

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ANÁLISE DE UMA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE UM AMBIENTE
CLIMATIZADO ALIMENTADO PELA REDE ELÉTRICA CONVENCIONAL E POR
PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS

por

Francisco Daniel Lima Silva

Dissertação para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia

Porto Alegre, Maio de 2008.

ANÁLISE DE UMA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE UM AMBIENTE
CLIMATIZADO ALIMENTADO PELA REDE ELÉTRICA CONVENCIONAL E POR
PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS

por

Francisco Daniel Lima Silva
Tecnólogo em Mecatrônica

Dissertação submetida ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, PROMEC, da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de

Mestre em Engenharia

Área de Concentração: Energia

Orientador: Prof. Dr. Paulo Otto Beyer

Aprovada por:

Prof. Dr. Arno Krenzinger, UFRGS - PROMEC

Prof. Dr. Heitor da Costa Silva, UFRGS - Arquitetura

Prof. Dr. Mário Henrique Macagnan, UNISINOS

Prof. Dr. Flávio José Lorini
Coordenador do PROMEC

Porto Alegre, 19, Maio de 2008

“Altíssimo, onipotente, bom Senhor, teus são o louvor, a glória, a honra e toda a benção. Só a Ti, Altíssimo, são devidos; e homem algum é digno de te mencionar. Louvado sejas, meu Senhor com todas as tuas criaturas, especialmente o senhor irmão Sol, que clareia o dia e com sua luz nos alumia. E ele é belo e radiante com grande esplendor: De ti, Altíssimo, é a imagem”.

São Francisco de Assis

*Dedico este trabalho aos meus pais.
Por terem dedicado suas vidas e sacrificado alguns sonhos por amor e dedicação à família.
Por todo suporte material e emocional para superar cada dificuldade enfrentada.
Ao meu irmão.
Pelo afeto, amizade e incentivo.
A minha esposa pelo apoio, compreensão, incentivo, desprendimento e companheirismo a cada
passo dado para a realização deste sonho.*

*Agradeço a Deus por sua presença viva agindo com misericórdia diante de todas as
minhas necessidades.*

A todos os amigos de Fortaleza e Porto Alegre pela intercessão e apoio.

Aos amigos do PROMEC por todo o auxílio e amizade.

*Ao orientador Paulo Otto Beyer por todo o conhecimento compartilhado e pelo tempo e
atenção prestadas de forma exclusiva e dedicada à orientação deste trabalho.*

Aos professores do PROMEC pelos preciosos ensinamentos prestados.

*A UFRGS e ao PROMEC pela receptividade e estrutura oferecida para a realização do
trabalho.*

A CAPES pelo apoio financeiro.

RESUMO

Neste trabalho se realiza um estudo exploratório de uma simulação computacional em que há um sistema fotovoltaico interligado a rede de um ambiente climatizado e avaliam-se os efeitos e possibilidades de interação entre o sistema de condicionamento de ar e o sistema fotovoltaico na edificação.

Utilizando a ferramenta de simulação computacional EnergyPlus, foram desenvolvidas duas linhas de análise para a aplicação fotovoltaica na edificação, a primeira que pretende minimizar o consumo elétrico anual e uma segunda que pretende aliviar o sistema elétrico no horário de pico observado para esta edificação, nas duas linhas de pesquisa também se estuda o efeito do sombreamento dos arranjos fotovoltaicos sobre a edificação.

A declaração detalhada de materiais, superfícies de transferência de calor, zonas térmicas, equipamentos e horários de utilização compõem o estudo de caso de forma personalizada, buscando aproximar-se da realidade.

Busca-se contribuir com o desenvolvimento de uma metodologia de análise de edificações com energia solar fotovoltaica através de simulações computacionais que possibilitam análises térmicas, energéticas e econômicas de edificações com sistemas fotovoltaicos.

Este estudo serve de base e motivação a uma aplicação da energia solar fotovoltaica como promissora alternativa energética em edificações, e incentiva o desenvolvimento de meios que levem a tecnologia solar fotovoltaica a se tornar cada vez mais viável e presente no cenário energético das edificações.

O trabalho exemplifica a atuação oportuna de sistemas fotovoltaicos com sistemas de refrigeração, e demonstra quantitativamente as vantagens da aplicação destes sistemas em edificações difundindo a aplicação da tecnologia solar fotovoltaica e a aplicação do *software* EnergyPlus como poderosa ferramenta de análise.

