planeta Terra, é definida como uma onda eletromagnética curta (LAMBERTS et al, 2016). A mesma é

constituída por campos elétricos e magnéticos oscilantes, que se propagam com velocidade constante no vácuo. A radiação solar varia de infravermelho até ultravioleta, perpassando pela faixa de onda visual (BITTENCOURT, 2004). Na figura 2 é possível observar o espectro da radiação solar.

Figura 2 – Espectro de Radiação Solar.



Fonte: BELUSSO e CAINELLI, 2015.

Na imagem acima, percebe-se que os valores menores que, aproximadamente, 380nm representam os raios ultravioletas e os valores de comprimento de onda maiores que 750nm indicam os raios infravermelhos. Entre tais valores de comprimento de onda, encontra-se a parte da radiação solar visível. Romero (2000) aponta que a radiação solar é composta 49% por raios infravermelhos, 46% por luz visível e 4,6% por radiação ultravioleta, sendo maior parte desta última absorvida pelo ozônio.

Após atravessar a atmosfera, a radiação sofre alteração no seu trajeto. De acordo com Lamberts, Dutra, e Pereira (2014), a parcela que atinge diretamente a Terra é conhecida como radiação direta cuja intensidade (I_g) depende da altura solar e do ângulo de incidência dos raios solares em relação à superfície atingida. Segundo estes autores, quanto maior for a quantidade de nuvens no céu, maior será a presença da radiação difusa.

Além disso, Frota e Schiffer (2001) assumem que a intensidade da radiação depende também do nível de poluição do ar. Segundo as mesmas, dados de incidência podem ser calculados por meio de equações ou encontrados em tabelas com valores de intensidade da radiação para diferentes posições de planos, horários, latitudes e orientações.

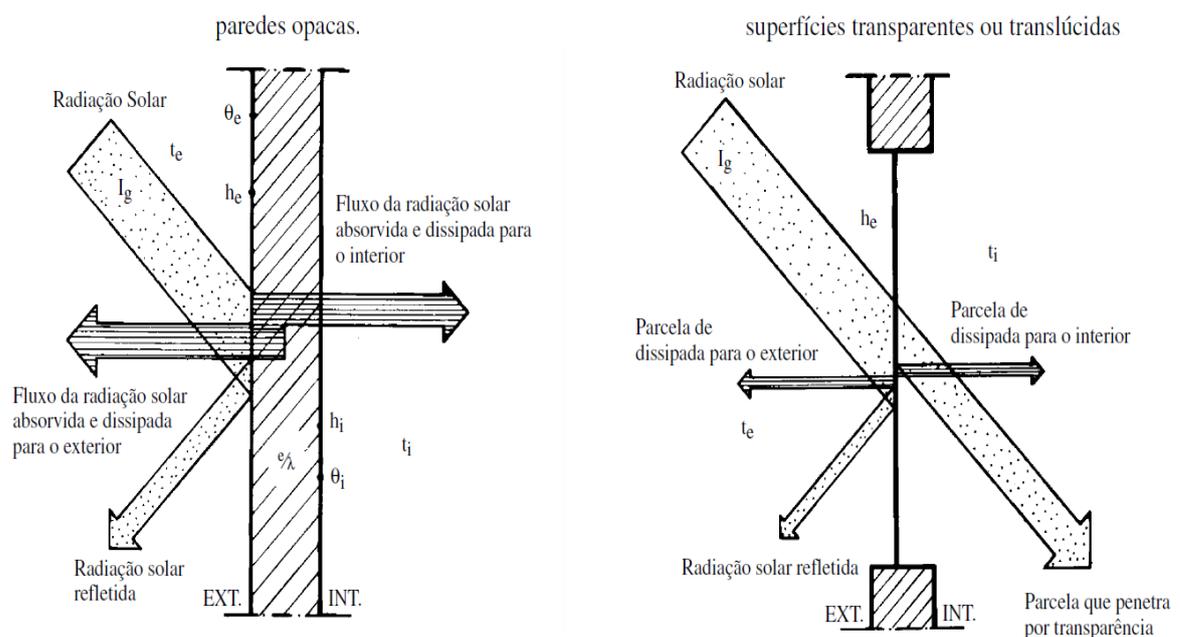
Ao chegar próximo da superfície terrestre, a radiação atinge os elementos, como os edifícios, ocasionando ganhos de calor para os mesmos. O ganho de calor pode ser maior ou menor segundo a intensidade da radiação e características térmicas dos materiais (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Neste interim, é importante explicar que o termo “ganho de calor” é usado para expressar o fluxo de calor gerado por fontes internas de energia térmica ou transferido por meio das vedações. Outro termo pertinente ao tema é “carga térmica” que representa a quantidade de calor que deve ser retirada ou fornecida para um espaço a fim de manter o mesmo com temperatura constante (NETO, 1999).

Existem diferentes métodos para determinar a quantidade de calor que perpassa uma superfície. Um desses métodos é o C.S.T.B (Center Scientifique et Technique du Batiment) também conhecido como método simplificado. Para Neto (1999), Frota e Schiffer (2001), esse método é o mais aplicável, visto que: está baseado em dados climáticos disponíveis e numa abordagem acessível no que tange as características dos materiais; considera um regime permanente; e admitem-se as condições mais rigorosas de exposição.

No que tange ao cálculo do ganho de calor, os materiais que são atingidos pela radiação podem ser classificados em dois grupos: a) opacos e b) translúcidos ou transparentes. Tais grupos são distinguidos de acordo com o comportamento da radiação solar após atingir suas respectivas superfícies (Figura 3).

Figura 3 – Radiação solar em superfícies opacas e transparentes ou translúcidas.



Fonte: adaptado de Frota e Schiffer, 2001.

Neste sentido, segundo a imagem, afirma-se que nos elementos opacos a radiação solar é parte refletida e parte absorvida pelo material. Já nos elementos transparentes ou translúcidos, a radiação solar que incide sobre a superfície se subdivide em três partes: refletida, absorvida e transmitida. Diante do exposto, Lamberts et al (2016) representam o fluxo da radiação nas duas situações acima pelos seguintes balanços:

- Paredes opacas, (Equação 2):

$$\alpha.RS + \rho.RS = RS \rightarrow \alpha + \rho = 1 \quad (2)$$

- Superfícies transparentes ou translúcidas, (Equação 3):

$$\alpha.RS + \rho.RS + \sigma.RS = RS \rightarrow \alpha + \rho + \sigma = 1 \quad (3)$$

Onde:

α = absorvidade;

ρ = refletividade;

σ = transmissividade;

RS = radiação total incidente;

Com base nas equações acima, afirma-se que uma porcentagem da radiação que incide sobre um elemento transparente (como o vidro) é transmitida diretamente para dentro da edificação, o que não é possível ocorrer nas paredes opacas. Assim sendo, Frota e Schiffer (2001) esclarecem que a equação do fluxo de calor que atravessa por uma superfície transparente é igual à equação do fluxo de calor para objetos opacos, adicionando o termo referente à parcela de calor que passa por transferência.

Neste contexto, segundo o método simplificado, o fluxo de calor que atravessa um corpo transparente ou translúcido pode ser encontrado pela equação 4:

$$q = (U.t_e - U.t_i + U.\alpha.I_g.R_{se}) + \tau.I_g = (U.\Delta t + U.\alpha.I_q.R_{se}) + \tau.I_g \quad (4)$$

Onde:

q = densidade do fluxo de calor (W/m²);

U = coeficiente global de transmitância térmica (W/m².°C);

t_e = temperatura externa (°C);

t_i = temperatura interna (°C);

α = coeficiente de absorção da radiação solar;

I_g = intensidade de radiação solar incidente global (W/m²);

R_{se} = resistência superficial externa (m².°C/W);

τ = transmissividade do vidro.

Na equação acima, os termos que estão dentro dos parênteses representam a equação do fluxo de calor para um corpo opaco, sendo $U \cdot \Delta t$ o ganho de calor devido a diferença de temperatura e $U \cdot \alpha \cdot I_g \cdot R_{se}$ ao ganho de calor solar (FROTA e SCHIFFER, 2001). Assim, o termo fora dos parênteses indica o ganho de calor que penetra por transparência.

Colando em evidência a intensidade de radiação na equação acima, tem-se o Fator Solar de uma superfície transparente ou translúcida (Equação 5):

$$FS = U \cdot \alpha \cdot R_{se} + \tau \quad (5)$$

Onde:

FS = fator solar;

U = coeficiente global de transmitância térmica (W/m².°C);

R_{se} = resistência superficial externa (m².°C/W);

τ = transmissividade do vidro.

Este fator expressa a razão entre a quantidade de energia solar que atravessa a janela em relação ao que nela incide; logo, destaca-se que esse valor é característico para cada tipo de abertura (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Substituindo o Fator Solar na equação 4, a mesma pode ser representada da seguinte forma (Equação 6):

$$q = U \cdot \Delta t + FS \cdot I_g \quad (6)$$

Onde:

q = densidade do fluxo de calor (W/m²);

U = coeficiente global de transmitância térmica (W/m².°C);

Δt = diferença entre a temperatura do ambiente externo e interno;

FS = fator solar;

I_g = intensidade de radiação solar incidente global (W/m^2);

Multiplicando a equação (6) pela área da superfície atingida pela radiação solar, é possível, desta forma, calcular a quantidade de calor (Q) que irá passar, por exemplo, pela janela de um edifício (Equação 7).

$$Q = (U \cdot \Delta t + FS \cdot I_g) \cdot A \quad (7)$$

Onde:

Q = quantidade/fluxo de calor (W);

U = coeficiente global de transmitância térmica ($W/m^2 \cdot ^\circ C$);

Δt = diferença entre a temperatura do ambiente externo e interno;

FS = fator solar;

I_g = intensidade de radiação solar incidente global (W/m^2);

A = área (m^2).

Os valores de alguns dos coeficientes apresentados nesta seção podem ser encontrados na NBR 15220-2, bem como nos trabalhos de Lamberts, Dutra, Pereira (2014); Frota e Schiffer (2001); entre outros. As tabelas contendo tais valores estão presentes no anexo 1.

2.1.3 Variáveis arquitetônicas

As variáveis arquitetônicas estão relacionadas com os itens de um projeto como, por exemplo, os materiais, cores, dimensões e orientação dos espaços. Tais itens podem ser adotados visando uma melhoria no conforto térmico dentro das edificações.

A forma como eles são aplicados nos edifícios dependerá das características climáticas locais. Neste contexto, na seção 2.3 serão apresentadas algumas das variáveis arquitetônicas que podem ser usadas nos projetos de habitações para beneficiar o seu desempenho térmico.

2.1.4 Arquitetura Bioclimática: Índices e normas de avaliação do conforto térmico

Nesta seção será discutido sobre os índices de conforto térmico, que ajudam a descrever as condições higrotérmicas das pessoas quando estão submetidas à determinada combinação de variáveis humanas e ambientais (FIGUEIREDO; FROTA, 2008). Nesse ínterim, ressalta-se que tais variáveis foram apresentadas na seção anterior.

Para o desenvolvimento dos índices de conforto térmico, vários estudos foram realizados. Segundo Frota e Schiffer (2001), os primeiros trabalhos sobre conforto térmico foram desenvolvidos pela Comissão Americana de Ventilação, em 1916, e buscaram verificar a inter-relação entre as variáveis que influenciam no conforto térmico.

Com observação feita pela dada comissão, destaca-se a relação entre a temperatura e o trabalho/atividade. Em outros termos, foi notada uma queda de rendimento de um trabalhador em 15% quando a temperatura do ambiente passou de 20°C para 24°C. Além disso, percebeu-se que o rendimento do mesmo cai 28% para uma temperatura ambiente de 30°C e umidade relativa de 80% (ibid.). Neste contexto, com base nas observações, concluiu-se que a análise do conforto térmico não depende apenas de uma única variável, mas sim do seu conjunto para determinar se um indivíduo encontra-se ou não em estado de conforto.

Os estudos, como o destacado acima, são os responsáveis por avaliar o efeito conjunto das variáveis do conforto térmico e, conseqüentemente, criar os índices de conforto (LAMBERTS et al, 2016). Para tanto, os resultados das diversas pesquisas foram transformados em gráficos denominados de diagramas bioclimáticos (BARROSO-KRAUSE, 2005). Os diagramas bioclimáticos são também conhecidos por cartas.

Geralmente, para o desenvolvimento de tais índices, Frota e Schiffer (2001) afirmam que é feita a fixação do tipo de atividade e da vestimenta utilizada pelo indivíduo para. Desta maneira, as variáveis ambientais são relacionadas e reunidas na forma de diagramas, destacando as inúmeras condições do ambiente que permitem respostas semelhantes por parte do ser humano.

De modo geral, os índices de conforto podem ser classificados em dois tipos, modelo estático ou adaptativo (LAMBERTS et al, 2016). No primeiro modelo, o homem é um simples receptor passivo do ambiente térmico, o Voto Médio Predito (PMV) é o índice mais conhecido deste modelo, e seu estudo foi feito em câmaras climatizadas. Lamberts et al (2011) afirmam que no modelo estático, também denominado por linha analítica ou racional, as variáveis ambientais e pessoais/subjetivas são manipuladas com o intuito de encontrar a melhor combinação possível entre elas, que seria uma situação confortável. Além disso, eles

salientam que o principal percussor da linha analítica é pesquisador Ole Fanger (1970), responsável pela realização de inúmeros experimentos na Dinamarca.

Por sua vez, o segundo modelo considera o ser humano como um agente ativo, que interage com o ambiente (LAMBERTS et al, 2016). Neste caso, o conforto térmico é avaliado em situações reais sem que haja o controle das variáveis ambientais e pessoais por parte do pesquisador, caracterizando, assim, uma pesquisa de campo. O interesse pelo modelo adaptativo se dá por dois motivos (LAMBERTS et al, 2011): devido os resultados obtidos em câmaras climatizadas diferir dos encontrados nos ambientes naturalmente climatizados e a constatação de que o ser humana parece aceitar um intervalo de temperaturas muito maior do que o proposto pelo método racional, consequência da capacidade do ser humano de adaptar-se ao ambiente em que vive.

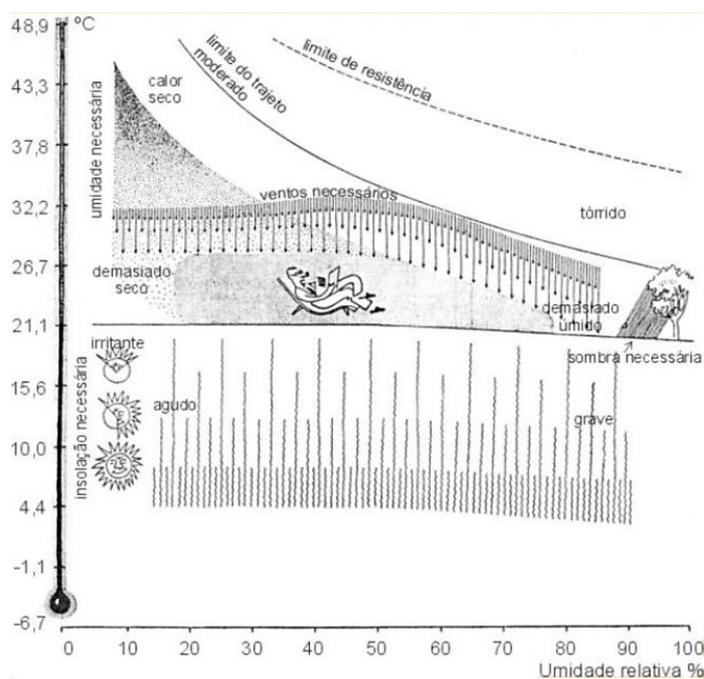
Com base no exposto, ressalta-se que o modelo adaptativo é o que mais se enquadra no estudo realizado no presente trabalho, pois se trata da análise de um ambiente naturalmente ventilado. Em vista disso, a discussão nesta seção enfatizará a respeito dos índices do modelo adaptativo.

Retomando a discussão sobre os índices de conforto, os irmãos Olgyay são os responsáveis por elaborar o primeiro diagrama bioclimático, que trata as necessidades de conforto térmico dos usuários e as condições climáticas do local como as condicionantes para as soluções de arquitetura (MASCARELLO, 2005). Neste panorama, eles são considerados os percussores do conceito de Arquitetura Bioclimática, ramo do conhecimento que correlaciona a Climatologia, a Biologia, e a Arquitetura.

De acordo com Maicel (2002), a carta bioclimática de Olgyay relaciona duas variáveis ambientais (a temperatura do bulbo seco e umidade relativa), propõe diretrizes para ventilação e uso da radiação no inverno, e considera o ser humano usando vestimenta comum e desenvolvendo trabalho sedentário. Além disso, Olgyay (1998 apud MASCARELLO, 2005) afirma que a zona de conforto fica dentro do intervalo de 23,3°C e 26,7°C, com umidade relativa entre 30% e 70%.

A carta bioclimática proposta por Olgyay, com as estratégias para obtenção do conforto térmico, pode ser observada na figura 4.

Figura 4 – Carta Bioclimática de Olgyay.



Fonte: Krüger 2013.

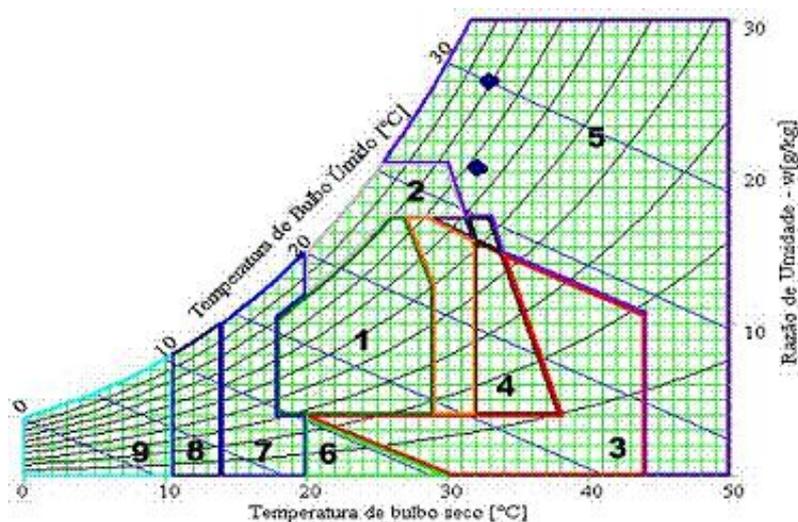
Apesar dos avanços feitos por Olgyay para os estudos de conforto térmico, a carta bioclimática sugerida possuía limitações. As principais restrições desta carta são sua aplicabilidade apenas para as condições externas à edificação e para latitude de 40°, região de clima temperado dos Estados Unidos (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; MACIEL, 2002).

Observando tais imposições, Olgyay, posteriormente, sugeriu adequações para a carta, recomendando um acréscimo de 2°C a 3°C no limite da zona de conforto para regiões com temperaturas mais elevadas, bem como um decréscimo no limite para locais com clima mais frios (MASCARELLO, 2005). Devido tais restrições, uma nova carta bioclimática foi elaborada por Givoni, em 1969, com o intuito de corrigir as limitações presentes no diagrama de Olgyay.

No que diz respeito às diferenças entre a carta de Olgyay e Givoni, destaca-se que a segunda se baseava nas temperaturas internas dos edifícios, sendo tais dados obtidos por meio de cálculos que projetam as temperaturas esperadas para o interior (BOGO, 1994). Além disso, de acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2004), a carta bioclimática de Givoni é adaptada sobre a carta psicrométrica. Este fato permite uma maior qualidade na informação tendo em vista que “possibilitou a delimitação de zonas de atuação, por meio de estratégias, visando à obtenção do conforto térmico” (SANSÃO, 2011, p. 32).

Em 1992, Givoni fez uma atualização em seu estudo, desta vez, levando em conta a característica da adaptação humana. Em outras palavras, Givoni considerou a influência da aclimatização, que afirma que as pessoas que moram em edifícios naturalmente ventilados aceitam mais facilmente a grande variação térmica (ALVES, 2011). Diante disso, o limite da zona de conforto térmico foi expandido para o mínimo de 18°C e máximo de 29°C. Na figura 5, observa-se a carta bioclimática sugerida por Givoni em 1992.

Figura 5 – Carta Bioclimática de Givoni (1992).



Fonte: Pereira e Souza, 2007.