ABSTRACT

In this work it is realized an exploratory study of a computational simulation where it has a photovoltaic system connected to the net of a refrigerated environment and evaluates the effect and interaction possibilities between the conditioning system of air and the photovoltaic system in the building.

Using the computational simulation tool EnergyPlus, two lines of analysis for the photovoltaic application in the construction were developed, the first one that intends to minimize annual electric consumption and the second that intends to alleviate the electrical system in the peak time observed for this building.

The detailed declaration of materials, the heat transfer surfaces, zones, equipment and schedules of use compose the study of case and personalized form, searching to come close itself to the reality.

It is desired to contribute with the development of a methodology of analysis of buildings with photovoltaic solar energy through computational simulations that make possible thermal, energy and economic analyses of constructions with photovoltaic systems.

This study serves as a base and motivation to an application of the photovoltaic solar energy as promising energy alternative in buildings, and stimulates the development of ways that take the photovoltaic solar technology to become each more viable and present in the energy scene of the constructions.

The work shows the opportune performance of photovoltaic systems with refrigeration systems, and quantitatively demonstrates the advantages of the application of these systems in constructions spreading out the application of the photovoltaic solar technology, and the application of EnergyPlus software as a powerful tool of analysis.

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Motivação	1
1.2 Justificativas	1
1.3 Apresentação do problema	1
1.4 Objetivos	2
1.5 Estrutura do trabalho	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Simulação de edificações	4
2.2 Energia solar em edificações	4
2.3 Energia solar e condicionamento de ar	5
2.4 Simulação computacional de sistemas de refrigeração com energia solar.....	5
2.5 GreenBuilding	5
2.6 Simulação fotovoltaica com EnergyPlus.....	6
3 METODOLOGIA E CONSTRUÇÃO DO AMBIENTE VIRTUAL	7
3.1 Escolha do ambiente de estudo	8
3.2 Orientação geográfica	8
3.3 Materiais	9
3.3.1 Categoria material regular	9
3.3.2 Categoria material: AR.....	10
3.3.4 Materiais de janelas de vidro.....	10
3.3.5 Materias para sombreamento de janelas.....	10
3.4 Construção.....	10
3.5 Zona.....	11
3.6 Superfícies	11
3.6.1 Superfícies de transferência de calor.....	12
3.6.2 Sub superfícies de transferência de calor	13
3.6.3 Massas internas	13
3.7 Plantas	13
3.7.1 Planta baixa	13
3.7.2 Adaptações dos pisos para corrigir trocas de calor	14
3.7.3 Adaptações dos tetos para corrigir trocas de calor	15
3.7.4 Paredes	16
3.8 Superfícies de sombreamento.....	16
3.9 - Declaração das horas de uso ou atividades	18
3.10 Infiltração	19
3.11 Levantamento da utilização dos ambientes	20

3.11.1 Pessoas	20
3.11.2 Iluminação	20
3.11.3 Equipamentos elétricos	20
3.12 Considerações quanto à etapa construtiva.....	21
3.13 Tipos de simulação.....	22
3.13.1 Dia de projeto	22
3.13.2 Ano climático	23
3.14 Relatórios	23
3.15 Ar-condicionado primeira etapa.....	24
3.15.1 Representação no EnergyPlus	25
4 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO	26
4.1 Relacionando solar fotovoltaico e sistema de refrigeração	26
4.2 Modelos de representação do Sistema fotovoltaico	27
4.2.1 Simples	27
4.2.2 Modelo de um diodo	28
4.2.3 Sandia	28
4.2.4 Justificativa para iniciar com o modo simples	28
4.3 Efeito do sombreamento de arranjos fotovoltaicos	29
4.4 Considerações quanto ao dimensionamento	30
4.5 Estudo da orientação para o primeiro objetivo.....	31
4.5.1 Estudo da possibilidade de sombreamento entre os arranjos	34
4.6 Procedimento para a definição da orientação no segundo objetivo	38
4.6.1 Estudo da possibilidade de sombreamento entre os arranjos.....	41
4.7 Implementando modelo do diodo.....	41
4.8 Sugestão de inversor para o sistema.....	43
5 AR-CONDICIONADO ANÁLISE DE DADOS.....	44
6 ANÁLISE ECONÔMICA	47
6.1 Primeiro objetivo.....	48
6.1.1 Tarifa residencial aplicada no primeiro objetivo específico	50
6.2 Segundo objetivo.....	51
6.2.1 Tarifa residencial aplicada no Segundo objetivo específico	51
6.3 Custos com o sistema fotovoltaico.....	54
7 CONCLUSÃO	57
8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	58

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
OBRAS CONSULTADAS	62
APÊNDICE A	63
APÊNDICE B	64
APÊNDICE C	65
APÊNDICE D	66
APÊNDICE E.....	68
ANEXO A.....	70
ANEXO B	71

LISTA DE SÍMBOLOS

d	distância mínima	
h	altura em relação ao arranjo posterior.	[m]
ℓ	lado do triângulo da sombra	[m]
L1	comprimento do arranjo posterior que pode ser sombreado pela manhã	[m]
L2	comprimento do arranjo posterior que pode ser sombreado pela tarde	[m]
S	sombra projetada	[m]
φ	ângulo azimute solar	[grau]
β	ângulo da altitude solar	[grau]

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura.	TÍTULO	Pág.
Figura 3.1	– Foto reitoria.....	8
Figura 3.2	- Orientação do prédio	8
Figura 3.3	- Orientação do prédio	9
Figura 3.4	- Planta baixa	14
Figura 3.5	- Adaptações dos pisos.....	15
Figura 3.6	- Zonas do telhado.....	15
Figura 3.7	- Adaptações do teto	16
Figura 3.8	- Materiais das paredes	16
Figura 3.9	– Brises, a) vista lateral, b) vista frontal	17
Figura 3.10	- Vista frontal brise horizontal	17
Figura 3.11	- Fotos das fachadas com brises, a) brise vertical b) brise horizontal	18
Figura 3.12	– Fotos internas dos brises, a) brise vertical, b) mecanismo, c) brise horizontal	18
Figura 3.13	- Luminária fluorescentes	20
Figura 3.14	– Vistas do ambiente construído, a) vista do norte e b)vista do oeste	22
Figura 3.15	- Ar-condicionado com ciclo reverso.....	24
Figura 3.16	- Esquema do equipamento de refrigeração visto pelo EnergyPlus.....	25
Figura 4.1	- Circuito equivalente da célula fotovoltaica	28
Figura 4.2	- Representação do painel fotovoltaico a) célula no painel b) fileira de células em série c) fileiras em paralelo parcialmente sombreadas	29
Figura 4.3	- Área sombreada pela caixa d'água	30
Figura 4.4	- Arranjos com 80 painéis norte 20 graus	31
Figura 4.5	- Ângulo azimute e altitude solar	34
Figura 4.6	- Cálculo da sombra	34
Figura 4.7	- Cálculo da distância mínima	35
Figura 4.8	- Ângulo de inclinação	39
Figura 5.1	- Gráfico anual do caso 3 do primeiro objetivo	45
Figura 5.2	- Gráfico anual do caso 3 do segundo objetivo.....	46
Figura 6.1	- Fluxograma da tarifa horo-sazonal verde	47
Figura 6.2	– Médias mensais para as 16h para o melhor caso do segundo objetivo.....	52
Figura 6.3	– Médias mensais para as 16h para o melhor caso do primeiro objetivo	53

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela.	TÍTULO	Pág.
Tabela 3.1 -	Declaração da construção.....	11
Tabela 3.2 -	Exemplo de superfícies de transferência de calor.....	12
Tabela 3.3 –	Cálculo da infiltração	19
Tabela 3.4 -	Descrição de equipamentos e potências.....	21
Tabela 4.1 -	Orientações propostas para o objetivo 1	32
Tabela 4.2 -	Efeito de diferentes orientações na carga térmica.....	33
Tabela 4.3 -	Dados de entrada.....	36
Tabela 4.4 -	Dados de entrada do teste de sombreamento, caso 1 do arranjo 2 para o 3.....	36
Tabela 4.5 -	Exemplo da planilha de cálculos.....	37
Tabela 4.6 -	Teste de sombreamento caso 1.....	37
Tabela 4.7 -	Estudo da orientação para as 16h (horário de pico).....	39
Tabela 4.8 -	Propostas para o objetivo 2	40
Tabela 4.9 -	Efeito de diferentes orientações na carga térmica.....	40
Tabela 4.10 -	Dados de entrada do modelo de um diodo.....	41
Tabela 4.11 -	Características do inversor	43
Tabela 5.1 -	Análise de dados para seleção da máquina apropriada	44
Tabela 5.2 -	Estimativa do custo com o sistema de ar-condicionado	45
Tabela 6.1 –	Cálculo do contrato de demanda	48
Tabela 6.2 –	Análise econômica para o primeiro objetivo.....	49
Tabela 6.3 –	Tarifa residencial aplicada às orientações propostas.....	50
Tabela 6.4 –	Análise econômica para o segundo objetivo tarifa horo-sazonal	51
Tabela 6.5 –	Análise econômica para o segundo objetivo específico tarifa residencial	52
Tabela 6.6 –	Porcentagem da conversão fotovoltaica em relação consumo total	54
Tabela 6.7 -	Estimativa do custo de instalação do sistema fotovoltaico	55
Tabela 6.8 -	Estimativa do tempo para pagamento do sistema com a economia gerada na tarifa horo-sazonal verde	55
Tabela 6.9 -	Estimativa do tempo para pagamento do sistema com a economia gerada na tarifa residencial.....	56