Na carta bioclimática de Givoni é possível encontrar informações sobre temperatura do bulbo (seco e úmido) e umidade. A mesma está dividida em 12 partes, onde 9 delas representam estratégias bioclimáticas e 3 áreas híbridas que correspondem a duas ou mais estratégias.

Assim, Pereira e Souza (2007) destacam que as estratégias encontradas na carta de Givoni são: 1- Zona de Conforto; 2- Zona de Ventilação; 3- Zona de Resfriamento Evaporativo; 4- Zona de Massa Térmica para Resfriamento; 5- Zona de Ar Condicionado; 6- Zona de Umidificação; 7- Zona de Massa Térmica e Aquecimento Solar Passivo; 8- Zona de Aquecimento Solar Passivo; 9- Zona de Aquecimento Artificial.

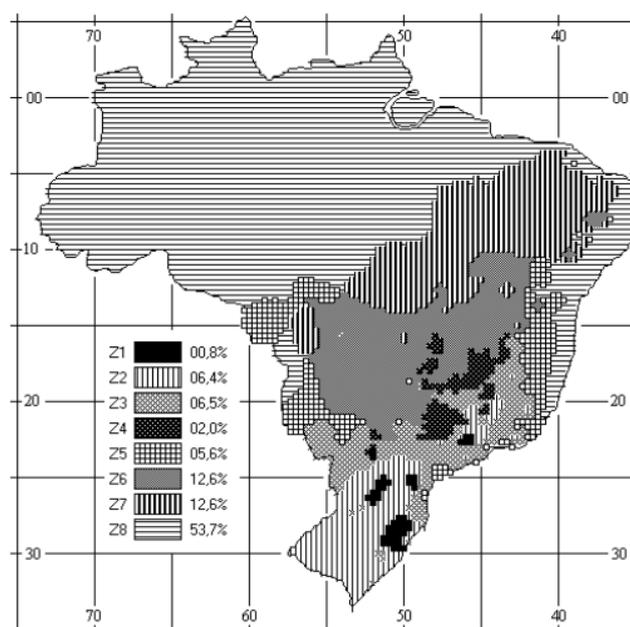
Ademais, afirma-se que os estudos comprovaram que a carta bioclimática de Givoni é apropriada para os países quentes, em desenvolvimento (RUPP, 2011). Neste sentido, a mesma foi usada como base para o desenvolvimento da carta bioclimática utilizada no Brasil (LAMBERTS et al, 2016).

2.2 Carta Bioclimática Brasileira

A carta bioclimática aplicada no Brasil foi baseada nos estudos de Givoni e pode ser encontrada na norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 15220 (2005). Esta norma está dividida em cinco partes, sendo a parte três responsável por tratar sobre o Zoneamento Bioclimático Brasileiro.

Nesta parte da norma, estão descritas recomendações de estratégias técnico-construtivas e condicionamento passivo para melhoria do desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social. Neste panorama, a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) divide o território brasileiro em oito zonas bioclimáticas e indica quais estratégias devem ser utilizadas em cada zona. Na figura 6, é possível observar o zoneamento proposto por Roriz, Ghisi e Lamberts (1999).

Figura 6 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro.



Fonte: ABNT, 2005.

Para realizar o zoneamento, o território brasileiro foi dividido em 6500 células quadradas, com lado de 36km, que eram caracterizadas segundo a posição geográfica, as médias mensais de temperaturas máximas e mínimas, e umidades relativas do ar. Nesse interim, é importante informar que 330 células possuíam dados climáticos medidos e para as demais foram realizadas interpolações (ABNT, 2005).

No que diz respeito ao diagrama bioclimático, salienta-se que a carta brasileira possui algumas adaptações em relação à carta de Givoni, pois ao aplicar o diagrama bioclimático original obteve-se um zoneamento onde climas admitidos como distintos foram agrupados em uma mesma zona e climas semelhantes ficaram em zonas diferentes.

Neste contexto, Roriz, Ghisi e Lamberts (1999) apresentam como adaptações feitas para a carta bioclimática Brasileira:

- Foram inclinados os limites de temperatura à esquerda e a direita da zona de conforto, pois pessoas sentem mais calor quando submetidas à alta umidade. Os limites originais (linhas verticais) não identificaram certos períodos reconhecidamente quentes de algumas cidades;

- A zona de conforto ficou dividida em duas subzonas: a zona D, com umidades relativas entre 30% e 50%; e a zona E, para umidades entre 50% e 80%. Esta medida permitiu constatar uma maior variedade de diferenças climáticas entre cidades;

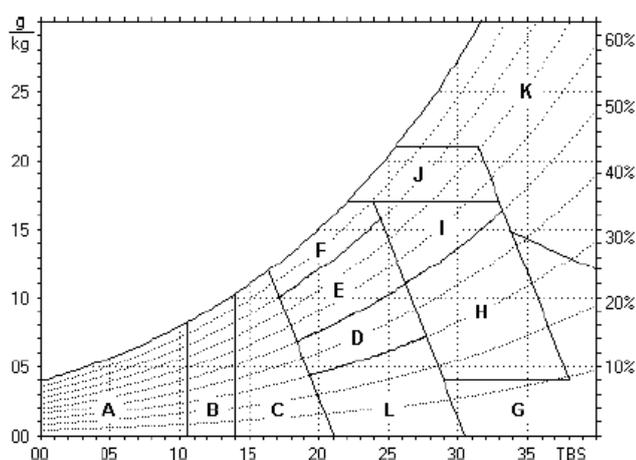
- Na carta adaptada, a estratégia de ventilação foi dividida nas zonas J e I, sendo a zona J aplicada apenas quando altas temperaturas forem conjugadas com altas umidades. Esta divisão possibilita distinguir a ventilação seletiva (noturna) da ventilação permanente;

- O limite inferior de umidade da zona de conforto passa a ser definido pela curva de umidade relativa (e não pela linha horizontal da umidade absoluta);

- Criou-se a zona F, para a qual se recomenda a substituição do ar úmido do interior pelo ar exterior mais seco. Esta zona exige taxas de ventilação menores que a zona J.

Diante do exposto, abaixo é possível observar a carta bioclimática brasileira com as adaptações supracitadas (Figura 7).

Figura 7 – Carta Bioclimática Adaptada ao Brasil.



Fonte: ABNT, 2005.

De acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005), cada área da carta corresponde a uma diretriz construtiva ou estratégia de condicionamento passivo, sendo: A) Sistema de aquecimento; B) Aquecimento solar da edificação; C) Massa térmica para aquecimento; D) Zona de Conforto Térmico (baixa umidade); E) Zona de Conforto Térmico; F) Desumidificação (renovação do ar); G + H) Resfriamento evaporativo; H + I) Massa térmica de refrigeração; I + J) Ventilação; K) Sistema artificial de refrigeração; L) Umidificação do ar.

Em suma, para saber quais estratégias devem ser utilizadas em cada zona, Martins, Bittencourt e Krause (2012) esclarecem que foram plotados na carta bioclimática adaptada pontos que corresponde às informações climáticas de cada célula, definindo-se assim uma reta por mês. Além disso, por meio do percentual do comprimento da reta mensal sobre as áreas delimita na carta, indica-se qual estratégia e frequência com que a mesma deve ser utilizada na edificação. Em vista disso, as células com estratégias semelhantes foram agrupadas em uma mesma zona (RORIZ; GHISI; LAMBERTS, 1999).

Com base nos resultados obtidos com o zoneamento, a NBR 15220-3 (2005) faz suas recomendações sobre o tamanho das aberturas para ventilação; proteção das aberturas; vedação externa (parede externa e cobertura); e estratégias de condicionamento térmico passivo.

2.3 Estratégias de condicionamento térmico passivo para o semiárido brasileiro

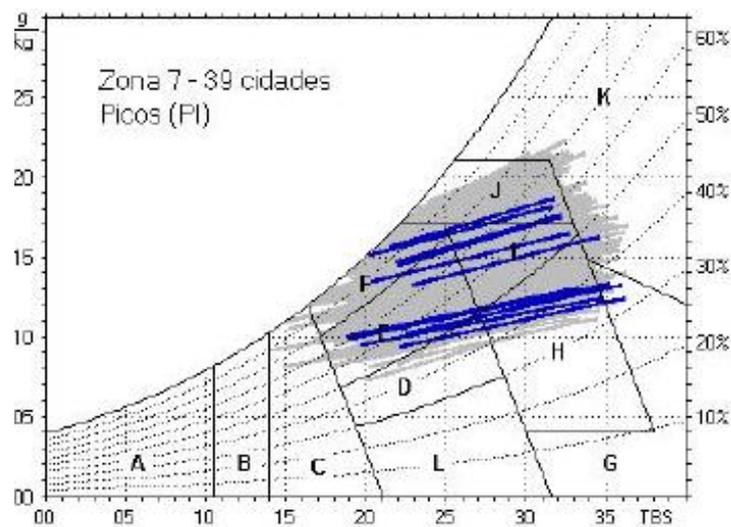
Tratado sobre os índices de conforto, o presente trabalho seguirá versando sobre as diretrizes construtivas e estratégias de condicionamento passivo que são voltadas para regiões com clima semelhante ao do município de Paulo Afonso-BA. Para tanto, será tomado como base às recomendações feitas em normas e pesquisas para cidades com clima semiárido. Assim sendo, salienta-se que a NBR 15220 (2005) admite que a cidade de Paulo Afonso está localizada na zona bioclimática 7, caracterizada pelo clima quente e seco.

Como discutido inicialmente, as estratégias bioclimáticas utilizadas em uma dada localidade estão intrinsecamente ligadas as suas condições climáticas. Neste interim, Vettorazzi, Russi, e Santo (2010) ressaltam-se que as estratégias de condicionamento térmico passivo variam conforme o clima de cada região, mas, geralmente, buscam utilizar de aspectos como a forma da edificação, o desempenho dos materiais e a disposição das aberturas, para favorecer o conforto dos usuários.

À luz dessa consideração, torna-se importante conhecer como os aspectos supracitados podem ser utilizados para se obter o conforto térmico nas edificações localizadas na região semiárida. Assim sendo, o primeiro aspecto que será apresentado aqui diz respeito à forma da edificação. Batista (2006), Barbosa e Lima (2010) sugerem que a forma dos edifícios dessa região deve ser compacta e oferecer a menor área da fachada possível para exposição à radiação solar. Desta maneira, a forma alongada, posicionando a face de maior dimensão da edificação volta para o Norte ou Sul, é a melhor alternativa para se evitar a insolação direta.

No que diz respeito ao desempenho dos materiais, a carta bioclimática da zona 7 traz algumas recomendações sobre este aspecto, bem como sobre as estratégias de condicionamento térmico passivo e construtivas que podem ser úteis para a região de clima semiárido do Brasil (Figura 8).

Figura 8 – Estratégias bioclimáticas para zona 7.



Fonte: ABNT, 2005.

Diante da distribuição dos dados climáticos sobre a carta acima, a norma recomenda o resfriamento evaporativo para melhoria do conforto térmico dentro das edificações durante o verão. Neste sentido, Lamberts, Dutra e Pereira (2014) esclarecem que a evaporação da água contribui no conforto reduzindo a temperatura e aumentando a umidade relativa do ambiente. Contudo, eles frisam que o resfriamento direto dos espaços interiores por meio da evaporação deve estar associado a uma boa taxa de ventilação para evitar acúmulo de vapor de água.

Diversos métodos podem ser empregados para realizar o resfriamento evaporativo. Desta forma, Barbosa e Lima (2010) sugerem o uso da vegetação, fontes de água ou outros recursos que possibilitem a evaporação da água. Outra forma de atingir essa estratégia é por

meio do uso de tanques d'água sombreados executados sobre a laje de cobertura (LAMBERTS et al, 2016)

Além do resfriamento evaporativo, a carta sugere associar tal medida com a utilização de massa térmica para o resfriamento por meio de cobertura e paredes pesadas. Neste panorama, Lamberts et al (2016) enfatizam que o uso de materiais com alta capacidade térmica diminui a amplitude da temperatura interior em relação a exterior, ao longo do ano, fazendo com que os picos de temperatura observados externamente não sejam sentidos internamente.

Ademais, Medeiros, Nome e Elali (2012) assumem que o uso da inércia térmica em regiões de clima quente e seco, caracterizado por altas temperaturas durante o dia e baixas temperaturas durante a noite, permite o atraso das ondas de calor. Neste sentido, o calor armazenado durante o dia é devolvido ao ambiente somente a noite, quando a temperatura do ar está mais amena (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA; 2014).

Durante o verão, a NBR 15220 (2005) ressalta, também, para o uso da ventilação seletiva, principalmente, nos períodos em que a temperatura interna seja superior à externa. Assim sendo, Givoni (1994), Lamberts, Dutra e Pereira (2014) afirmam que em regiões áridas, onde a temperatura diurna é superior a 36°C, o resfriamento convectivo é mais adequado durante a noite, pois a ventilação diurna implica em ganhos de calor para o interior da edificação. De acordo com o exposto, percebe-se que a ventilação natural, como uma estratégia importante para o condicionamento passivo, requer certo cuidado ao ser aplicada no dia-a-dia da edificação.

Neste cenário, ao realizarem um estudo no semiárido alagoano (Pão de Açúcar), Martins, Bittencourt e Krause (2012) observaram que a estratégia supracitada tem um impacto positivo não apenas no período do verão. Na época do inverno, percebeu-se que a ventilação natural pode ampliar a zona de conforto, quando usada adequadamente em determinados meses do ano.

Para o melhor aproveitamento da ventilação dentro da edificação, Lamberts et al (2016) sugerem também o uso de estratégias construtivas que permitem a ventilação cruzada. Para isto, as aberturas devem ser dispostas de modo que o vento entre e, antes de sair, percorra o ambiente interno.

Vale advertir que mesmos com os benefícios provindos da ventilação natural, nem sempre é possível atingir o conforto com o uso da mesma. Consequentemente, Lamberts, Dutra, e Pereira (2014) explicam que em algumas horas do ano é imprescindível o uso de condicionamento artificial, estratégia que gera o consumo de energia elétrica.

Retomando a discussão sobre o desempenho da ventilação no edifício, a NBR 15220 (2005) faz duas sugestões para as aberturas das edificações da região semiárida. A primeira diz respeito ao tamanho desses elementos. Neste contexto, destaca-se que as aberturas devem ser pequenas, como área entre 10 e 15% em relação à extensão do piso. A segunda recomendação feita pela norma é sobre o sombreamento das aberturas.

À luz dessa consideração, Batista (2006) esclarece que o dimensionamento das aberturas deve ser realizado de modo a evitar a radiação solas nos horários mais quentes do dia e, ao mesmo tempo, permitir a penetração da luz natural e ventilação necessária nos períodos aconselháveis. Para a cidade Paulo Afonso-BA, o software Climaticus, desenvolvido pelo Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética do Departamento de Tecnologia da Arquitetura da Universidade de São Paulo (LABAUT, 2011), recomenda o uso do sombreamento principalmente no período que vai das 9 horas até as 19 horas (Figura 9).

Figura 09 – Recomendações de sombreamento para a cidade de Paulo Afonso-BA.

horários de sombreamento - aplicar na carta solar												
hora	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
5	conf	aquece	conf	conf	conf	conf						
6	conf	conf	conf	conf	conf	conf	aquece	aquece	conf	conf	conf	conf
7	conf	aquece	conf	conf	conf	conf						
8	conf											
9	sombra	conf	conf	conf	sombra	sombra						
10	sombra											
11	sombra											
12	sombra											
13	sombra											
14	sombra											
15	sombra											
16	sombra											
17	sombra											
18	sombra											
19	sombra	sombra	sombra	sombra	sombra	sombra	conf	conf	sombra	sombra	sombra	sombra

Fonte: adaptado de LABAUT, 2011.

Para sombrear as aberturas, pode-se utilizar a arborização ou elementos arquitetônicos como, por exemplo, beirais, pérgolas, cobogós, brise-soleils, light shelf, toldos, cortinas, persianas, entre outros dispositivos.

Várias vantagens e desvantagens podem ser citadas sobre os tipos de protetores solares assinalados acima. Contudo, Silva e Amorim (2008) esclarecem que os brise-soleils, por serem protetores solares externos, são mais eficientes, pois bloqueiam o calor antes de entrar na construção, reduzem as cargas térmicas, melhoram a distribuição da iluminação, permitem a ventilação e diminuem o consumo de energia. Diante disso, Medeiros, Nome, e Elali (2012) advertem para necessidade de se pensar no desenho dos elementos de proteção e na

flexibilidade do conjunto janela/protetor, de modo a permitir iluminação, ventilação, e sombreamento seletivo, quando necessário.

Com base nessa premissa, o trabalho seguirá tratando sobre o elemento de proteção solar escolhido para este projeto, o brise-soleil. Neste sentido, serão abordadas questões como o processo de desenvolvimento do brise-soleil, o uso deste elemento no Brasil e os aspectos projetuais intrínsecas ao mesmo.

2.4 Quebra-sóis: O uso de brise-soleil em edificações

A preocupação com a insolação nos edifícios é uma das características marcantes da Arquitetura Moderna, sendo Le Corbusier um dos principais nomes desse movimento. O mesmo também é considerado responsável pela criação do brise-soleil ou quebra-sol, elemento usado para controlar a incidência da radiação solar dentro das edificações sem obstruir a visão e ventilação (BITTENCOURT, 2004).

Esse elemento construtivo surgiu como resposta a um das tendências da arquitetura internacional, o uso do vidro nas fachadas. Neste interim, Weber (2005) afirma que, em meados da década de 20, Le Corbusier percebeu que o uso do vidro nas fachadas/aberturas dos seus projetos havia ocasionado problemas térmicos, acústicos e visuais para a edificação.

Dentre tais problemas, Bittencourt (2004) pontua o aumento no consumo de energia com ar condicionado devido à formação de um efeito estufa dentro dos ambientes fechados; em salas profundas, nota-se o ofuscamento nas proximidades das aberturas devido o alto nível de iluminância nestas áreas ou o maior consumo de energia para adequar a iluminação; e a redução drástica na iluminação quando é usado um elemento de proteção cerrada como a cortina. Em vista disso, diante das críticas destinadas aos seus projetos, Le Corbusier propôs a aplicação dos quebra-sóis como solução aos problemas supracitados (WEBER, 2005).

Diante dos benefícios observados, o uso do brise-soleil tornou-se uma característica marcante nas obras de Le Corbusier, sendo empregado em edifícios conhecidos internacionalmente como na unidade habitacional em Marselha, 1952. Ele também influenciou a arquitetura brasileira. Neste contexto, traços dos seus estudos com os quebra-sóis podem ser observados em edifícios do século passado como, por exemplo, na sede do Ministério da Educação e Saúde inaugurado em 1945 no Rio de Janeiro. Também, é notória a sua influência em obras mais atuais como na sede do SEBRAE de Brasília, concluída em 2010 (Figura 10).

Figura 10 – Uso do brise-soleil em edificações (a) Unidade Habitacional de Marselha (b) Ministério da Educação e Saúde (c) SEBRAE.



(a)



(c)



(c)

Fonte: Merel Pit, 2017; Viégas, 2017; Serapião, 2016.

Nos projetos citados acima, os quebra-sóis foram usados para atender as especificidades de cada localidade; conseqüentemente, nota-se que eles possuem formas e materiais distintos. À luz disso, Maragno (2000) explica que, no caso do prédio do Ministério da Educação e Saúde, foram usados estudos realizados por Le Corbusier para Barcelona e Angel. A partir deles, um grupo de arquitetos brasileiros aperfeiçoou a ideia inicial e propuseram o sistema que combina placas verticais fixas com horizontais moveis. Ademais, Corbella e Yannas (2010) admitem que as placas horizontais basculantes feitas de fibrocimento foram colocadas apenas na fachada norte, enquanto que a fachada sul é constituída apenas por uma lamina continua de vidro simples.

Diante do exposto, de acordo com Frota e Schiffer (2001), para proteger a envoltória de um edifício da radiação solar, seja com elementos construídos ou naturais, é necessário

determinar a posição do Sol para uma dada localidade e época do ano em que se deseja barrar os raios diretos nas fachadas. Em vista disso, faz-se importante conhecer sobre as noções básicas da Geometria da Insolação, que são necessárias para o dimensionamento dos brise-soleils.