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

A motivação deste trabalho é contribuir com a demonstração de uma simulação computacional, que serve de base e estímulo à aplicação da energia solar fotovoltaica em edificações como promissora alternativa energética, além de difundir a aplicação da mesma, e também a aplicação do *software* EnergyPlus como poderosa ferramenta de análise.

Os benefícios, tanto econômicos quanto ecológicos, da aplicação da energia solar fotovoltaica no entorno construído não estão completamente estabelecidos. Existe a necessidade de demonstrar que a integração de instalações solares fotovoltaicas ao entorno construído é muito mais que simplesmente uma boa idéia, ela pode também trazer grandes benefícios ao usuário, ao sistema elétrico nacional e a sociedade [Rüther, 2004].

1.2 Justificativas

Tendo em vista a larga utilização de sistemas de ar condicionado e seu proporcional consumo energético e também o grande potencial da energia solar fotovoltaica como fonte limpa e renovável, um estudo exploratório da união oportuna destes dois sistemas se faz pertinente, dentro de uma visão atual e futurista quanto à utilização de energia, aliada à consciência ambiental.

1.3 Apresentação do problema

Neste trabalho será analisado um ambiente construído, no caso o sétimo e último andar de um prédio, com todas suas zonas internas climatizadas e que diariamente consomem considerável parcela da energia demandada com climatização. Será analisado como a energia solar fotovoltaica poderia contribuir à melhora energética deste sistema e qual a relação custo benefício desta aplicação.

1.4 Objetivos

Geral:

O presente trabalho busca uma metodologia de análise termo-energética de edificações com um sistema fotovoltaico, uma metodologia que avalie as vantagens e desvantagens destes sistemas e sua oportuna atuação cooperativa junto ao sistema de refrigeração.

Este trabalho quer dar visibilidade ao uso do *software* EnergyPlus como ferramenta de simulação e análise de sistemas fotovoltaicos integrados às edificações.

Específicos:

O primeiro objetivo específico é propor e avaliar uma instalação fotovoltaica que proporcione uma redução no consumo elétrico anual, equilibrando conversão fotovoltaica e redução da carga térmica do ambiente estudado por efeito de sombreamento.

O segundo objetivo específico é propor e avaliar uma instalação fotovoltaica que busca aproximar horário de pico de potência da conversão fotovoltaica com o horário de pico de consumo das cargas, além de contribuir na redução da carga térmica do ambiente estudado por efeito de sombreamento.

1.5 Estrutura do trabalho

O trabalho está dividido da seguinte forma:

- Capítulo 2

Consta na revisão bibliográfica abordando simulações de edificações, a aplicação de energia solar em edificações, sistemas que utilizam energia solar e condicionamento de ar, simulação computacional de sistemas de ar-condicionado com energia solar e GreenBuilding.

- Capítulo 3

Apresenta o software EnergyPlus como metodologia para o desenvolvimento do trabalho e detalha os passos mais relevantes para a construção do ambiente virtual.

- Capítulo 4

Destaca o elo funcional entre a atuação do sistema fotovoltaico e o sistema de refrigeração.

Apresentam-se os modelos de representação solar fotovoltaica.

Estudam-se diferentes orientações fotovoltaicas para alcançar os objetivos propostos.

Apresentam-se as características de inversor compatível com o sistema proposto.