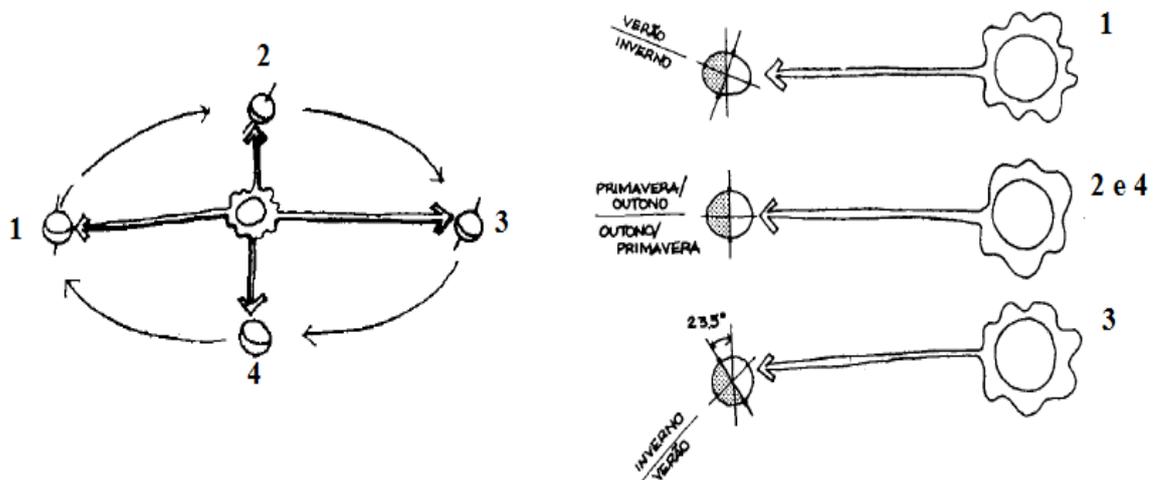
2.4.1 Geometria da insolação e processo de dimensionamento de brise-soleil

Como ressaltado anteriormente, os principais parâmetros de dimensionamento dos brise-soleils estão intrinsecamente ligados ao ângulo de incidência da radiação solar. Este, por sua vez, depende do movimento de translação e o ponto sobre a superfície terrestre tomado como referência. Desta maneira, no que tange a translação, sabe-se que o centro de gravidade da Terra gira em torno do Sol, formando uma elipse.

Segundo Bittencourt (2004), a excentricidade da elipse é responsável pela variação do fluxo de energia solar recebido na Terra, sendo o valor máximo observado no solstício de verão, o mínimo no solstício de inverno e o ponto intermediário nos equinócios (21 de março e 23 de setembro). Vale destacar que no hemisfério sul, o solstício de verão ocorre no dia 22 de dezembro e o solstício de inverno acontecem em 22 de junho.

Discutindo ainda sobre a translação da Terra, Weber (2005) afirma que o planeta realiza este movimento com uma inclinação constante de $23^{\circ} 27'$ entre o plano que corta a linha do Equador e o plano elíptico. De forma análoga, esta inclinação também interfere na quantidade de radiação solar recebida pela Terra ao longo do ano, define a posição dos trópicos e as estações do ano (Figura 11).

Figura 11 – Posição da Terra em torno do Sol ao longo do ano.



Fonte: adaptado de Romero, 2000.

Com base no exposto, na figura 11 está representada a posição do planeta Terra em relação ao Sol ao longo do ano, sendo 2 e 4 os equinócios, 1 o momento do solstício de inverno e 3 o momento do solstício de verão no hemisfério sul. A partir da imagem, também, é possível visualizar como a radiação solar atinge a superfície terrestre, definindo as diferentes estações do ano.

Além disso, sabe-se que o planeta gira em torno do seu próprio eixo. Entretanto, diferente da translação, o movimento de rotação, que provoca a ocorrência dos dias e noites em um intervalo de 24 horas, não tem grande influência na Geometria da Insolação, logo, no dimensionamento dos dispositivos de proteção.

Outro aspecto que deve ser levado em conta no estudo da Geometria da Insolação é a posição de um objeto sobre a superfície terrestre. Neste aspecto, Weber (2005) afirma que a latitude tem um grande controle sobre a insolação já que determina a distância que os raios oblíquos do Sol têm que percorrer até chegar ao planeta.

Em vista disso, a posição de um ponto sobre a Terra é referenciado segundo a latitude e longitude. Assim, a latitude toma como base a linha horizontal que passa pelo Equador (posição de 0°). Ela aumenta ao se dirigir no sentido dos polos, podendo atingir até 90° norte ou sul. Neste interim, Romero (2000) diz que a temperatura média do ar diminui em direção aos polos, mas as isotermas não obedecem às linhas paralelas. Este fato deve-se à variação, ao logo da superfície terrestre, da altitude, ventos, correntes marítimas, entre outros aspectos. Ademais, destaca-se que a longitude não tem tanto importância quanto à latitude em termos da incidência da radiação solar (WEBER, 2005).

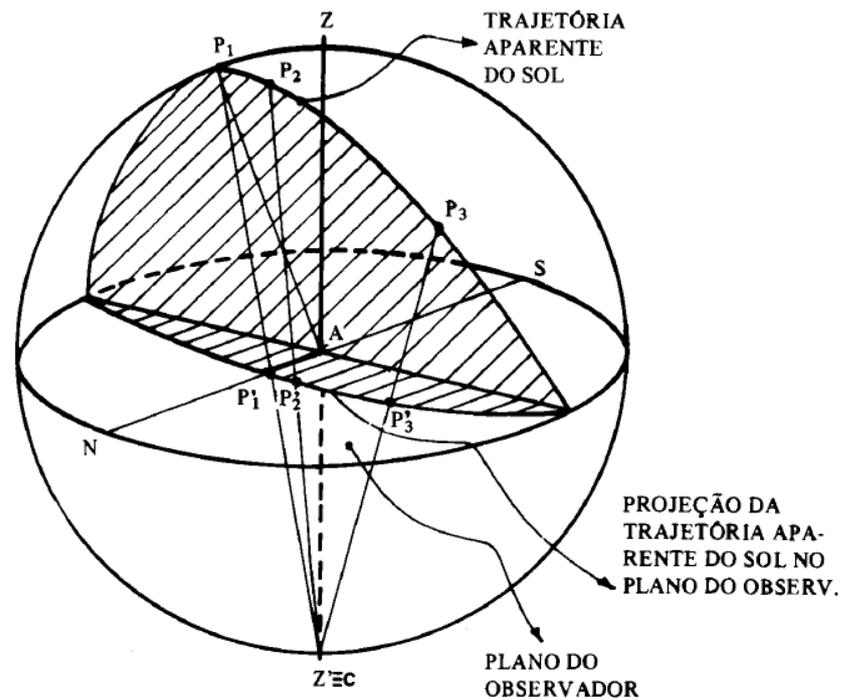
Conhecido os principais aspectos que interferem na quantidade e na forma como a insolação atinge a superfície terrestre, o próximo passo para dimensionamento dos quebra-sóis é encontrar o ângulo de incidência da radiação do Sol. Para tanto, faz-se necessário conhecer dois parâmetros: a altura solar e o azimute. De acordo com Frota e Schiffer (2001), a altura solar é medida tomando como referência um plano horizontal que contém um observador e corresponde ao ângulo formado entre esse plano e o Sol. Por sua vez, o azimute é medido no plano horizontal e, representa o ângulo formado entre o norte verdadeiro e o ponto de projeção do Sol no plano horizontal.

Neste contexto, para uma dada latitude é possível encontrar a altura solar e azimute para cada hora e dia do ano. Para facilitar os estudos, todas essas informações podem ser projetadas em um plano horizontal, formando, assim, os Diagramas ou Cartas Solares.

Desta forma, para obter a Carta Solar de uma latitude, é observado o movimento realizado pelo Sol na abóboda celeste ao longo dos dias. Assim sendo, segundo Frota e

Schiffer (2001), na construção desse instrumento de medida, a trajetória aparente do Sol na abóboda celeste é projetada no plano do observador para as diferentes horas e dias do ano (Figura 12).

Figura 12 – Projeção estereográfica de uma trajetória aparente do sol.

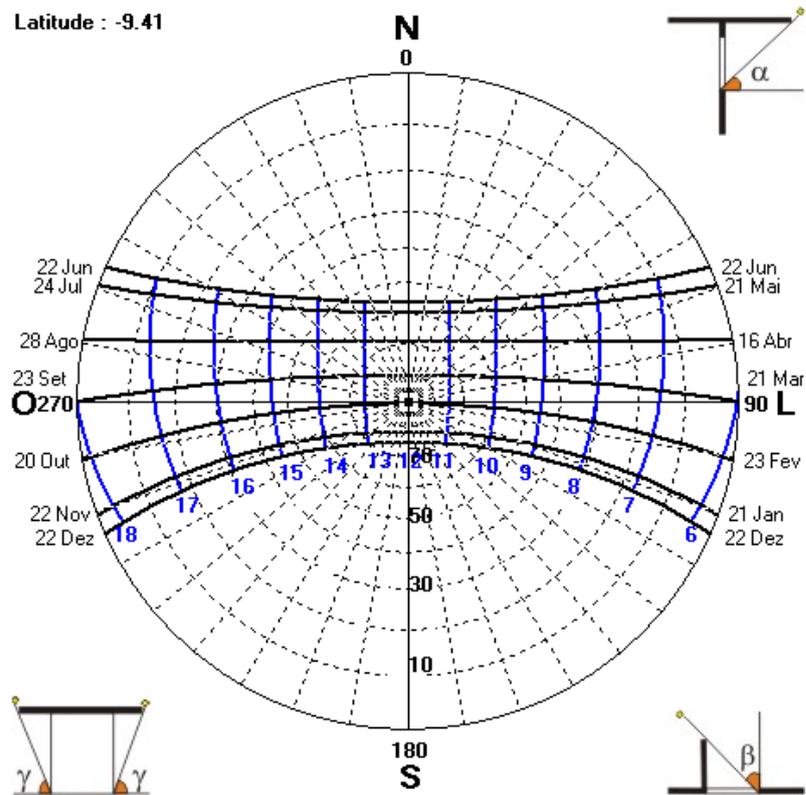


Fonte: Frota e Schiffer, 2001.

Na figura acima, é apresentada a projeção do percurso realizado pelo Sol na abóboda celeste durante um dia, sendo o ponto P1 equivalente ao momento em que o Sol atinge a altura máxima, ou seja, meio dia. Seguindo essa linha de raciocínio, após a projeção da trajetória para diferentes horas e dias do ano, é possível obter a carta solar para uma determinada latitude.

Na figura a seguir está representada a carta solar para a latitude $9^{\circ}24'$ sul – mesma latitude da cidade de Paulo Afonso – BA. Neste contexto, destaca-se que as linhas em preto (posição horizontal) e azul (posição vertical) correspondem, respectivamente, a posição do Sol para diferentes dias e horas do ano (Figura 13).

Figura 13 – Carta solar para 9,41° sul.



Fonte: LabEEE, 2009.

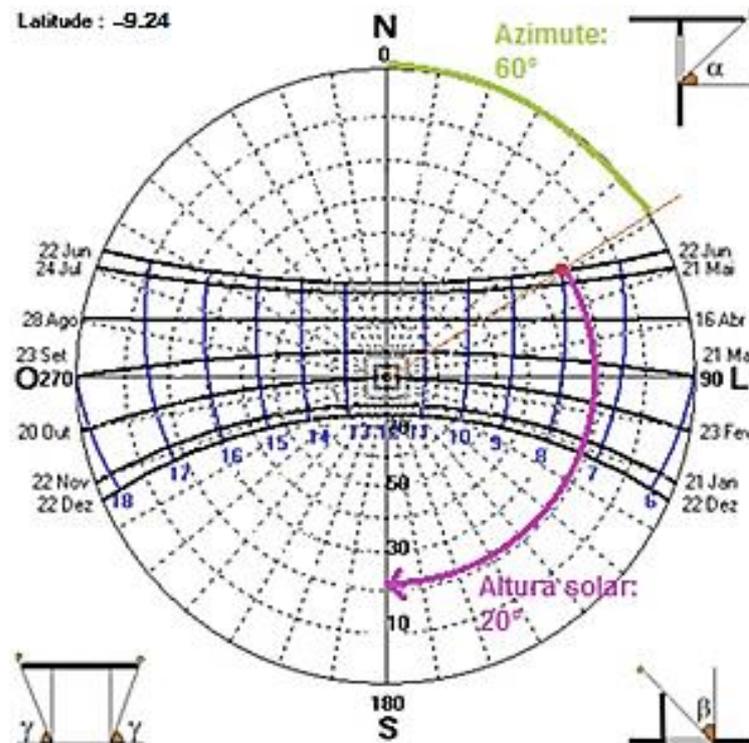
É importante salientar que o diagrama solar acima possui certa assimetria devido à influência da latitude. Nestes termos, Bittencourt (2004) frisa que para menores latitudes, o percurso realizado pelo Sol ao longo do ano tende a ser simétrico em relação ao eixo Leste – Oeste.

Na carta solar também é possível encontrar o azimute e altura solar para uma determinada hora e dia do ano. Desta maneira, Bittencourt (2004) explica que para descobrir a altura solar do dia e hora desejado, basta projetar a posição do Sol do plano da carta na escala angular que se encontra no eixo Norte/Sul.

Por sua vez, o mesmo também esclarece que para descobrir o azimute, traça-se uma reta saindo do centro e passando pelo ponto (data e hora) que deseja ser analisado. Assim, o azimute será o ângulo formado pela reta traçada e o eixo Centro/Norte.

Para melhor compreensão, a imagem a seguir detalha como encontrar o posicionamento do Sol utilizando a carta solar (Figura 14).

Figura 14 – Determinação do azimute e altura solar para latitude $9^{\circ}24'$ sul.



Fonte: Adaptado LabEEE, 2009.

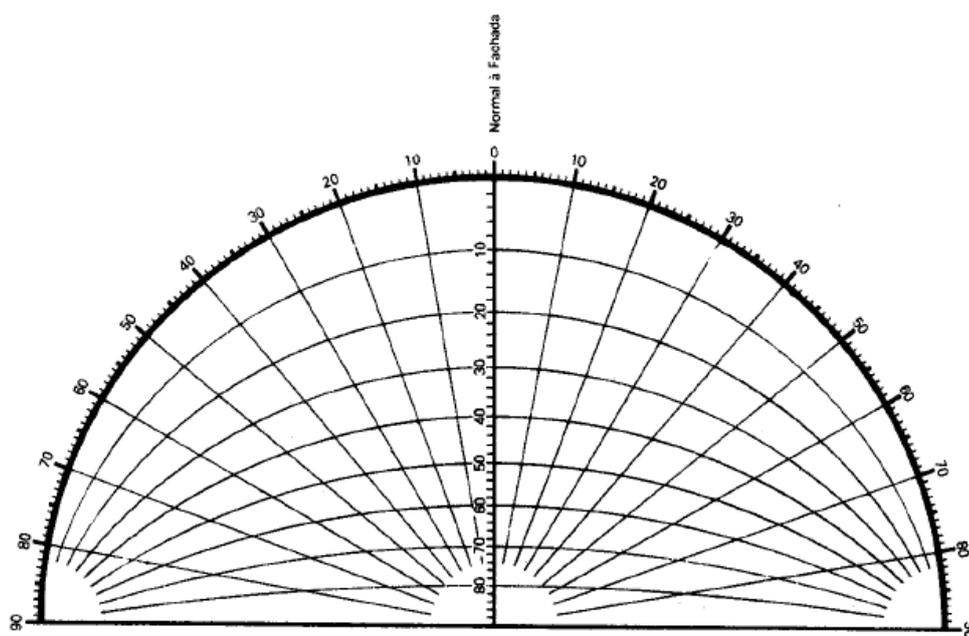
À título de ilustração, na figura acima está marcado o azimute e altura solar do dia 22 de junho às 8 horas para a latitude $9^{\circ}24'$ sul. Conforme explicado anteriormente, o primeiro passo é definir o ponto (dia e hora) que se deseja estudar. Em seguida, fazendo a projeção do ponto no eixo Norte/Sul, determina-se que a altura solar neste momento do ano é de, aproximadamente, 20° . Por sua vez, o azimute será o ângulo formado entre o eixo vertical e a reta traçada em laranja. Assim, como o intervalo entre cada linha pontilhada radial tem 10° , o azimute para o ponto analisado será de, aproximadamente, 60° . Tais informações são úteis para entender como a radiação está atingindo as fachadas de uma edificação em cada época do ano.

Apresentada como se determina o ângulo de incidência da radiação solar, Weber (2005) afirma que o próximo passo para o projeto do quebra-sol é definir os dias e horas em que se deseja proteger as aberturas. Afora, Frota e Schiffer (2001) assumem que o dispositivo de proteção será eficaz apenas quando barrar a radiação solar direta no período que se julga apropriado. Na visão de Givoni (1994, p. 23, tradução nossa) “a entrada da radiação solar através de grandes janelas durante o verão pode aumentar a temperatura dentro da edificação, causando, assim, desconforto e aumento na carga de arrefecimento do edifício”. Em vista disso, no que o período de proteção das aberturas, é recomendado usar os quebra-sóis quando

a radiação solar gerar o aumento da temperatura do ar interno ocasionando, simultaneamente, diminuição no conforto térmico (NETO, 1995). Ou seja, os dispositivos de proteção devem promover sombra às aberturas nos períodos em que os raios solares diretos aquecem as superfícies internas, levando o aumento da temperatura do ar do ambiente (ibid.). Outrossim, destaca-se que este sombreamento pode ser também determinado com o auxílio das cartas solares.

Nesse panorama, salienta-se que “a máscara de sombra é a representação gráfica, nas Cartas Solares, dos obstáculos que impedem a visão da abóboda celeste por parte de um observador localizado em um local qualquer” (BITTENCOURT, 2004, p. 45). De acordo com Frota e Schiffer (2001), o traçado da máscara de sombra é feito a partir de um método gráfico (projeções estereográfica), que utiliza os ângulos de sombras gerados pelo dispositivo de proteção externo em relação ao ângulo de incidência dos raios solares. Para encontrar os ângulos de sombra (α, β, γ), utiliza-se o transferidor auxiliar de traçado de máscara de sombras, que é constituído por projeções estereográficas e deve acompanhar a Normal de cada fachada (Figura 15).

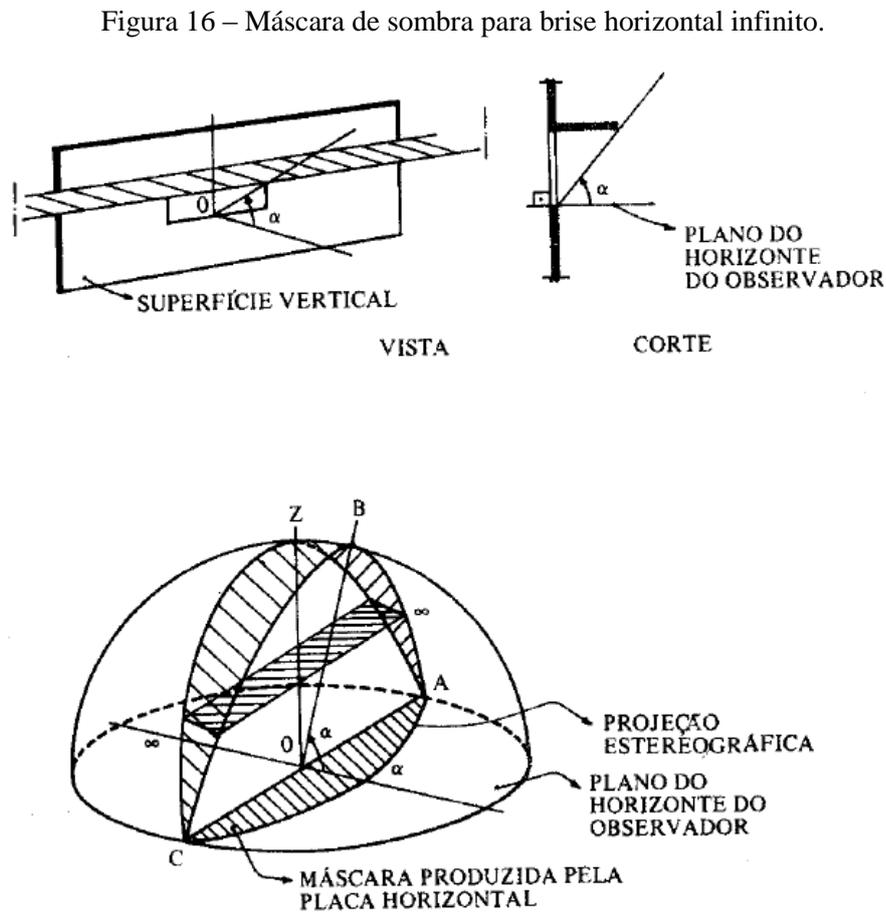
Figura 15 – Transferidor auxiliar.