- Capítulo 5

Verifica-se o dimensionamento das máquinas de ar-condicionado e se faz uma estimativa de custo das mesmas.

- Capítulo 6

Desenvolve-se a análise econômica das orientações proposta visando selecionar a opção mais rentável.

Estima-se o valor da instalação fotovoltaica e o tempo de retorno do investimento.

- Capítulo 7

São apresentadas as conclusões do trabalho.

- Capítulo 8

São apresentadas sugestões de trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Simulação de edificações

Existem diversos programas dedicados à simulação de edificações, e um trabalho que realiza uma bateria de ensaios comparativos entre alguns destes programas é o de Crawley et al., 2005, onde é enfatizada esta vasta gama de programas de simulação que foram desenvolvidos e são aperfeiçoados pela comunidade de estudos energéticos de edificações. Em seu trabalho é realizada uma comparação das características e capacidades dos vinte principais programas de simulação de edificações: BLAST, Bsim, DeST, DOE-2.1E, ECOTECT, Ener-Win, Energy Express, Energy-10, EnergyPlus, Equest, ESP-r, IDA ICE, IES<VE>, HAP, HEED, PowerDomus, SUNREL, Tas, TRACE e TRNSYS. A comparação foi baseada em informações dos fabricantes nas seguintes categorias: características de modelagem geral, cargas da zona, pacote da construção, iluminação diária e solar, infiltração, ventilação e fluxo de ar entre zonas, sistemas de energias renováveis, sistemas e equipamentos elétricos, sistemas de refrigeração, equipamentos de refrigeração, emissões ambientais, avaliação econômica, disponibilidade de dados de clima, relatórios de resultados, validação, interface de usuários, *links* para outros programas, e disponibilidade.

Também se destacam outros *softwares* dedicados à simulação de edificações, são eles: THEDES, NBSLD, COMFIE, ARQUIPAK, CASAMO-CLIM, SERI-RES. Desenvolvidos no Brasil tem-se o COBRA, ACTERM desenvolvido na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e o ARQUITROP desenvolvido na universidade Federal de São Carlos [Oliveira, 2003].

2.2 Energia solar em edificações

A pesquisa de Salamoni et al., 2004, conclui que a conversão solar fotovoltaica integrada à edificação e interligada à rede elétrica pública traz inúmeros benefícios à concessionária, tanto de caráter energético quanto financeiro. Pelo fato de o sistema ser instalado próximo do ponto de consumo, as perdas por transmissão e distribuição ocorrentes na conversão centralizada convencional são eliminadas, fazendo com que aumente a eficiência energética da concessionária. Por mais que, em alguns casos, o sistema não seja auto-suficiente, em termos de quantidade de energia, haveria um benefício tanto para o sistema de transmissão e distribuição, quanto para a diminuição de sobrecarga da rede elétrica.

Também Frankl et al., 1998, demonstrou que a integração de sistemas fotovoltaicos a construções mostrou vantagens quando comparado a instalações fotovoltaicas convencionais de elevada potência em campos abertos, tanto do ponto de vista de conversão de energia quanto do ponto de vista da emissão de carbono proporcional para o desenvolvimento das instalações. Instalações locais têm vantagem de utilizar as estruturas de telhados e fachadas das construções, e de estar próximas às cargas que atendem.

2.3 Energia solar e condicionamento de ar

Existem diversas formas de aplicação da energia solar para refrigeração, como é demonstrado por Oliveira, 1998, que trata em seu trabalho da otimização de uma câmara frigorífica portátil termoelétrica, acionada por células solares. Tal câmara pode ser utilizada na manutenção e transporte de pequena quantidade de produtos a uma temperatura de aproximadamente 10° C, tais como, remédios e vacinas a locais remotos, e bebidas e alimentos de uso pessoal. A câmara consiste basicamente de uma caixa isolada termicamente, um refrigerador termoelétrico fixado lateralmente à caixa e um painel fotovoltaico usado como tampa da caixa ou separada da mesma. O refrigerador termoelétrico consiste de módulos termoelétricos com trocadores de calor tipo placa plana aletada com convecção natural.

2.4 Simulação computacional de sistemas de refrigeração com energia solar

No campo da simulação computacional Cherif, et al., 2002, apresentam a performance e o comportamento dinâmico de um sistema de refrigeração alimentado por painéis fotovoltaicos com a acumulação de energia em forma de gelo, para um refrigerador de pequeno porte.

2.5 GreenBuilding

Segundo U.S. Green Building Council, 2005, dentro do contexto de GreenBuilding dois critérios dão pontuação a uma edificação quanto ao uso de energias renováveis, o primeiro se a edificação utiliza energia renovável local, o segundo se a edificação recebe energia de uma fonte renovável. Se a construção tem fontes de energia renovável no local, pode receber de 1 a 3 pontos de acordo com a porcentagem de suprimento que a energia renovável oferece. Se a construção recebe energia de alguma fonte renovável, recebe um ponto por esta iniciativa. Esta pontuação tem a intenção de encorajar o desenvolvimento e uso de fontes de energias

renováveis, com o objetivo de reduzir os impactos econômicos e ambientais associados ao uso de combustíveis fósseis.

Um exemplo de estudo computacional para GreenBuilding é o trabalho de Chimack et al., 2003, que realiza uma simulação computacional no programa DOE 2.1E, para avaliar as oportunidades que o projeto de uma escola tem em se adaptar a alguns padrões GreenBuilding, e compara os benefícios às especificações do projeto original.

2.6 Simulação fotovoltaica com EnergyPlus

Uma solução atrativa para a sustentabilidade presente e futura é a integração de painéis fotovoltaicos no ambiente construído. Uma simulação de painéis fotovoltaicos aplicados a uma casa de dois andares em Sébia – Bulgária, foi desenvolvida com o *software* EnergyPlus. Foi investigada a eletricidade convertida e a máxima potência, para determinar qual a orientação da casa iria propiciar a maior média anual de conversão solar. Além disso, foi determinado que para a aplicação economicamente viável destes painéis no telhado sul da edificação, seria necessário um subsídio do governo em torno de 50% [Bojić, 2006].

3 METODOLOGIA E CONSTRUÇÃO DO AMBIENTE VIRTUAL

A metodologia empregada consta em desenvolver e analisar simulações computacionais no EnergyPlus, envolvendo análise térmica e energética do ambiente estudado.

O EnergyPlus tem sua raiz nos códigos de dois programas o BLAST e DOE-2. BLAST (*Building Loads Analysis and System Thermodynamics*) e DOE-2 foram ambos desenvolvidos e lançados entre o final dos anos 70 e começo dos anos 80 como ferramentas de simulação energética.

Os públicos alvo eram os engenheiros projetistas e arquitetos que desejassem dimensionar um sistema de ar-condicionado apropriado, desenvolver estudos de *retrofit* para análises de custos do ciclo de vida, e otimizar a performance energética.

O EnergyPlus calcula as cargas de aquecimento e refrigeração necessárias para manter os *set points*, calcula cargas das serpentinas, consumos de energia e muitos outros detalhes da edificação que são necessários para verificar que a simulação está executando como o edifício real [EnergyPlus, 2007].

Outra característica do EnergyPlus é que ele é gratuito e tem seu código aberto para análise, avaliação pública, etc. Assim os desenvolvedores esperam que muitos colaboradores possam contribuir simultaneamente com a melhora do programa mantendo-o num patamar tecnologicamente avançado [EnergyPlus, 2007].

A construção do ambiente virtual será demonstrada a seguir pela apresentação dos parâmetros de entradas mais relevantes à simulação, com o objetivo de apresentar o nível de detalhamento dos dados de entrada, assim como características relevantes ao desenvolvimento da simulação.

Foram realizadas visitas ao local com o objetivo de colher os dados necessários à construção do ambiente virtual.

Contribuíram nesta etapa com considerável disponibilidade, tanto servidores do ambiente, na obtenção de horários de utilização e descrição de equipamentos, quanto servidores do setor de obras da UFRGS, com o fornecimento de plantas e informações preciosas quanto à construção do ambiente e materiais utilizados.

A seqüência aqui adotada tem caráter demonstrativo e não é necessariamente a seqüência de entrada de dados obrigatória no EnergyPlus.

3.1 Escolha do ambiente de estudo

Foi escolhido o sétimo e último andar do prédio da reitoria da UFRGS, lado noroeste, para o trabalho em questão, em função da proximidade, acesso e condição favorável para instalação de painéis fotovoltaicos. A figura 3.1 mostra uma fotografia da reitoria da UFRGS.