Fonte: Frota e Schiffer, 2001.

No transferidor auxiliar representado acima, é importante esclarecer que as linhas parabólicas e radiais são usadas para encontrar, respectivamente, o ângulo α e β das placas dos brise-soleils. Neste sentido, admitindo uma abertura vertical, com uma placa horizontal

infinitamente grande na região superior de uma abertura, Frota e Schiffer (2001) explicam que essa placa impedirá a visualização de um observador situado na borda de baixo da abertura, a partir do ângulo de sombra vertical (α). Desta forma, na figura 16 está representada a máscara de sombra referente a um brise-soleil horizontal infinito.

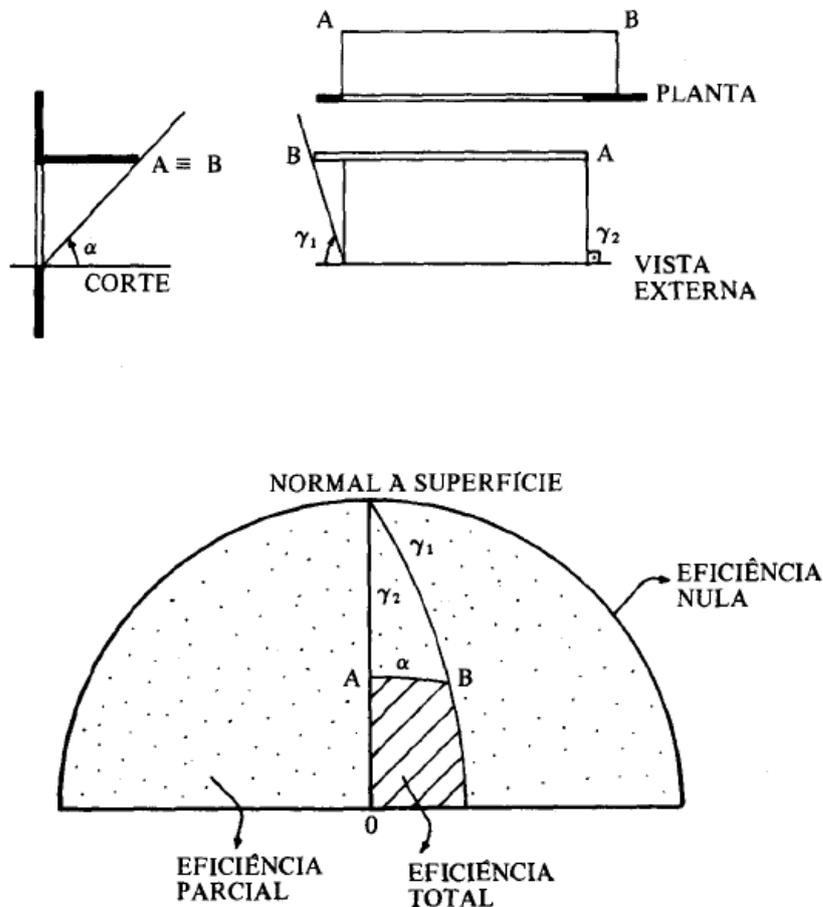


Fonte: Frota e Schiffer, 2001.

Como pode ser observado na imagem, o α corresponde ao ângulo formado entre a borda externa do protetor e o plano horizontal da região inferior da abertura. Assim, quando o Sol tiver uma altura solar igual ou maior que α , a radiação direta não penetrará a abertura. No projeto arquitetônico, esse ângulo pode ser visualizado no corte.

No caso das placas horizontais finitas, o ângulo α é definido/encontrado da mesma forma. Todavia, neste caso aparecerá o ângulo γ , medido da borda lateral externa do protetor até a borda inferior da janela, como pode ser visto na figura 17.

Figura 17 – Máscara de sombra para brise horizontal finito.



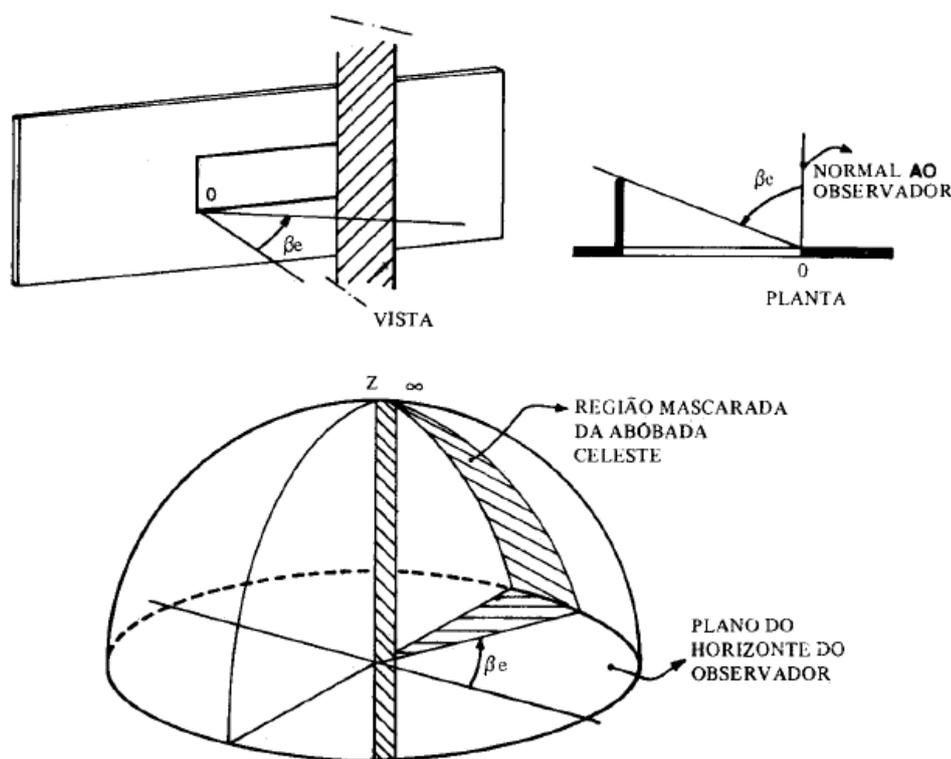
Fonte: Frota e Schiffer, 2001.

No exemplo da figura acima, percebe-se a existência de dois ângulos γ , sendo o primeiro (lado esquerdo) menor que 90° e o segundo igual a 90° . Para tal situação, a máscara de sombra está desenhada na carta ao lado, sendo eles medidos com o transferidor auxiliar.

No que tange as recomendações no uso dos brises horizontais, Maragno (2000) explica que a posição horizontal para os dispositivos de proteção é mais indicada quando se deseja combater a radiação nos horários em que o Sol está mais alto. Logo, afirma-se que o mesmo tem pouca eficiência nas primeiras e últimas horas do dia, pois a altura solar é baixa nesses períodos do dia.

Por sua vez, para um brise vertical de comprimento infinito, Frota e Schiffer (2001) afirmam que o dispositivo barrará a visão do observador localizado no peitoril, a partir de um ângulo β até o limite da fachada. Vale salientar que o ângulo β será medido de acordo com o lado em que a lamina está situada na esquadria (Figura 18).

Figura 18 – Máscara de sombra para brise vertical infinito.



Fonte: Frota e Schiffer, 2001.

Com base na figura acima, afirma-se que o β é o ângulo formado entre a reta normal ao observador e a borda externa do protetor, sendo possível também observar a projeção da máscara de sombra desta placa na carta solar. No projeto arquitetônico, o referente ângulo será ressaltado na planta baixa, como está detalhado na imagem acima.

Nos estudos de máscara de sombra destacados acima, tomou-se como base o ângulo externo de sombra externo ao brise. Mas, alguns softwares e autores utilizam como referência para a máscara de sombra, o ângulo formado entre o brise e a parede (ângulo interno).

Sobre as recomendações feitas aos protetores verticais, Margano (2000) assume que esses são mais eficientes quando se deseja impedir a radiação solar com ângulos oblíquos em relação às fachadas norte, nordeste e noroeste, para o hemisfério sul, durante os início e final do dia. Para o brise de comprimento finito, adverte-se que a eficiência será total apenas para o Sol na linha horizonte (menores altura), pois, na situação contrária, a radiação poderá entrar na abertura por meio dos pontos superiores (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Assim, diante do exposto, percebe-se que os protetores solares podem ser empregados de diferentes formas, variando segundo o ângulo de radiação, orientação das fachadas e sombreamento desejado.

Além disso, afirma-se que em alguns casos os dispositivos acima podem não ter eficiência total. Em vista disso, segundo Givoni (1994, p. 29, tradução nossa):

Existem muitos equívocos relacionados ao melhor tipo de quebra-sol para janelas orientadas a leste e oeste. Em muitos livros e artigos, é posto que os dispositivos verticais são mais efetivos que os dispositivos horizontais de mesma profundidade. De fato, realmente os dispositivos fixos horizontais para tais orientações são muito eficientes no verão, mas nenhum deles pode promover completo sombreamento.

Com base nessa premissa, percebe-se que os dois tipos de brise-soleils descritos anteriormente também podem ser aplicados simultaneamente nas aberturas, formando os protetores mistos ou combinados. Assim sendo, segundo Bittercourt (2001), os protetores mistos, quando usados corretamente, se complementam, alcançando vantagens de custo, visibilidade, luminosidade natural e ofertando entre outros benefícios.

Além da classificação acima, os protetores também podem ser distinguidos quanto à sua mobilidade em: fixos ou móveis. Nesse panorama, Maragno (2001) afirma que os fixos são mais fáceis de instalar e manter; indicados para os menores ângulos solares da fachada norte do hemisfério sul; e construídos conforme estudos prévios. Por sua vez, ele salienta que os móveis permitem ser adequados conforme a necessidade de mais ou menos luz; são mais empregados para grandes ângulos de incidência nas fachadas leste e oeste; e devem ser de fácil uso para que suas inclinações sejam ajustadas para os diferentes períodos do ano.

No mais, os dispositivos de proteção podem ter diferentes formas, cores e materiais. De acordo com Bittencourt (2001), os quebra-sóis tem melhor desempenho quando são aplicadas cores claras, pois maior parte da radiação é refletida. Além disso, ele recomenda que os dispositivos de proteção fiquem afastados das aberturas para evitar que o calor seja transmitido para o interior por meio da condução. Com base no exposto, afirma-se também que, materiais com baixa condutividade térmica são os mais adequados, pois evitam/retardam a passagem do calor ao interior das edificações.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este projeto é caracterizado, segundo seu objetivo geral, como pesquisa-ação tendo em vista que são feitas sugestões de mudanças para a realidade do ambiente estudado. Neste contexto, admite-se que tais propostas buscam, sobretudo, solucionar e/ou minimizar as consequências da problemática analisada, impacto da radiação solar no conforto térmico. No que diz respeito aos procedimentos aplicados para o desenvolvimento deste projeto, destacam-se:

- Realização de revisão bibliográfica sobre o tema central desta pesquisa, assim como, temas correlatos, como pode ser observado nas seções anteriores. Paralelamente, realizou-se um levantamento documental sobre o objeto de estudo. Para tanto, buscou-se, junto à prefeitura e outros órgãos, informações referentes ao município e conjunto habitacional analisado (Condomínio Tancredo Neves);
- Caracterização do objeto de estudo. Neste momento, os documentos coletadas na etapa anterior foram analisados a fim de conhecer o município em termos de clima e políticas de planejamento urbano. De modo análogo, também foram observadas as informações recolhidas sobre o condomínio, sendo todas elas apresentadas logo mais adiante;
- Dimensionamento dos protetores solares (brise-soleil). Para desenvolvimento desses, foram analisados os horários do ano em que a estratégia de sombreamento é mais adequada para localidade. Além disso, foi utilizado o software SOL-AR;
- Após projetar os brises, foram estimados os ganhos de calor através das janelas para a situação com e sem brises. Para tanto, foi aplicado o método simplificado de cálculo de ganhos de calor associado à radiação solar;
- Por fim, foram organizados e analisados os dados de ganhos térmicos para os dois modelos;

3.1 Caracterização do objeto de estudo

3.1.1 Informações gerais

Em 1958, foi criado o município de Paulo Afonso – BA através da sua emancipação do município de Glória. A cidade surgiu e tem seu desenvolvimento urbano ligado à

implantação da Usina Hidroelétrica de Angiquinho em 1913 que, posteriormente, foi substituída pelo Complexo Hidroelétrico de Paulo Afonso. Este complexo foi construído pela Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF) e teve suas obras iniciadas por volta do início da década de 1950. Ele é formado pelo conjunto de usinas Paulo Afonso I, II, III, IV e Apolônio Sales (Moxotó) que juntas geram, aproximadamente, 4.279,6 megawatts de energia (PAULO AFONSO, 2016).

Antes de iniciar as obras das usinas, foi construído um acampamento para acomodar os operários na localidade. A vila da CHESF, como era chamada, foi planejada segundo o urbanismo moderno, modelo cidade jardim, e era subdividida em vila dos operários, técnicos e engenheiros (OLIVEIRA, 2005 apud PAULO AFONSO, 2016). Enquanto isso, na parte externa do acampamento crescia a Vila Poty, formada por retirantes que chegavam buscando emprego ou desenvolver alguma atividade comercial na região (ibid.).

Em torno de 1986, o muro que separava o acampamento foi derrubado (SOUZA, 2002). A cidade continuou seu ritmo de crescimento territorial e populacional até o modelo atual. Porém, ainda hoje, é notória a característica heterogênea proveniente da época de criação do município (Figura 19).

Figura 19 – Vista aérea da Ilha de Paulo Afonso, Bahia.



Fonte: Agravo, 2013.

Na figura acima é possível perceber a estrutura atual do município de Paulo Afonso-BA. De acordo com o último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, a população do município para o ano 2015 era estimada em 119.214 habitantes. Este contingente populacional encontra-se distribuído em uma área de 1.579,723 km² (IBGE, 2010).

No que tange a localização, o município encontra-se situada na margem do Rio São Francisco, a uma distância de aproximadamente 460 km da capital, Salvador. A sede possui as coordenadas geográficas: 09° 24' 22" sul e longitude 38° 12' 53" W, com altitude de 243m. Ademais, destaca-se que o posicionamento de Paulo Afonso pode ser considerado estratégico, visto que ele faz divisa com três estados do nordeste: Sergipe, Alagoas e Pernambuco.

Para conhecer a respeito das políticas que norteiam o planejamento de Paulo Afonso, foi realizada uma análise sobre alguns documentos como, por exemplo, o Plano Diretor, Código de Obras e Código de Meio Ambiente. Nesta análise, buscou-se verificar como é organizada a infraestrutura do município e tratada a questão de conforto térmico a nível urbano e das edificações.

O Plano Diretor (PD) é um dos principais instrumentos que orienta a política de desenvolvimento e de ordenamento da expansão urbana dos municípios. Neste contexto, cabe ao PD de Paulo Afonso (2016), “a normatização da ocupação urbana e rural, e regulamentação de instrumentos de proteção e recuperação da paisagem natural, objetivando a manutenção do equilíbrio ambiental no município”.

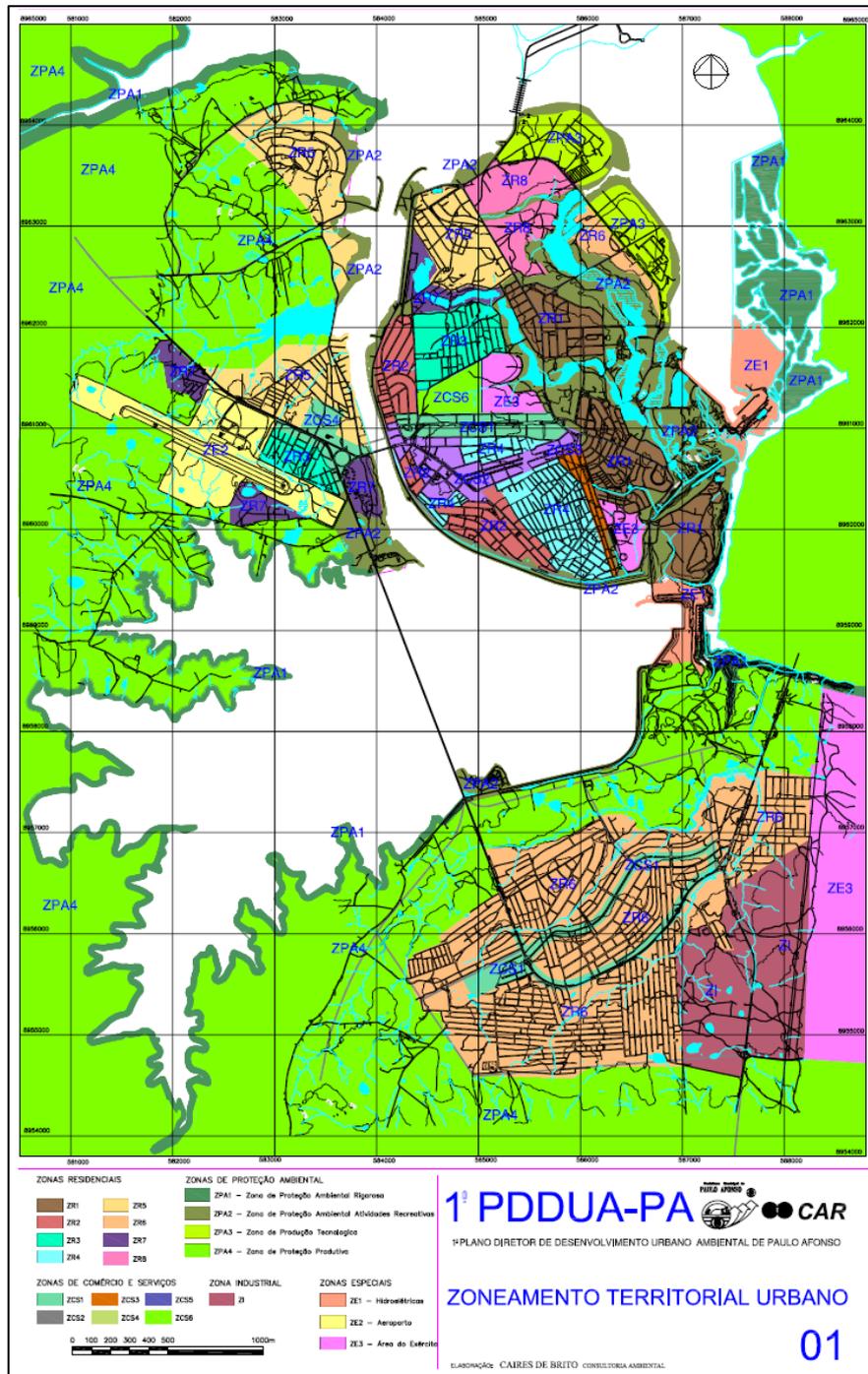
No documento de Diagnóstico do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental de Paulo Afonso (2016), percebe-se que a questão da qualidade/equilíbrio ambiental é um objetivo geral delimitado pelos gestores da localidade desde o PD de 2000, ou seja, antes mesmo da criação do Estatuto da Cidade.

Neste contexto, o inciso I do art. 5 do PD assume que para atingir o objetivo geral citado acima é recomendado realizar intervenções ambientais em escala macro, buscando, desta forma, melhorias nas condições climáticas e no conforto térmico do município (PAULO AFONSO, 2000). Para tanto, são sugeridas as seguintes ações:

[...] a efetivação de um amplo programa de proteção ao meio ambiente que inclua a consolidação e expansão do sistema de lagos para amenizar o microclima da cidade; arborização intensiva das ruas, avenidas e outros espaços públicos; e a criação de uma franja de proteção em torno da interface entre a cidade e a represa, para resguardar a qualidade da água e dos solos por meio de áreas arborizadas, praias e instalações públicas de turismo e lazer.

Apesar de reconhecer e discutir a respeito dos benefícios fornecidos pelas árvores para o clima urbano, o PD afirma que o município ainda não possui nenhum plano de arborização viária. No mais, o Código de Obras (2000) delimita o índice de uma árvore para cada 50m² nas zonas ZR1, ZR2, ZR3, ZCR, NU, ZC1 e ZC2, e uma árvore a cada 100m² nas zonas ZC3, ZAI e ZSR (Figura 20).

Figura 20 – Zoneamento Urbano do plano diretor em vigor.



Fonte: Plano Diretor do município de Paulo Afonso-BA, 2000.

Complementado a recomendação do Código de Obras, o art. 19 do PD assume que o sistema viário e os espaços públicos do município devem fornecer sombreamento, proteção da chuva e dos ventos, redução da radiação solar excessiva, por meio do uso da arborização para consolidar o melhoramento ambiental dos bairros (PAULO AFONSO, 2000). Assim sendo, percebe-se que o supracitado documento, além de perceber a função paisagística da arborização, destaca que ela tem um papel fundamental no conforto ambiental da cidade.

Desta forma, é importante acrescentar que a floresta urbana protege a população da ação dos ventos, proporciona melhorias na saúde mental e física da população, e absorve a poluição atmosférica, neutralizando as suas consequências sobre os cidadãos (VIRIATO, 2008). Ademais, nas regiões de clima quente e seco, como Paulo Afonso, a árvore é um elemento essencial tendo em vista sua capacidade de regular a umidade do ar.

Para conhecer as políticas empregadas para melhoria do conforto térmico em termos das construções, foram destacadas as recomendações presentes no Código de Obra. Nesse panorama, o primeiro ponto discutido no dado documento é sobre a composição das fachadas. Na seção VI do Código, admite-se que as fachadas devem ser construídas de modo a garantir as condições mínimas de conforto térmico, luminoso e acústico no interior das edificações. Além disso, assume-se que é permitida a projeção de quebra-sóis nas fachadas, sobre o afastamento com, no máximo, 0,50 m de profundidade (PAULO AFONSO, 2000).

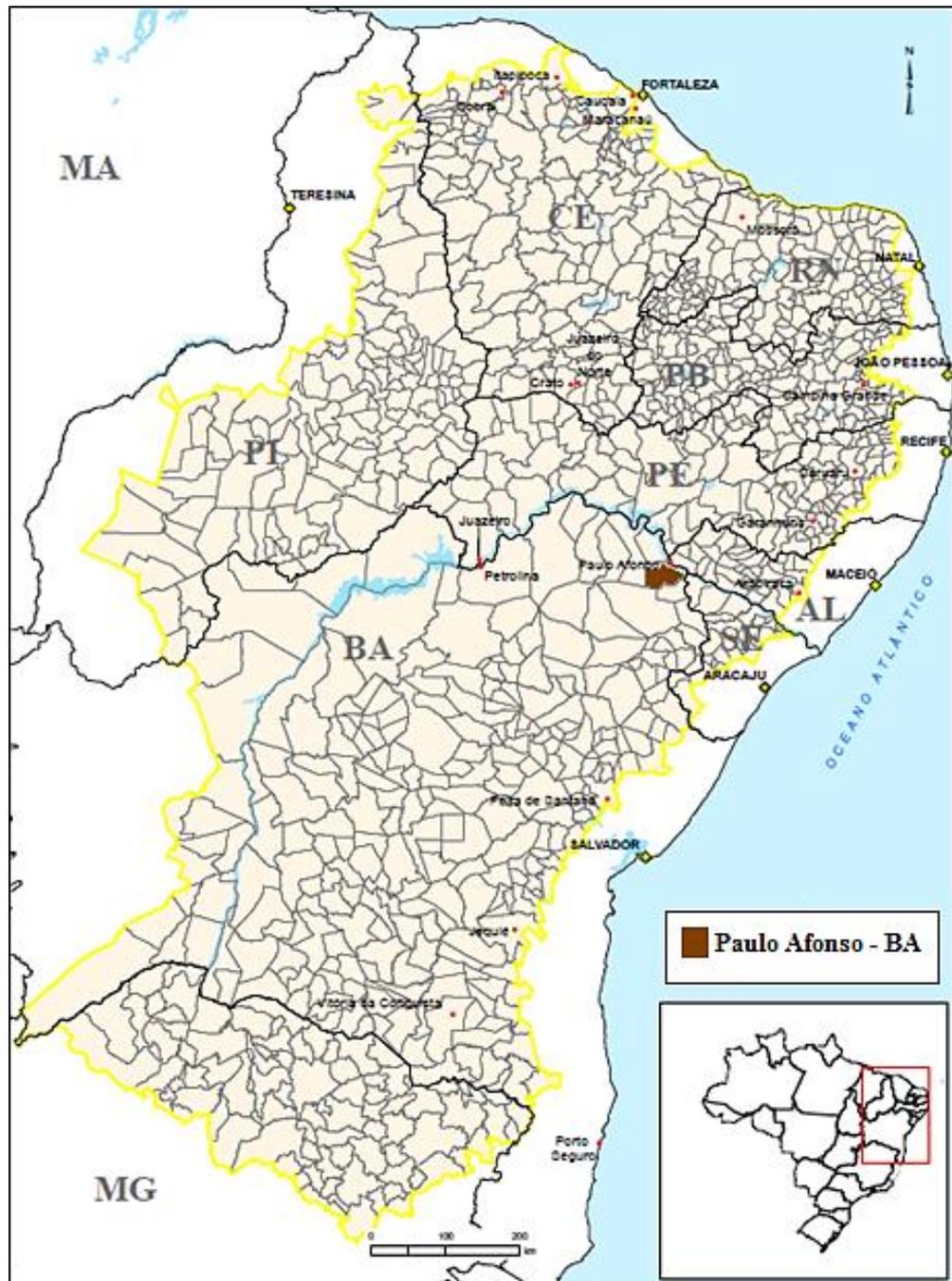
Para atender aos quesitos de ventilação e iluminação, o Código de Obras recomenda que “a vedação dos vãos de iluminação e ventilação dos compartimentos de permanência prolongada deverá prever proteção à luz solar externa e a ventilação necessária à renovação de ar” (ibid.). Nesse interim, é importante informar que são considerados ambientes de permanência prolongada: salas, cômodos destinados ao preparo e ao consumo de alimentos, ao repouso, ao lazer, ao estudo e ao trabalho.

Com base na análise feita nesta etapa, afirma-se que os instrumentos de planejamento urbano da região apresentam informações muito gerais sobre o tratamento do conforto térmico, focando, principalmente, na questão da arborização. Em outros termos, eles não abordam pontos como o posicionamento das fachadas, o dimensionamento das esquadrias, as estratégias construtivas a serem adotados em cada época do ano, e os materiais mais adequados para as edificações da região, como é observado na norma de zoneamento bioclimático brasileiro.

3.1.2 Dados climáticos do município de Paulo Afonso-BA

Como pode ser observado na figura 21, o município de Paulo Afonso pertence à região de clima semiárido (quente e seco), caracterizada por temperaturas médias anuais entre 26°C e 28°C, umidade relativa em torno de 65% e precipitação pluviométrica abaixo de 800 mm (JUNIOR, 2007).

Figura 21 – Região do semiárido brasileiro.



Fonte: adaptado IBGE, 2007.

O bioma da região é a Caatinga, onde é notória a presença de vegetais com elevada capacidade de retenção de água como os cactos (PARAHYBA et al., 2004).

De acordo com Romero (2000), o clima quente e seco apresenta grande amplitude térmica diária, sendo evidente, durante o período seco, a ocorrência de valores máximos extremos durante o dia e mínimos na madrugada. Além disso, ela admite a existência de duas estações: uma seca e outra chuvosa, na qual é observado valores de umidade parecidos com os das regiões tropicais úmidas.

Analisando os dados climáticos do município, recolhidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia, entre os anos de 1961 e 1990, percebe-se que o período mais quente na localidade estende-se de setembro até maio (INMET, 2006). Assim sendo, destaca-se que as temperaturas acima da média máxima de 31,9°C são observadas, principalmente, entre os meses de outubro e abril, ou seja, durante a primavera e verão. Conseqüentemente, as temperaturas mais baixas ocorrem no meio do ano, entre o outono e inverno (Tabela 1).

Tabela 1 – Normais Climatológicas de Paulo Afonso entre 1961 – 1990.

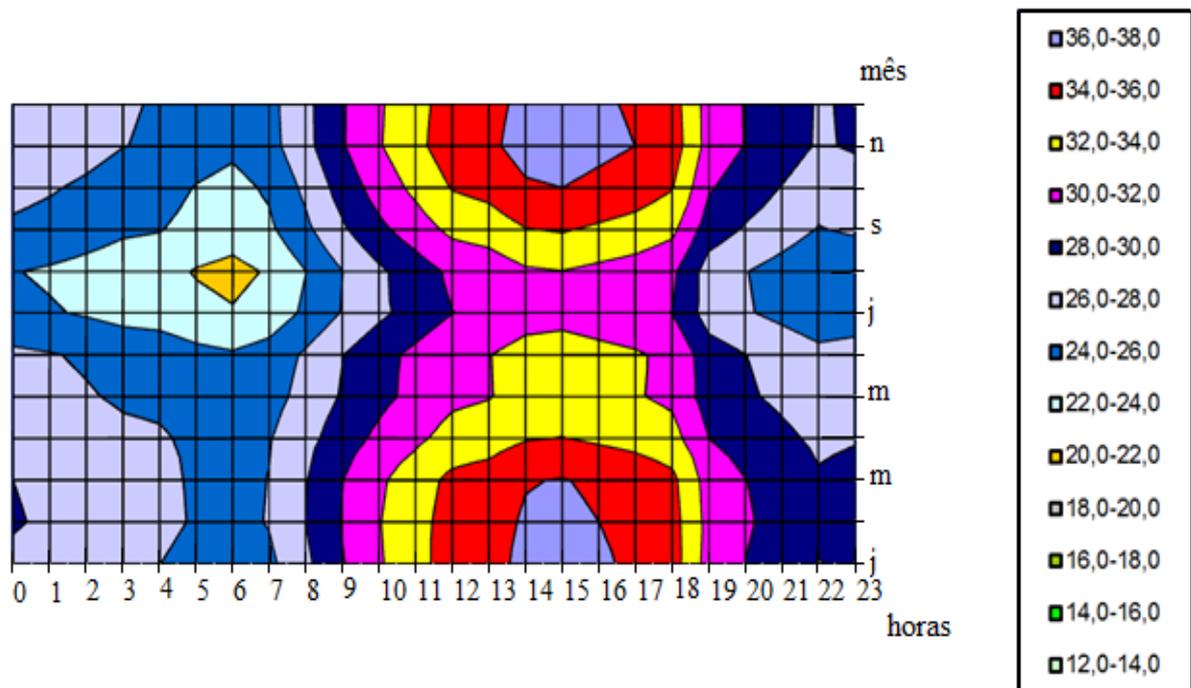
UF	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Máx. (°C)	34,1	33,3	33,2	32,0	30,0	28,6	28,1	29,5	31,3	33,5	34,6	34,3	31,9
Méd. (°C)	27,4	27,2	26,9	26,2	24,8	23,2	22,5	23,2	24,6	26,5	27,4	27,4	25,6
Mín. (°C)	22,1	22,2	22,4	22,1	21,1	19,9	19,0	19,0	20,0	20,9	22,0	22,1	21,1
UR (%)	62,7	64,2	66,9	71,4	75,4	78,1	75,7	71,4	65,7	59,9	58,3	59,7	67,5
Precip. (mm)	63,4	62,5	97,1	84,9	67,5	54,4	52,2	21,3	16,5	17,3	25,4	47,1	609,6
Insola. (hrs)	260,1	227,8	228,6	213,0	194,5	171,2	181,0	212,6	226,0	274,0	271,8	249,6	2710,2

Fonte: INMET, 2006.

De acordo com a tabela 1, observa-se também que a umidade relativa ultrapassa a média de 67,5% entre abril e agosto. Apesar de a umidade ser mais baixa no verão, ela está sempre dentro do intervalo da zona de conforto (entre 30% e 80%), como específica a carta bioclimática brasileira. Os maiores volumes de chuva acontecem entre os meses de março e maio, sendo de, aproximadamente, 609,6mm o volume total de chuva por ano.

Com base nos dados acima, afirma-se que a umidade relativa aumenta conforme o aumento da precipitação, bem como, é possível identificar duas estações na região: uma quente e seca no verão; e outra com temperatura mais amena e maior úmida, no inverno. No que tange ao comportamento da temperatura ao longo dos dias, afirma-se que entre os meses de junho e agosto ocorrem as menores temperaturas diárias (Figura 22).

Figura 22 – Distribuição de temperatura durante o ano em Paulo Afonso.



Fonte: adaptado de LABAUT, 2011.

De acordo com os dados acima, as temperaturas máximas (acima de 36°C), no município de Paulo Afonso, acontecem no intervalo das 13 horas às 17 horas dos meses de outubro e março. Segundo Dorigo e Kruger (2007), para a definição dos períodos em que se precisa de sombreamento, devem ser utilizados dados referentes às médias mensais das temperaturas horárias da região estudada ao longo de um ano. Assim, o intervalo supracitado representa um dos momentos mais críticos na região, sendo o momento mais importante para combater a entrada da radiação pelas aberturas das janelas e vãos.

Os dias entre julho e agosto são os que apresentam menores temperaturas para o período da tarde. Todavia, as mesmas podem ser consideradas elevadas se for tomado com base o limite máximo da zona de conforto da carta bioclimática da brasileira.

3.1.3 Estudo de caso: Condomínio Tancredo Neves

O Condomínio Tancredo Neve é um conjunto habitacional que foi inaugurado em 2013 e faz parte do Programa Minha Casa Minha Vida. Ele está situado na zona periférica do Bairro Tancredo Neves I (BTN I), próximo à margem de uma das barragens de Paulo Afonso (figura 23).

Figura 23 – Localização do Condomínio Tancredo Neves.



Fonte: Google Earth, 2016.

Analisando a imagem de satélite acima e o mapa de zoneamento vigente no município (figura 20), percebe-se que Condomínio Tancredo Neves estaria localizado na Zona de Proteção Ambiental Produtiva (ZPA4). Nesta zona é permitida atividade agrícola e pesqueira desde que haja autorização do conselho municipal.

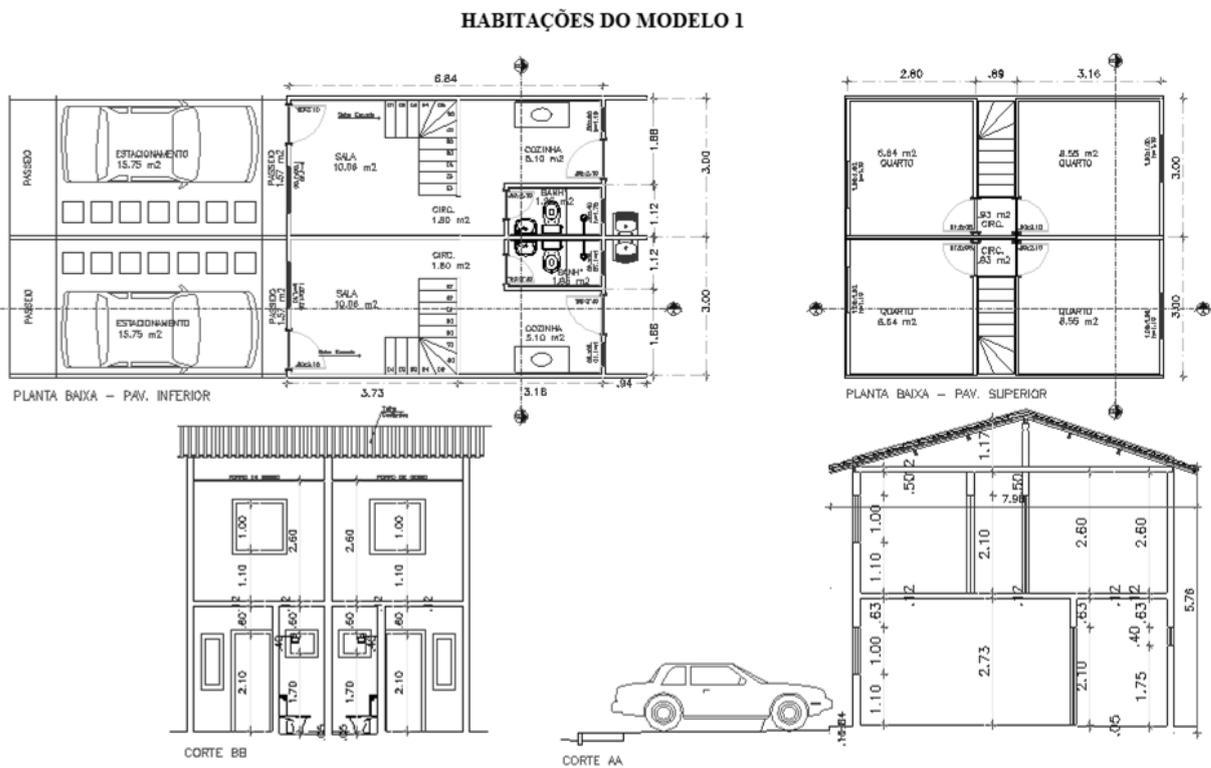
Todavia, é importante destacar que o processo de urbanização ocorrido na região nos últimos anos, acarretou mudanças e a consolidação de algumas áreas que já não condiz mais com a realidade do zoneamento em vigor. Em vista disso, o mapa de zoneamento deve passar por modificações e adequar-se à cidade existente (PAULO AFONSO, 2016).

Apesar do Condomínio não ser citado em nenhuma das zonas do município, acredita-se que ele passará a pertencer a Zona Residencial 6 (ZR6), visto que essa zona já engloba o bairro BTN I. Nesse interim, informa-se que a região do BNT surgiu da transferência da população das terras inundadas por efeito da barragem, tendo ainda capacidade de receber novos contingentes populacionais, como vem sendo observado nos últimos anos (PAULO AFONSO, 2016).

No que diz respeito às especificidades da infraestrutura do conjunto analisado, o mesmo conta com área de lazer composta de quadra esportiva, quiosque e uma praça. Além disso, é formado por 200 habitações unifamiliares que foram destinadas para famílias com renda mensal entre zero e três salários mínimos (anexo 2). Ou seja, população com um nível econômico mais baixo.

As residências do condomínio estão classificadas em dois modelos: com um ou dois pavimentos. No modelo 1, cada unidade familiar contém: no piso inferior, uma sala, cozinha, banheiro, área de serviço; e no pavimento superior, dois quartos (Figura 24).

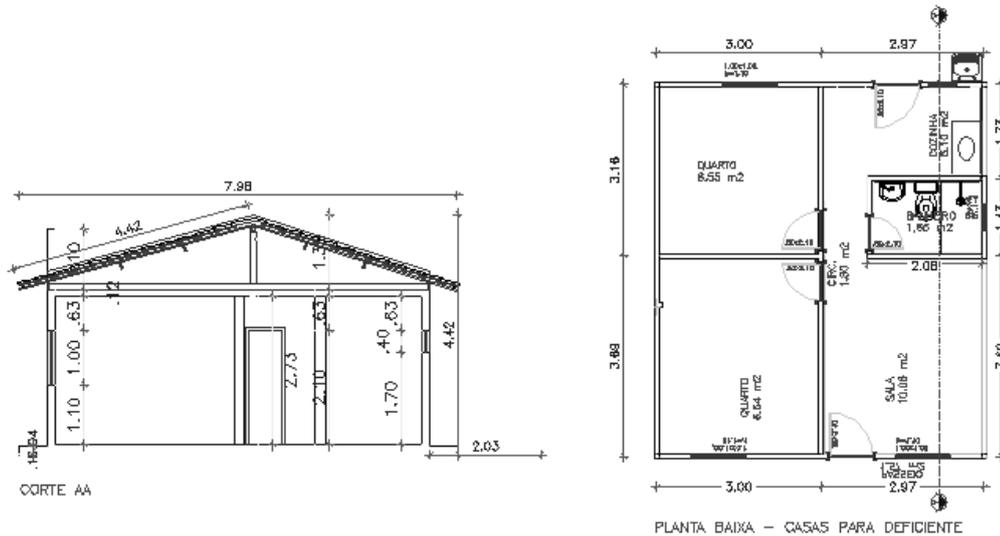
Figura 24 – Habitações do modelo 1.



Fonte: Coinpe, 2011.

Tanto no modelo 1 como no modelo 2, cada habitação tem uma área de cerca 40,94 m². Todavia, nas residências do modelo 2 os ambientes (sala, cozinha, banheiro, área de serviço e dois quartos) estão todos distribuído no térreo. Neste sentido, é válido salientar que este modelo buscou, sobretudo, atender ao público que possuía algum tipo de deficiência física (Figura 25).

Figura 25 – Habitação do modelo 2.

HABITAÇÃO DO MODELO 2

Fonte: Coinpe, 2011.