Figura 3.1 – Foto reitoria

3.2 Orientação geográfica

A localização geográfica do prédio da reitoria da UFRGS na cidade de Porto Alegre tem os seguintes dados de entrada no programa de simulação, latitude: $-30^{\circ},02'$; longitude: $-51^{\circ},13'$; fuso horário: -3 horas e elevação: 4 m.

Para o correto posicionamento geográfico da construção, se declara a informação de que o norte da construção está deslocado com 45° , no sentido horário positivo, em relação ao norte real, como demonstrado na figura 3.2.

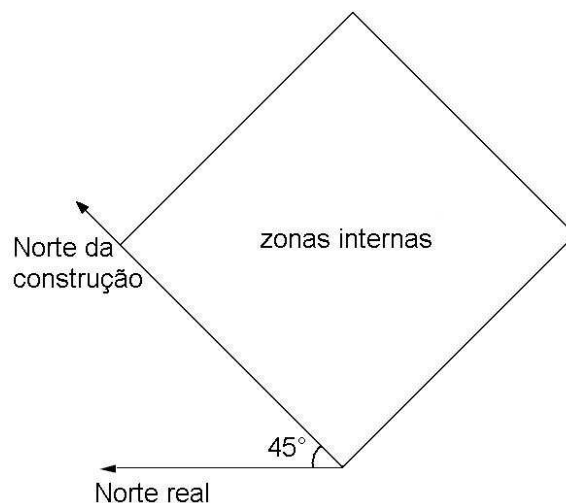


Figura 3.2 - Orientação do prédio

A figura 3.3 mostra uma vista aérea do prédio da reitoria da UFRGS.



Figura 3.3 - Vista aérea do prédio da reitoria da UFRGS

3.3 Materiais

Para a simulação é necessária uma descrição detalhada dos materiais que vão compor a estrutura. Os materiais estão organizados em categorias, que por sua vez podem ter diversos objetos declarados.

Para exemplificar serão demonstrados alguns objetos por cada categoria, de acordo com a necessidade de exemplificação e descrição das possibilidades de simulação.

As características dos materiais foram obtidas de bibliotecas de ensaios confiáveis, porém tendo um conhecimento de um dado verídico característico de um determinado material, pode-se declarar um novo material e observar o comportamento da construção em relação ao mesmo.

3.3.1 Categoria material regular

Essa categoria é usada para descrever apenas elementos opacos da construção, e é utilizada quando se conhecem a rugosidade, espessura, condutividade, densidade, calor específico, e absorvâncias térmica, solar e visível de um material [EnergyPlus, 2007].

3.3.2 Categoria material: AR

Esse material é usado para descrever espaços de ar num elemento opaco da construção, pela declaração de sua resistência térmica [EnergyPlus, 2007].

3.3.4 Materiais de janelas de vidro

Esta categoria caracteriza o material vidro, para posteriormente ser utilizado em janelas ou portas.

Dentre a características declaradas para o vidro tem-se, espessura, transmitância solar na incidência normal, refletância solar na incidência normal, exterior e interior, transmitância visível na incidência normal, refletância visível na incidência normal, exterior e interior, emissividade hemisférica, exterior e interior e a condutividade [EnergyPlus, 2007].

3.3.5 Materiais para sombreamento de janelas

Este objeto especifica as propriedades dos materiais utilizados em persianas, venezianas e cortinas.

As propriedades de refletância e emissividade são consideradas as mesmas nos dois lados do objeto. Sombras são consideradas perfeitamente difusas (toda a radiação transmitida e refletida é hemisfericamente difusa) com transmitância e refletância independentes do ângulo de incidência.

Os dados de entrada mais relevantes são transmitância solar visível e térmica, refletância solar e visível, emissividade térmica e hemisférica, espessura, condutividade e distância do vidro ao objeto [EnergyPlus, 2007].

3.4 Construção

As construções de paredes, tetos, pisos, janelas e portas são montadas a partir dos materiais declarados. Cada camada da construção é o nome de um material listado na ordem de fora para dentro. Para a simulação em estudo foram criados nove objetos.

Uma característica do EnergyPlus é que podem ser declaradas até dez camadas por objeto e oito para janelas [EnergyPlus, 2007].

A tabela 3.1 mostra duas superfícies de zonas que estão em contato. A declaração da laje da cobertura deve ter a ordem inversa do teto da reitoria, para que o programa aceite o cálculo das trocas de calor.