De acordo com as plantas acima, afirma-se que cada janela tem 1,00 x 1,00m, estando o peitoril a 1,10m em relação ao piso. Além disso, a partir da visita in loco, percebeu-se que as esquadrias são de correr com aro fixo feito de alumínio e folhas de vidro simples. O beiral de cada bloco se prolonga 0,5m em relação à fachada. Conseqüentemente, o mesmo tende a proteger a fachada contra a insolação em determinadas épocas e horários do ano (Figura 26).

Figura 26 – Bloco D (central) e B (sul) do Condomínio Tancredo Neves.



Fonte: o autor, 2016.

No que diz respeito à orientação do condomínio, destaca-se que as fachadas norte e sul estão, respectivamente, a 13°NO e 13°SE. Por meio da visita ao condomínio, percebeu-se,

também, que a fachada de algumas das edificações tem passado por modificações, sendo a construção de garagem/ampliação do recuo frontal a alteração mais observada (Figura 27).

Figura 27 – Alterações nas fachadas (a) blocos H e G (b) bloco A.



(a)



(b)

Fonte: o autor, 2016.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos com o desenvolvimento deste projeto. Assim sendo, o trabalho seguirá versando sobre o projeto dos brises dimensionados para cada fachada, bem como a respeito das reduções nos ganhos de calor que os mesmos devem permitir.

No que diz respeito ao desenvolvimento dos protetores solares, é importante destacar que para concepção dos mesmos foi utilizado o software SOL-AR do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE, 2009). Esta ferramenta permite testar ângulos para as aletas verticais e horizontais a fim de obter a máscara de sombra desejada.

Sobre este aspecto, é importante esclarecer também que os desenhos para os brises são apenas sugestões visto que modelos diferentes podem oferecer a mesma proteção e o mesmo desempenho (FERNANDES, 1994 apud BERGMANN, 2011). Apesar disso, salienta-se que os protetores foram considerados como instalados na parte externa das aberturas. Este modelo é considerado mais eficiente à medida que reduz a entrada de calor nos ambientes, pode melhorar a distribuição da iluminação, permitir a ventilação e diminuir o consumo de energia (SILVA; AMORIM, 2008).

Os brise-soleils sugeridos foram admitidos como fixos, por serem mais fáceis de instalar e manter. Eles foram limitados à 0,5m sobre os afastamentos, como é recomendado pelo código de obras do município. Além disso, buscou-se proteger as janelas durante o maior tempo possível, como é aconselhado para a região de clima quente e seco. Quando este fato não era possível, buscou-se permitir a exposição das aberturas a radiação solar direta apenas nos horários em que as temperaturas externas são mais amenas na cidade de Paulo Afonso-BA.

No que tange a estimativa do ganho de calor pelas janelas, foi aplicado o método simplificado (Anexo 3). A verificação dos ganhos de calor foi feita segundo dois contextos – sem e com brise – a fim de constatar a eficiência dos dispositivos dimensionados para as condições climáticas e geográficas da localidade. Os valores utilizados para estimar os ganhos de calor estão expostos na tabela 2.

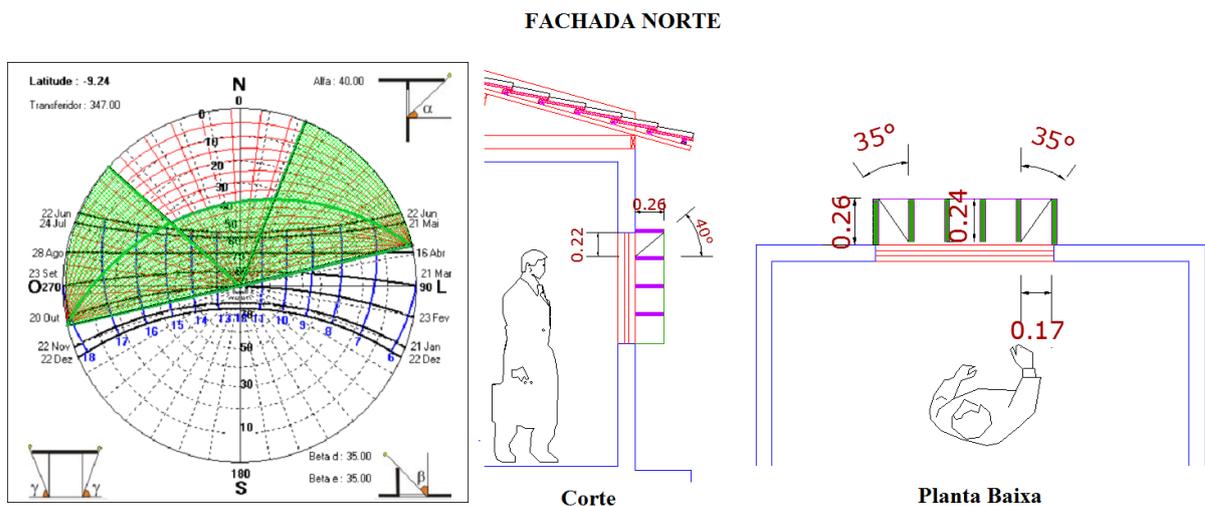
Tabela 2 – informações para cálculo dos ganhos solares pelas aberturas

Parâmetros usados no problema	
Transmitância do vidro comum	5,5 W/m ² .°C
Fator solar do vidro comum	0,87
Fator solar dos protetores	0,6
verticais horizontais	0,5
Área da janela	1,00 m ²
Temperatura interna	$T_n = 11,9 + 0,543.T_{m\u00e9dia}$

A respeito da tabela acima, vale frisar que a temperatura interna da edificação foi admitida como sendo igual à temperatura neutra, independente da situação analisada. Esta consideração foi feita para verificar o impacto gerado apenas pelos brises no desempenho térmico das edificações. Para facilitar a visualização dos resultados, os dados serão discutidos de acordo com a orientação de cada fachada.

Seguindo essa linha de raciocínio, a fachada disposta ao norte será a primeira a ser discutida neste trabalho. Por meio da carta solar para a latitude de Paulo Afonso, é possível afirmar que as fachadas ao norte das residências do conjunto habitacional Tancredo Neves recebem a incidência de radiação solar direta entre fevereiro e o outubro. Entretanto, essa exposição diminui na parte da manhã à medida que os dias se distanciam do solstício de inverno. Para o presente caso foi sugerido brises mistos, podendo sua configuração ser observada na figura 28.

Figura 28 – Proposta de brise-soleil para fachada norte.



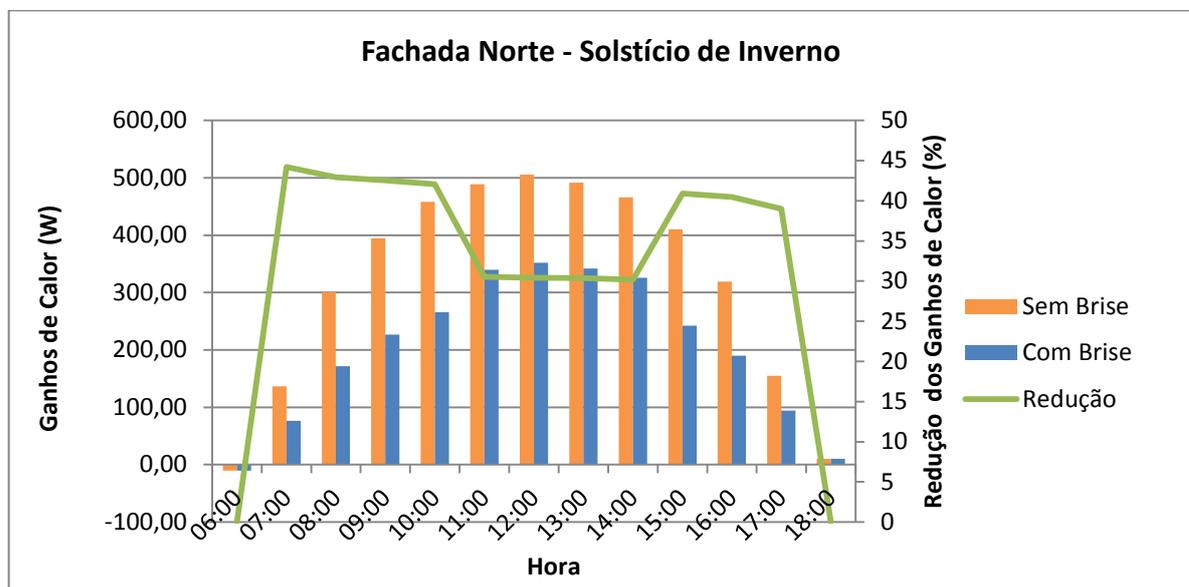
Fonte: o autor.

Conforme a carta solar acima, o ângulo de sombra vertical adotado foi de 40° e o horizontal foi de 35° . Para tanto, as lâminas horizontais ficaram com uma profundidade de 0,26m, espaçadas entre elas por 0,22m. Desta forma, com a configuração das lâminas horizontais, buscou-se barrar os raios para as grandes alturas solares, de modo que não houvesse a obstrução da visibilidade, redução da luminosidade e ventilação que perpassa pelas janelas ao norte (BITTENCOURT, 2004).

Por sua vez, para conseguir a angulação de 35° para as aletas verticais, as mesmas foram dimensionadas com largura de 0,26m e espaçadas por 0,17m. Neste panorama, as lâminas verticais irão impedir a radiação direta quando o sol atingir baixas altitudes, ou seja, no início e final do dia. Diante do exposto, a combinação das barras verticais e horizontais permite a proteção completa das supracitadas aberturas para todos os horários do ano.

No que diz respeito às contribuições de ganho de calor que tais janelas sem brise possibilitam, nota-se que o máximo é de, aproximadamente, 505W atingido ao meio dia (Figura 29).

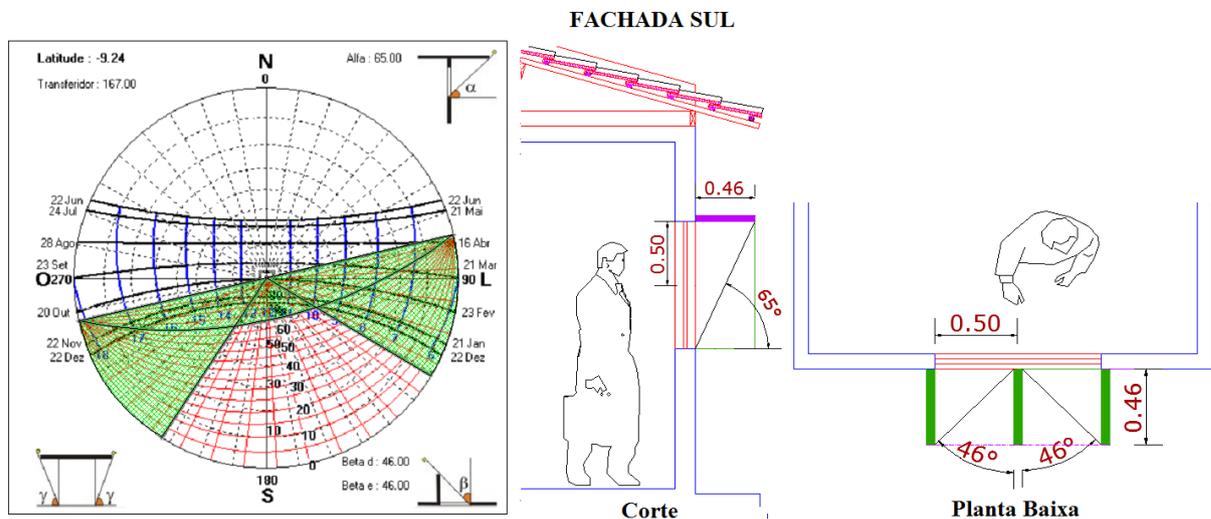
Figura 29 – Ganhos de calor através das janelas da fachada norte no Solstício de Inverno.



Aplicando o brise proposto, observou-se que no citado horário há uma redução de carga térmica para cerca de 351W, o que representa uma eficiência do protetor na minimização dos ganhos de calor de 30%. Além disso, foi possível perceber uma perda de calor através das janelas para às 6 horas da manhã no período do ano analisado. Este fato ocorre devido à incidência de radiação solar começar apenas após 7 horas da manhã.

Para a fachada sul, o momento mais crítico é o solstício de verão, pois nesta época é constatado tanto o maior tempo de exposição à radiação solar direta quanto as maiores temperaturas do ano. Por sua vez, os ângulos da radiação solar perpendiculares às fachadas do sul correspondem a ângulos verticais elevados e os ângulos verticais mais baixos da radiação se situam em faixas de incidência oblíqua às fachadas, tornando-se o brise misto uma boa opção para essa orientação (OLGYAY, 1963 apud WEBER, 2005). Em vista dessas considerações, o modelo de protetor solar sugerido para esta fachada ficou configurado da seguinte forma (Figura 30).

Figura 30 – Proposta de brise-soleil para fachada sul.



Fonte: o autor.

Como está detalhado na carta solar, para sombrear as janelas da fachada sul, adotou-se o brise-soleil misto com ângulo de sombra vertical de 65° e horizontal de 46° . Assim sendo, uma possível configuração para o protetor solar seria instalar uma aleta horizontal de 0,46m na parte superior da janela e laminas verticais de 0,46 m de profundidade distanciadas por 0,5m.

Neste ínterim, salienta-se que foi notório que o beiral, por si só, já conseguiria proteger as aberturas da radiação solar alta, podendo, assim, a lâmina horizontal ser suprimida. Todavia, vale ressaltar que, as janelas do térreo do modelo 1 não atenderiam essa verificação, pois o ângulo de sombra formado entre o peitoril e o beiral não é suficiente para mascarar a janela.

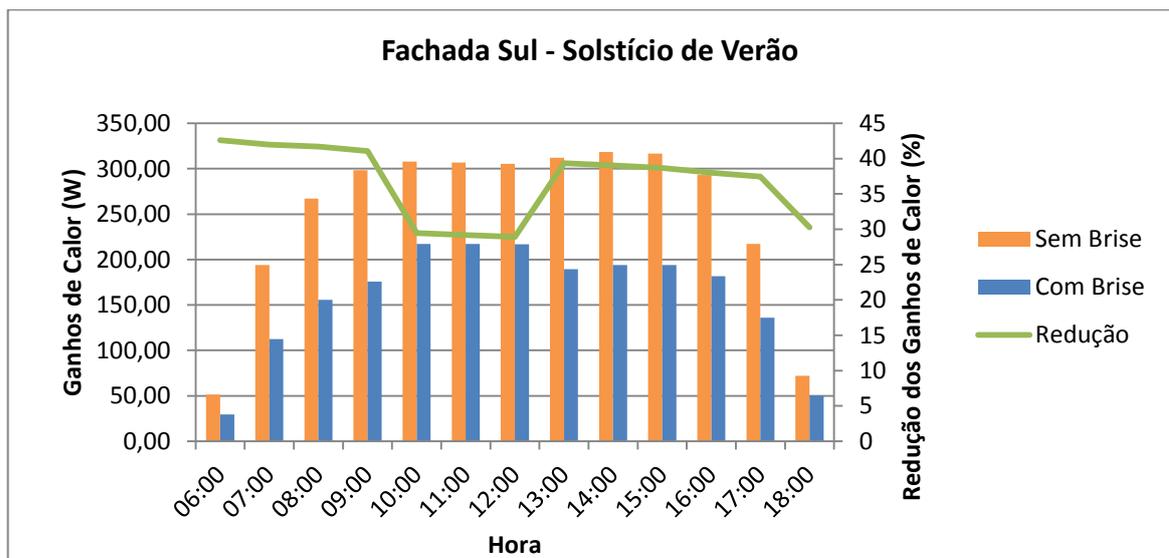
À luz dessas considerações, destaca-se que, no hemisfério sul, o brise vertical sozinho já demonstram uma boa eficiência quando utilizado na fachada sul (MARAGNO, 2000). Este

fato é notório ao analisar a máscara de sombra obtida apenas com as lâminas verticais do projeto acima. Em outras palavras, as laminas verticais conseguem restringir à entrada da radiação direta durante boa parte da manhã e da tarde.

Entretanto, entre 10 e 13 horas, quando as temperaturas começam a atingir valores acima de 36°C, o brise vertical permite a passagem da radiação direta pelas janelas do piso inferior de algumas das unidades habitacionais estudadas. Diante dessa circunstância, foi feita a sugestão da aleta horizontal de 0,46m.

No que diz respeito à redução dos ganhos de calor, afirma-se que o maior valor ocorre às 14 horas. Neste exato momento do dia, cada janela orientada ao sul permite um ganho de calor de, aproximadamente, 318W. Após implantar o brise, há uma redução de carga térmica de 124W, que corresponde a uma eficiência de 39%. Os demais resultados para redução de ganhos de calor para a fachada sul estão detalhados na figura 31.

Figura 31 – Ganhos de calor através das janelas fachada sul no Solstício de Verão.



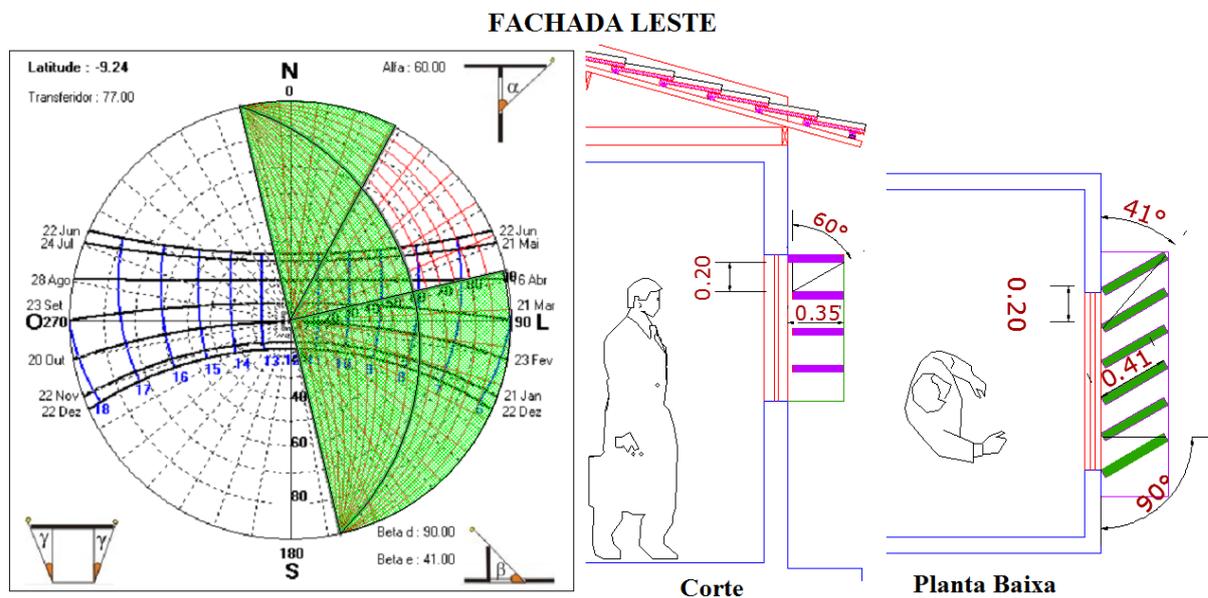
É possível notar na figura acima que o impacto do quebra-sol no arrefecimento das cargas térmicas vai diminuindo ao longo do dia. Este fato pode ser justificado devido o comportamento da temperatura, que tende ao aumentar e atingir valores máximos no fim da tarde.

Ao contrário da fachada norte e sul, houve certa dificuldade em encontrar um projeto de brise que pudesse impedir a passagem de toda a radiação solar direta para as aberturas orientadas para leste e oeste.

Nesse cenário, analisando o tempo de exposição à radiação solar direta da fachada leste, afirma-se que a mesma recebe esta incidência apenas no período da manhã durante todo ano. Todavia, Labaut (2011) recomenda que o sombreamento seja utilizado principalmente após as 8 da manhã; com exceção dos meses de junho, julho e agosto que admitem que essa estratégia seja utilizada após as 9 horas da manhã.

Em vista dessas observações, para combater a incidência solar direta nos horários indesejados, foi dimensionado um brise-soleil misto com ângulo (interno) de sombra vertical de 60° . Nesse intuito, propor-se laminas horizontais com largura de 0,35m, separados por 0,2m (Figura 32).

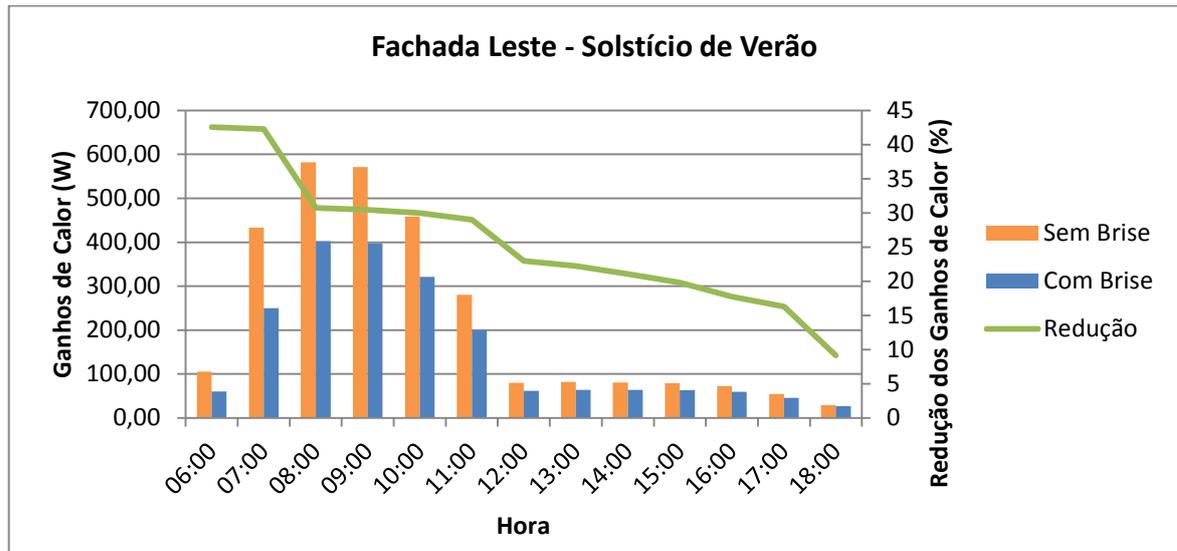
Figura 32 – Proposta de brise-soleil para fachada leste.



Por sua vez, buscou-se com as laminas verticais permitir a entrada da radiação apenas no período do ano cujas temperaturas são mais confortáveis, ou seja, nas primeiras horas do dia entre maio e agosto. Em vista disso, foram sugeridas lâminas verticais que formam um ângulo (interno) de sombra de 90° em relação lado direito da fachada. Neste contexto, uma opção para obter tal máscara de sombra é construir placas com largura de 0,41m posicionados de forma oblíqua até atingir a profundidade de 0,35m.

No que tange os ganhos de calor que atravessam as janelas direcionadas à leste, afirma-se que tais aberturas atingem ganhos máximos às 8 horas da manhã no solstício de verão, correspondendo a 581W. Com o uso do brise, este valor é minimizado para cerca de 403 W (redução de 30%), como pode ser visto na figura 33.

Figura 33 – Ganhos de calor através das janelas fachada leste no Solstício de Verão.



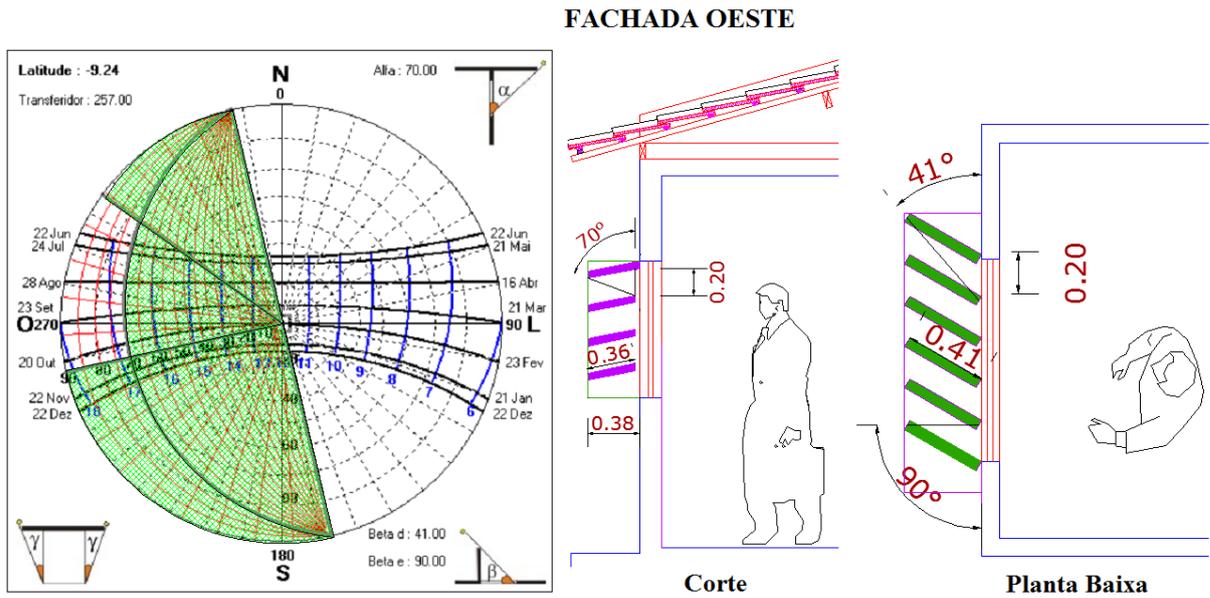
Além disso, é possível perceber que após meio dia, o ganho de calor é muito pequeno visto que tais aberturas só irão receber radiação indireta e os incrementos de calor ocorrem devido à diferença de temperatura. Quanto à eficiência do brise na redução dos ganhos de calor, a mesma segue o comportamento da incidência da radiação solar e tende a diminuir ao longo do dia.

Por fim, a fachada oeste foi a última a ser analisada. De modo geral, esta fachada recebe radiação direta, ao longo de todo ano, a partir das 12 horas até o fim da tarde. Além disso, sabe-se que as piores condições de conforto térmico na localidade ocorrem entre outubro e março, quando as temperaturas atingem valores acima de 36°C na parte da tarde.

Assim como na fachada leste, houve certa dificuldade de realizar o sombreamento das aberturas voltadas ao oeste durante todo o ano. Nestes termos, Bittencourt (2014) esclarece que os brises verticais têm pouca ou nenhuma eficiência quando a incidência solar está próximo a uma faixa perpendicular à fachada leste ou oeste (BITTENCOURT, 2004). Este fato ocorre devido os raios perpendiculares para baixas alturas solares requer brises praticamente fechados, que impedem a entrada da ventilação natural e requer maior gasto com iluminação artificial.

Diante do exposto, os protetores solares deste lado das unidades habitacionais foram compostos por lâminas verticais com configuração semelhante aos brises da fachada leste e lâminas horizontais com angulação (interna) de 70° (Figura 34).

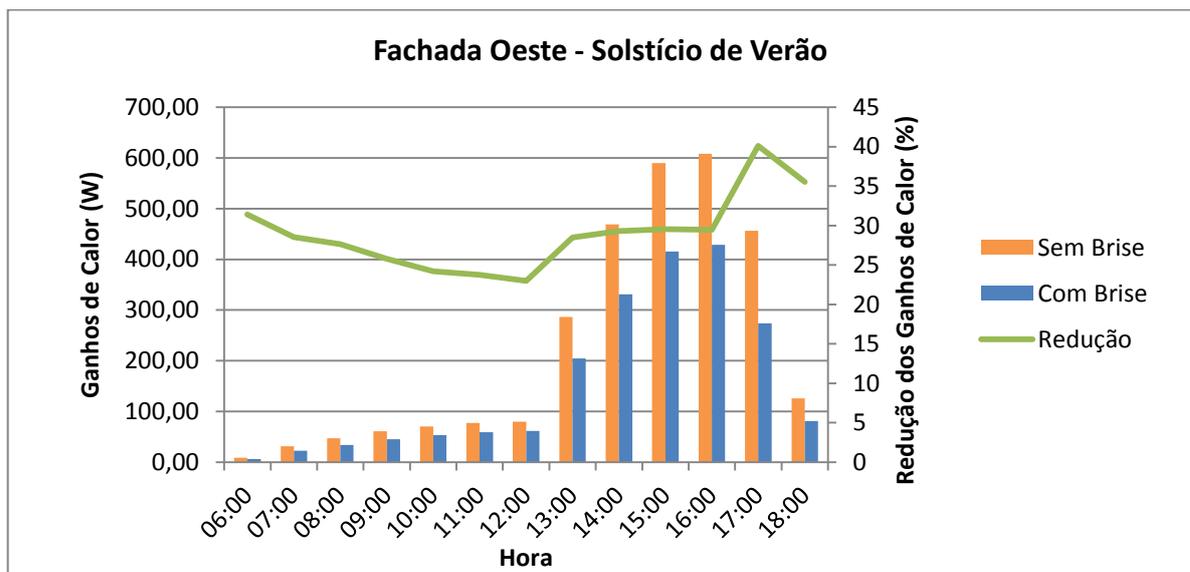
Figura 34 – Proposta de brise-soleil para fachada oeste.



Fonte: o autor.

Diante das observações feitas, por meio da combinação das máscaras de sombra, buscou-se barrar a radiação solar direta no período que vai de 12 até às 17 horas; com exceção dos meses entre outubro e fevereiro (período mais quente), onde a incidência direta dos raios solares é barrada durante todo o dia. No que tange ao ganho de calor, percebe-se que ele é mais intenso entre às 14 e 17 horas, atingindo valor máximo de 607W às 16 horas (Figura 35).

Figura 35 – Ganhos de calor através das janelas fachada oeste no Solstício de Verão.



Com base na imagem acima, afirma-se também que a eficiência máxima obtida pelo brise na redução de carga térmica corresponde a 40%. Este fato é verificado às 17 horas da tarde. No horário de pico, o fluxo de calor foi reduzido para 428W com a aplicação do brise. Isto representa uma eficiência de 29% na redução de carga térmica.

Com base nos resultados obtidos com este projeto, é possível afirmar que a fachada oeste é a que tem maiores ganhos de calor pelas aberturas. Este panorama indica que ao planejar habitações para a localidade, os projetistas devem ter maior atenção com os ambientes voltados ao poente, pois as pessoas podem estar expostas a condições extremas de desconforto térmico nesses ambientes.

À luz disso, Lima e Caram (2015), ao realizarem um estudo sobre sistemas de janelas para a cidade de Maceió (aproximadamente, 9° sul), observaram também que a fachada oeste tem grande impacto nos ganhos térmicos das residências, sendo o sombreamento uma das estratégias mais eficientes para redução dos ganhos de calor. Neste contexto, elas esclarecem que o sombreamento dessas aberturas é a estratégia mais eficiente tendo em vista que a economia com gastos de energia elétrica para resfriamento artificial compensa os custos com a iluminação artificial.

Nos horários em que o brise-soleil não consegue obstruir a radiação direta (raios perpendiculares à fachada e altura solar baixa), outra solução seria por meio do uso da arborização. Esta, se bem planejada, irá proteger contra a radiação indesejada, minimizando os gastos com energia no período mais quente do ano; além de controlar a temperatura, umidade do ar e ação dos ventos (MASCARÓ; DIAS; GIACOMIN, 2008).

Ademais, destaca-se que os resultados obtidos com trabalhos desse caráter fornecem dados que podem ajudar no processo decisório na construção de edificações mais confortável, à medida que pode auxiliar na proporção de área de janela, propriedades do envidraçamento e propriedades do sistema de proteção/controlar solar (LIMA; CARAM, 2015).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o desenvolvimento deste trabalho, buscou-se propor melhorias no desempenho térmico em habitações de um conjunto habitacional localizado no semiárido baiano, especificamente, na cidade de Paulo Afonso. Para tanto, foi dimensionado quebra-sóis visto que o sombreamento é uma estratégia recomendada, em normas e outras referências bibliográficas, para melhoria do conforto e desempenho térmico nas edificações da localidade.

Nesses moldes, percebeu-se que os instrumentos de planejamento do município de Paulo Afonso-BA também têm uma preocupação com as questões de conforto ambiental da região. Em vista disso, eles tratam, mesmo que superficialmente, sobre o sombreamento como uma estratégia necessária para melhoria do conforto térmico dos cidadãos.

No que se refere ao estudo da insolação no conjunto habitacional, de acordo com as análises, notou-se que as aberturas das fachadas norte e sul podem ser completamente protegidas da radiação solar direta por meio do uso de brises mistos, sem haver a obstrução da visibilidade, iluminação e ventilação natural. Todavia, isto não foi possível nas fachadas leste e oeste, pois a orientação do conjunto habitacional permite a incidência da radiação solar direta perpendicular às aberturas quando o sol atinge baixas altitudes. Assim sendo, foi sugerido, em complemento aos brises, o uso de outras estratégias para proteger tais fachadas. As propostas feitas também podem ser aplicadas em outras edificações da localidade que têm a mesma orientação, visto que o condomínio funcionou como um parâmetro para esse trabalho.

No que se refere aos ganhos de calor pelas janelas, devido à radiação solar, as fachadas leste e oeste continuaram apresentando os maiores problemas. Neste contexto, durante o solstício de verão, percebeu-se que as janelas voltadas a oeste têm um ganho de, aproximadamente, o dobro em relação às aberturas da fachada sul.

Este fato deixou evidente a necessidade de cuidados ao se projetar ambientes que fiquem expostos a sol poente. Os usuários que precisam trabalhar ou realizar suas atividades nesses espaços devem presenciar as piores situações de desconforto térmico.

No mais, percebeu-se que a máxima eficiência dos brises na redução dos ganhos de calor, conseqüentemente na minimização das cargas térmicas, ficou em torno de 45%. Neste sentido, os brises da fachada sul foram os que apresentaram maior constância e eficiência ao longo do período estudado.

Por fim, propõe-se para trabalhos futuros, verificar a percepção da população do conjunto habitacional Tancredo Neves sobre o desempenho térmico de suas habitações nas

condições atuais, ou seja, sem a existência dos brises. Além disso, sugere-se a realização das intervenções propostas, mesmo que em uma pequena amostra, a fim de analisar se os residentes iriam perceber os impactos positivos gerados pelos quebra-sóis na redução do calor no interior de suas moradias.

REFERÊNCIAS

- AGRAVO. **Operação de voos para Paulo Afonso começa nesta segunda-feira.** 2013. Disponível em:<<http://www.agravo.blog.br/2013/12/14/operacao-de-voos-para-paulo-afonso-comeca-nesta-segunda-feira/>>. Acesso em: Dez. 2016.
- ALMEIDA, A. M. **Conforto Térmico e Eficiência Energética em Edifício Multifamiliar na Cidade de Maceió.** 2000. 152 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmica do Espaço Habitado) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2000.
- ALVES, R. R. **Métodos de Avaliação do Conforto Térmico Humano.** 2011. 124 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- ARANTES, B. **Conforto térmico em edificações de interesse social – Um estudo de caso.** 2012. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Bauru, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3:** Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE ENGENHARIA AMBIENTAL. **Energia e Alterações Climáticas.** Comissão Europeia, 2009. Disponível em:<http://www.eurocid.pt/pls/wsd/docs/F26907/pdf_energia%20ae%20alteracoes%20climaticas_apea.pdf>. Acesso em: Maio 2017.
- BARBOSA, D. C.; LIMA, M. B. **ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA: RECOMENDAÇÕES APROPRIADAS PARA PALMAS/TO.** In: V CONNEPI - Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação, 2010, Maceió. **Anais ...** Maceió, 2010. v. 1.
- BARROSO-KRAUSE et al. **Bioclimatizmos no Projeto de Arquitetura:** Dicas de Projeto. Rio de Janeiro: [s.n], 2005. Disponível em:<http://www.fau.ufrj.br/apostilas/conforto_claudia/nova/arquivos/textos_de_apoio/apostila_conforto.pdf>. Acesso em: 02 Nov. 2016.
- BATISTA, J. O. **A Arquitetura e seu Desempenho Térmico no Contexto do Semi-árido Alagoano:** Estudos de Caso em Santana do Ipanema-AL. 2006. 161 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- BELUSSO, A.; CAINELLI. **Análise do Espectro de Radiação Solar e sua Importância no Correto Dimensionamento de Tecnologias para Conversão Fotovoltaica de Energia.** In: 15 Congresso Nacional de Iniciação Científica. **Anais...** Ribeirão Preto, SP, 2015. Disponível em:<<https://fakeclimate.wordpress.com/2013/01/10/a-historia-do-co2-nos-processos-de-mudancas-climaticas-globais/>>. Acesso em: Maio 2017.
- BERGMANN, A. **Brise-soleil:** Avaliação de Desempenho Climático e Energético de Dois Prédios Públicos em Porto Alegre. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

BITTENCOURT, L. **Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos.** 4 ed. Maceió: EDUFAL, 2004.

BITTENCOURT, L.; CANDIDO, C. **Ventilação natural em edificações.** Rio de Janeiro: Procel, 2010.

BOGO; A. et al. **Bioclimatologia Aplicada ao Projeto de Edificações Visando o Conforto Térmico.** 1994. Trabalho apresentado como requisito parcial para aprovação na Disciplina Tópicos Avançados em Bioclimatologia Aplicada ao Projeto de Edificações Visando o Conforto Térmico, Núcleo de Pesquisa em Construção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1994.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em Busca de uma Arquitetura Sustentável para os Trópicos: Conforto Ambiental.** 2. ed. Rio de Janeiro: Revan, 2009.

DORIGO, A. L.; KRUGER, E. L. Uso de Dispositivos de Sombreamento em Salas de Aula - Avaliação de Método Proposto por Olgyay. In: IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2007, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto, 2007.

FIGUEIREDO, C.; FROTA, A. B. Ventilação natural para Conforto Térmico em Edifícios de Escritórios: Avaliação com Modelos Adaptativos. In: NUTAU 2008 e 7º Seminário Internacional Espaço Sustentável Inovações em Edifícios e Cidades, 2008, São Paulo. **Anais...**, São Paulo: USP, 2008.

FREITAS, A. F. M. C. S. **Arquitetura Bioclimática e Sustentabilidade Ambiental no Revestimento de Fachadas.** 2008. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, 2008.

FRANCISCO, M. **Recomendações de conforto térmico para projeto arquitetônico e implementação de unidades habitacionais em assentamentos rurais.** Caso: assentamento rural Sepé Tiaraju, Serra Azul – SP. 2009. 198f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, 2009.

FROTA, B. A.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo.** 5. ed. São Paulo : Studio Nobel, 2001.

GIVONI, B. **Passive and Low Energy Cooling of Building.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1994. Disponível em:<
<https://books.google.com.br/books?id=rJsVoRw1geoC&pg=PR3&lpg=PP1&focus=viewport&dq=inauthor:%22Baruch+Givoni%22&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: Fev. 2017.

GRZYBOWSKI, G. T. **Conforto Térmico nas Escolas Públicas em Cuiabá – MT: Estudo de Caso.** 2004. 101 f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso. 2004.

IBGE. **Mapa do Semiárido Brasileiro.** 2007.

INMET. **Normais Climatológicas do Brasil 1961 – 1990**. [S.I.]. 2006. Disponível em:< <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 25 jan. 2017.

JUNIOR, J. S. P. **Nova Delimitação do Semiárido Brasileiro**. 2007.

KRÜGER, E. L. **Sensação e Conforto Térmico**. Nota de aula. 2013. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/EduardoLKruiger/aula-conforto-termico>>. Acesso em: Dez. 2016.

LaBEEE. **Analysis SOL-AR**, versão 6.2: programa de software. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações/ Universidade Federal de Santa Catarina, 2009. Disponível em:< <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/analysis-sol-ar>>. Acesso em: Out. de 2016.

LABAUT. **Climatus**. São Paulo: Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética do Departamento de Tecnologia da Arquitetura/Universidade de São Paulo, 2011. Disponível em:< <http://www.fau.usp.br/pesquisa/laboratorios/labaut/conforto/>>. Acesso em: Maio 2017.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A.; GOULART, S.; VECCHI, R. **Conforto e Stress Térmico**. Universidade Federal de Santa Catarina. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2011.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energetica na Arquitetura**. 3. ed. São Paulo: PW Gráfica e Edit. Associados LTDA, 2014. 366 p.

LAMBERTS, R. et al. **Apostila desempenho técnico de edificações**. Florianópolis: UFSC, 2016. Disponível em:<<http://www.labeee.usfc.br>>. Acesso em 02 set. 2016.

LIMA, K. M.; CARAM, R. M. Avaliação de Sistemas de Janelas para Suporte a Decisões de Projeto Quanto ao Equilíbrio de Ganhos de Luz e Calor. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 3, p. 117-133, jul./set. 2015.

MACIEL, A. Projeto Bioclimático em Brasília: **Estudo de Caso em Edifício de Escritórios**. 2002. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MARTINS, T. A. L.; BITTENCOURT, L. S.; BARROSO-KRAUSE, C. M. L. Contribuição ao Zoneamento Bioclimático Brasileiro: Reflexões sobre o Semi-árido Nordeste. In: Encontro Nacional e Latino-americano de Conforto do Ambiente Construído, 2011, Búzios - Rio de Janeiro. **Anais ...** Rio de Janeiro: UFRJ, 2011. v. 1. p. 1-10.

MARTINS, T. A. L.; BITTENCOURT, L. S.; BARROSO-KRAUSE, C. M. L. **Contribuição ao zoneamento bioclimático brasileiro: reflexões sobre o semiárido nordestino**. Ambiente Construído (Online), v. 12, p. 59-75, 2012.

MARAGNO, G. V. **Eficiência e Forma do Brise-soleil na Arquitetura de Campo Grande – MS**. 2000. 205 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

MASCARELLO, V. L. D. **Princípios Bioclimáticos e Princípios de Arquitetura Moderna – Evidências no Edifício Hospitalar**. 2005. 147 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

MASCARÓ, J. J.; DIAS, A. P. A.; GIACOMIN, S. D. **Arborização Pública como Estratégia de Sustentabilidade Urbana**. 7º Seminário Internacional NUTAU. 2008. Disponível em: <<https://www.usp.br/nutau/CD/29.pdf>>. Acesso em: Maio de 2017.

MEDEIROS, D. ; NOME, C. A. N. ; ELALI, G. V. M. A. . Construindo no clima quente e seco do Brasil: conforto térmico e eficiência energética para a Zona Bioclimática 7. In: Seminário Internacional NUTAU2012, 2012, São Paulo. **Anais...** São Paulo, SP: FUPAM / FAUUSP, 2012. v. 1. p. 1-17.

MEREL PIT. **Dé architectuurattracties van deze zomer**. 2017. Disponível em: <<http://www.dearchitect.nl/architectuur/blog/2012/5/de-architectuurattracties-van-deze-zomer-101116803>>. Acesso em: Dez. de 2016.

MIKHAILOVA, I. Sustentabilidade: Evolução dos Conceitos Teóricos e os Problemas da Mensuração Prática. **Revista Economia e Desenvolvimento**, n. 16, p. 22-41, 2004. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/eed/article/viewFile/3442/1970>>. Acesso em: Maio 2017.

NETO, A. A. S. **Automação do Traçado de Máscara de Sombra para Avaliar os Dispositivos de Proteção Solar: Uma Aplicação Compugráfica**. 1995. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

NETO, A. H. Análise Comparativa de Cálculos de Carga Térmica. In: XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 1999, São Paulo. **Anais...** Águas de Lindóia, SP, 1999.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Relatório Nosso Futuro Comum**. 1987. Disponível em: <<http://www.inbs.com.br/ead/Arquivos%20Cursos/SANeMeT/RELAT%23U00d3RIO%20BRUNDTLAND%20%23U201cNOSSO%20FUTURO%20COMUM%23U201d.pdf>>. Acesso em: Maio 2017.

PARAHYBA, R. B. V.; SILVA, F. H. B.; SILVA, F. B. R.; LOPES, P. R. C. **Diagnóstico Agroambiental do Município de Paulo Afonso – Estado da Bahia**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 2004. 69p.

PAULO AFONSO. **Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental de Paulo Afonso – Bahia: Diagnóstico do Município**. 2016.

_____. **Decreto nº 905**, de 29 de dezembro de 2000. Institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental do Município de Paulo Afonso e dá outras providências. 2000a.

_____. **Decreto nº 906**, de 29 de dezembro de 2000. Institui o Código do Meio Ambiente de Paulo Afonso, dispõe sobre o Sistema Municipal de Gestão Ambiental e dá outras providências. 2000 b.

_____. **Decreto nº 907**, de 29 de dezembro de 2000. Institui o Código de Obras do Município de Paulo Afonso. 2000c.

PEREIRA, D. M.; SOUZA, S. I. S. **Determinação os Indicadores de Grau de Conforto Térmico, PMV e do PPD, para os Laboratórios do Prédio 11 da URI Campus de Santo Ângelo.** 2007. Disponível em: <http://www.reitoria.uri.br/~vivencias/Numero_005/artigos/artigos_vivencias_05/artigo_006.htm>. Acesso em: 15 de Novembro 2016.

RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS R. Uma proposta de Norma Técnica Brasileira Sobre Desempenho Térmico de Habitações Populares. In: V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e II Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais do V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e II Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído**, CE: Fortaleza, 1999.

RUPP, R. F. **Dimensionamento de Área de Janela em Edificações Comerciais: Integração da Iluminação Natural com a Artificial e Utilização da Ventilação Híbrida.** 2011. 212 f. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

SANSÃO, J. H. **Análise Ambiental de Alvenarias em Blocos:** Uma Discussão Baseada na Avaliação do Ciclo de Vida e no Desempenho Térmico de Envoltórias. 2011. 116 f. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

SCHMID, A.L. **A ideia de conforto:** reflexões sobre o ambiente construído. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.

SERAPIÃO, F. **Síntese e citações fazem homenagem à arquitetura moderna.** 2016. Disponível em:< <https://arcoweb.com.br/projetodesign/arquitetura/alvaro-puntoni-luciano-margotto-soares-joao-sodre-jonathan-davies-sede-sebrae-18-05-2011>>. Acesso em: Dez. 2016.

SILVA, J. S.; AMORIM, C. N. D. O Brise-soleil como lemento de controle solar: Estudo de caso de um edifício no Plano Piloto de Brasília. In: 7º Seminário Internacional NUTAU, 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 2008.

SILVA, H. S.; SANTOS, M. C. O. O significado do conforto no ambiente residencial. In: DUARTE, C. R.; OLIVEIRA, B. S.; SANTANA, E. P. **Cadernos PROARQ 18.** 18 ed. Rio de Janeiro: UFRJ, 2012. p 138 – 151.

SOUZA, A. L. O. P. **Paulo Afonso:** Um Muro, Duas Cidades. Universidade Federal de Sergipe, 2002. Disponível em:<<http://www.bocc.ubi.pt/pag/souza-andre-paulo-afonso-muros-cidades.pdf>>. Acesso em: Jan. 2017.

VETTORAZZI, Egon; SANTOS, J. P. ; RUSSI, Madalena . A utilização de estratégias passivas de conforto térmico e eficiência energética para o desenvolvimento de uma habitação unifamiliar. In: Congresso Internacional Sustentabilidade e Habitação de Interesse Social, 2010, Porto Alegre - RS. **Anais...** Porto Alegre - RS: EDPUCRS, 2010. p. 92-92.

VIEIRA, C. C. **Arquitetura, conforto térmico e iluminação natural no edifício administrativo da escola de engenharia de São Carlo / USP – o Bloco E1**. 2008. 187 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

VIÉGAS, J. A. **UMA ARQUITETURA PARA O SOL DOS TRÓPICOS**. Disponível em:<<http://artehistoriabrazil.blogspot.com.br/2012/11/0-false-18-pt-18-pt-0-0-false-false.html>>. Acesso em: Dez. de 2016.

VIRIATO, P. H. S. **O Meio Ambiente e Planejamento Urbano Municipal**. São Paulo: Annablume, Fapesp, 2 ed. 2008.

WEBER, C. P. **O Uso do Brise-soleil na Arquitetura da Região Central do Rio Grande do Sul**. 2005. 184 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

XAVIER, A. A. P. **Condições de Conforto Térmico para Estudantes de 2º Grau na Região de Florianópolis**. 1999. 198f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

XAVIER, S. P. **A Temática da sustentabilidade no Ensino de Graduação em Arquitetura e Urbanismo: Estudo de Caso das Experiências de Três Instituições Públicas**. 2011. 171f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

ANEXO 1

Tabela 1 – Dada de Radiação Solar Incidente sobre planos verticais e horizontais (W/m²).

Latitude 8° sul.

	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	dezembro 22
S	59	220	301	331	336	332	327	332	336	331	301	220	59	
SE	124	492	661	665	571	420	251	89	63	58	48	33	10	
E	121	495	663	645	509	302	68	68	63	58	48	33	10	
NE	53	228	304	279	185	68	68	68	63	58	48	33	10	
N	10	33	48	58	63	68	68	68	63	58	48	33	10	
NW	10	33	48	58	63	68	68	68	185	279	304	228	53	
W	10	33	48	58	63	68	68	302	509	645	663	495	121	
SW	10	33	48	58	63	89	251	420	571	665	661	492	124	
H	30	214	484	730	930	1062	1103	1062	930	730	484	214	30	

S	0	30	48	55	63	68	65	68	63	55	48	30	0	março 22 / setembro 22
SE	16	342	473	439	322	154	65	68	63	55	48	30	0	
E	22	490	705	689	547	326	65	68	63	55	48	30	0	
NE	16	368	552	567	488	347	164	68	63	55	48	30	0	
N	0	49	104	146	181	204	205	204	488	146	104	49	0	
NW	0	30	48	55	63	68	164	347	488	567	552	368	16	
W	0	30	48	55	63	68	65	326	547	689	705	490	22	
SW	0	30	48	55	63	68	65	154	322	439	473	342	16	
H	0	185	466	739	954	1091	1129	1091	954	739	466	185	0	

S	—	23	43	50	58	60	63	60	58	50	43	23	—	junho 21
SE	—	130	201	143	58	60	63	60	58	50	43	23	—	
E	—	316	573	586	477	285	63	60	58	50	43	23	—	
NE	—	329	634	714	682	568	421	250	89	50	43	23	—	
N	—	163	349	454	521	553	569	553	521	454	349	163	—	
NW	—	23	43	50	89	250	421	568	682	714	634	329	—	
W	—	23	43	50	58	60	63	285	477	586	573	316	—	
SW	—	23	43	50	58	60	63	60	58	143	201	130	—	
H	—	105	351	587	773	904	946	904	773	587	351	105	—	

Fonte: Frota e Schiffer, 2001.

Tabela 2 - Valores de Fator Solar (FS) para aberturas com diferentes superfícies separadoras.

Superfícies Separadoras			F _s	Referência
Vidros	Transparente (simples)	3 mm	0,87	ASHRAE (1993)
		6 mm	0,83	ASHRAE (1993)
	Transparente (duplo)	3 mm	0,75	Pereira e Sharples (1991)
		Cinza (fumê)	3 mm	0,72
	Verde	6 mm	0,60	ASHRAE (1993)
		3 mm	0,72	Windows and Daylighting Group (1992)
	6 mm	0,60	Windows and Daylighting Group (1992)	
Reflexivo	3 mm	0,26 – 0,37	Windows and Daylighting Group (1992) e Aroztegui (1983)	
Películas	Reflexiva	0,25 – 0,50		ASHRAE (1993)
	Absorvente	0,40 – 0,50		Aroztegui (1983)
Acrílico	Claro	0,85		ASHRAE (1993)
	Cinza ou Bronze	0,64		ASHRAE (1993)
	Refletido	0,18		ASHRAE (1993)
Policarbonato	Claro	0,85		ASHRAE (1993)
	Cinza ou Bronze	0,64		ASHRAE (1993)
Domos	Claro	0,70		ASHRAE (1993)
	Translúcido	0,40		ASHRAE (1993)
Tijolo de Vidro			0,56	ASHRAE (1993)

Fonte: Lamberts; Dutra; Pereira, 2014.

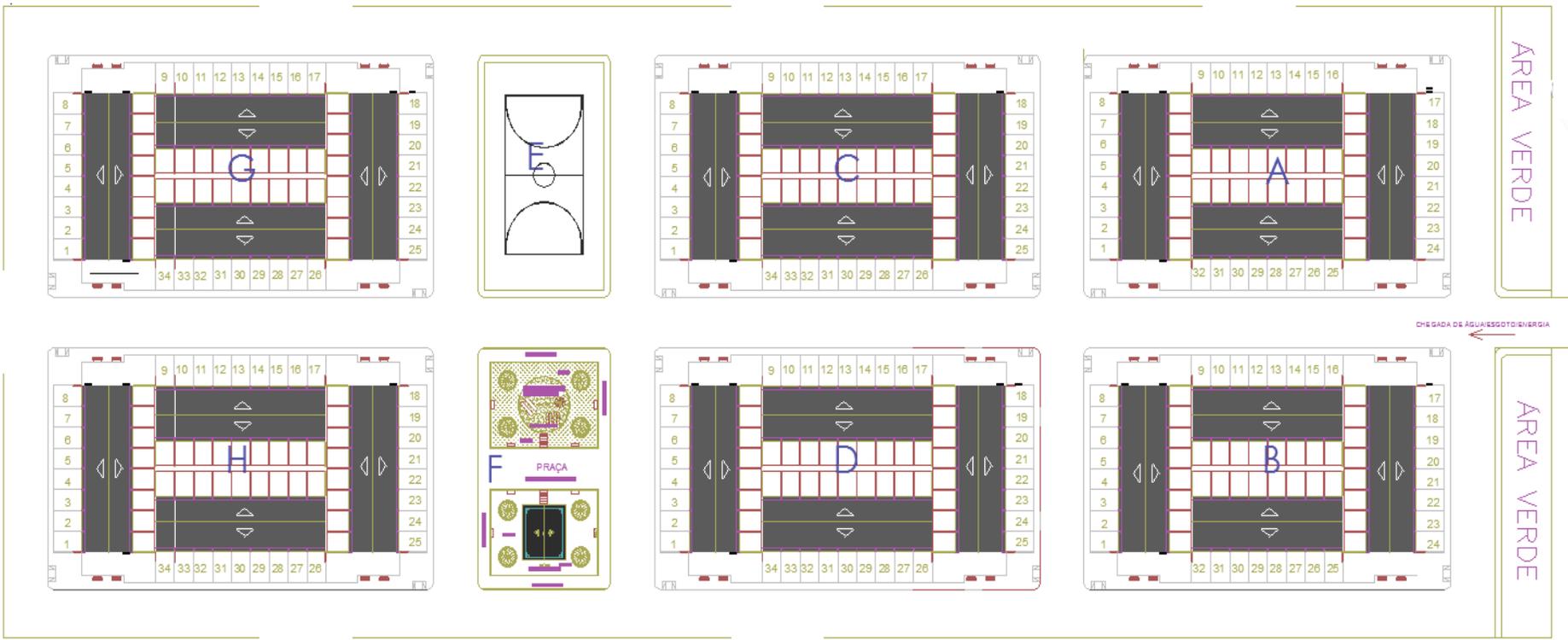
Tabela 3 - Valores de Fator Solar (FS) para aberturas com diferentes elementos de proteção solar.

Elementos de proteção	F _s ou C _s
Persiana de cor clara	0,60
Persiana de cor escura	0,80
Persiana inclinada a 45°	0,64
Persiana fechada	0,54
Cortina de tecido de trama aberta	
cor clara	0,30
cor escura	0,50
Cortina de tecido de trama fechada	
cor clara	0,70
cor escura	0,85
Persiana madeira vertical	0,08
Persiana metálica vertical	0,10
Persiana de enrolar, fechada, deixando 5% de abertura	
cor clara	0,80
cor escura	0,90
Toldo 45° translúcido *	0,36
Toldo 45° opaco *	0,20
Toldo	
cor clara	0,60
cor escura	0,80
Brisas horizontais	
cor clara	0,50
cor escura	0,60
Brisas verticais	
cor clara	0,40
cor escura	0,50

Fonte: Weber, 2005.

ANEXO 2

PLANTA BAIXA - CONDOMÍNIO TANCREDO NEVER (SEM ESCALA)



ANEXO 3

Ganhos de calor: $Q = (U \cdot \Delta t + FS \cdot I_g) \cdot A$
 Transmitância do vidro comum (U): 5,7 W/m².°C
 Temperatura interna: $T_n = 11,9 + 0,543 \cdot T_{m\u00e9dia}$
 Fator solar sem brise (FS): 0,87
 Fator solar com a aplicação do brise vertical e horizontal (FS): 0,5 ou 0,6
 Área da janela: 1m²

Hora	Temperatura (°C)			Radiação Incidente (W/m ²)	Carga Térmica (W)		Redução de carga(%)
	Externa	Interna	ΔT	I_g	Sem brise	Com brise	Eficiência
Solstício de Inverno - Fachada Norte							
06:00	22	23,8	-1,8	0	-10,52	-10,52	0,00
07:00	24	24,9	-0,9	163	136,50	76,19	44,18
08:00	25	25,5	-0,5	349	300,92	171,79	42,91
09:00	26	26,0	0,0	454	394,88	226,90	42,54
10:00	28	27,1	0,9	521	458,38	265,61	42,05
11:00	29	27,6	1,4	553	488,82	339,51	30,54
12:00	30	28,2	1,8	569	505,35	351,72	30,40
13:00	30	28,2	1,8	553	491,43	342,12	30,38
14:00	31	28,7	2,3	521	466,19	325,52	30,17
15:00	32	29,3	2,7	454	410,51	242,53	40,92
16:00	32	29,3	2,7	349	319,16	190,03	40,46
17:00	31	28,7	2,3	163	154,73	94,42	38,98
18:00	30	28,2	1,8	0	10,32	10,32	0,00
Solstício de Verão - Fachada Sul							
06:00	26	26,0	0,0	59	51,23	29,40	42,61
07:00	27	26,6	0,4	220	193,90	112,50	41,98
08:00	28	27,1	0,9	301	266,98	155,61	41,72
09:00	30	28,2	1,8	331	298,29	175,82	41,06
10:00	32	29,3	2,7	336	307,85	217,13	29,47
11:00	33	29,8	3,2	332	306,97	217,33	29,20
12:00	34	30,4	3,6	327	305,23	216,94	28,93
13:00	35	30,9	4,1	332	312,18	189,34	39,35
14:00	36	31,4	4,6	336	318,27	193,95	39,06
15:00	37	32,0	5,0	331	316,52	194,05	38,69
16:00	38	32,5	5,5	301	293,03	181,66	38,01
17:00	36	31,4	4,6	220	217,35	135,95	37,45
18:00	34	30,4	3,6	59	72,07	50,24	30,29

Hora	Temperatura (°C)			Radiação Incidente (W/m ²)	Carga Térmica (W)		Redução de carga(%)
	Externa	Interna	ΔT	Ig	Sem brise	Com brise	Eficiência
Solstício de Verão - Fachada Leste							
06:00	26	26,0	0,0	121	105,17	60,40	42,57
07:00	27	26,6	0,4	495	433,15	250,00	42,28
08:00	28	27,1	0,9	663	581,92	402,91	30,76
09:00	30	28,2	1,8	645	571,47	397,32	30,47
10:00	32	29,3	2,7	509	458,36	320,93	29,98
11:00	33	29,8	3,2	302	280,87	199,33	29,03
12:00	34	30,4	3,6	68	79,90	61,54	22,98
13:00	35	30,9	4,1	68	82,50	64,14	22,25
14:00	36	31,4	4,6	63	80,76	63,75	21,06
15:00	37	32,0	5,0	58	79,01	63,35	19,82
16:00	38	32,5	5,5	48	72,92	59,96	17,77
17:00	36	31,4	4,6	33	54,66	45,75	16,30
18:00	34	30,4	3,6	10	29,44	26,74	9,17
Solstício de Verão - Fachada Oeste							
06:00	26	26,0	0,0	10	8,60	5,90	31,40
07:00	27	26,6	0,4	33	31,21	22,30	28,55
08:00	28	27,1	0,9	48	46,87	33,91	27,65
09:00	30	28,2	1,8	58	60,78	45,12	25,77
10:00	32	29,3	2,7	63	70,34	53,33	24,18
11:00	33	29,8	3,2	68	77,29	58,93	23,75
12:00	34	30,4	3,6	68	79,90	61,54	22,98
13:00	35	30,9	4,1	302	286,08	204,54	28,50
14:00	36	31,4	4,6	509	468,78	331,35	29,32
15:00	37	32,0	5,0	645	589,70	415,55	29,53
16:00	38	32,5	5,5	663	607,97	428,96	29,44
17:00	36	31,4	4,6	495	456,60	273,45	40,11
18:00	34	30,4	3,6	121	126,01	81,24	35,53