Tabela 3.1 - Declaração da construção

Campo	Objeto 1	Objeto 2
Nome	Laje cobertura	Teto reitoria
Camada externa	PLACA DE GESSO 11mm	BLOCO DE CONCRETO PESADO 10 cm
Camada 1	ESPAÇO DE AR - Horizontal	ESPAÇO DE AR - Horizontal
Camada 2	BLOCO DE CONCRETO PESADO 10 cm	BLOCO DE CONCRETO PESADO 10 cm
Camada 3	ESPAÇO DE AR - Horizontal	ESPAÇO DE AR - Horizontal
Camada 4	BLOCO DE CONCRETO PESADO 10 cm	PLACA DE GESSO 11mm

3.5 Zona

As definições de zonas térmicas e superfícies são fundamentais para a realização da simulação. Os grupos de objetos das zonas e das superfícies descrevem as características da zona térmica assim como os detalhes da modelagem de cada superfície [EnergyPlus, 2007]. Na declaração da zona têm-se seu ponto de origem, com as coordenadas numéricas de cada eixo X,Y e Z.

Para a construção desta simulação foram necessárias 14 zonas térmicas.

3.6 Superfícies

O EnergyPlus tem diversos tipos de representações de superfícies, dentre estas foram utilizadas no trabalho as seguintes:

- Superfícies de transferência de calor
- Sub-superfícies de transferência de calor
- Superfícies de sombreamento destacadas da construção
- Superfícies de sombreamento anexadas a construção

3.6.1 Superfícies de transferência de calor

As superfícies de transferência de calor são usadas para descrever elementos da construção como, paredes, pisos, forros e telhados.

Este tipo de superfície é necessária em todos os cálculos da simulação, sendo que deve haver pelo menos uma superfície de transferência de calor por zona [EnergyPlus, 2007].

Na declaração destas superfícies é determinado o tipo de interação que esta superfície tem com o ambiente exterior a ela, podendo ser contato com o solo, com o ar exterior, com uma superfície de outra zona, com uma superfície fictícia ou considerar-se um coeficiente específico para os cálculos de trocas de calor [EnergyPlus, 2007].

A tabela 3.2 exemplifica a declaração das superfícies de transferência de calor onde por exemplo um objeto pode estar exposto ao ambiente exterior como é o caso da parede s1pa4, ou pode trocar calor com outra superfície como é o caso de s1teto1, ou pode trocar calor com outro ambiente não condicionado.

Este ambiente não condicionado é declarado na categoria de temperatura de salas contíguas, com o objeto nomeado Amb n cond, contendo os dados numéricos necessários a esta consideração de troca de calor com um ambiente não condicionado.

Tabela 3.2 - Exemplos de superfícies de transferência de calor

Campo	Objeto 1	Objeto 2	Objeto 3
Nome da superfície fornecida pelo usuário	S1pa4	S1teto1	corredor pisoa
Tipo de superfície	parede	Teto	piso
Nome da construção da superfície	Parede 45	Teto reitoria	Piso reitoria
Nome da zona	Sala1	Sala1	Corredor e sala5
Ambiente exterior à face	Ambiente exterior	Superfície de outra zona	Temperatura de salas contíguas
Nome do objeto exterior a face		Cober 1 piso 1	Amb n cond
Exposição ao sol	Exposto ao sol	Sem sol	Sem sol
Exposição ao vento	Exposto ao vento	Sem vento	Sem vento

Para a construção deste trabalho foram necessários 158 objetos do tipo de superfície de transferência de calor.

3.6.2 Sub superfícies de transferência de calor

A classe de superfícies intitulada sub-superfícies serve para caracterizar janelas, paredes e portas de madeira ou vidro. A sub-superfície herda algumas propriedades da superfície em que está inserida [EnergyPlus, 2007].

Para esta simulação foram necessários 29 objetos do tipo sub-superfícies.

No caso das janelas, também pode ser informado o nome do dispositivo de controle de sombreamento interno.

3.6.3 Massas internas

A categoria intitulada massas internas serve para especificar parâmetros de materiais e áreas de itens, em que o espaço é importante para os cálculos de transferência de calor, mas não é necessariamente importante a sua geometria.

São declarados para cada objeto desta categoria o material que a compõe e sua respectiva área [EnergyPlus, 2007].

Nesta simulação esta categoria foi usada para representar paredes internas, os demais móveis dos ambientes foram considerados materiais leves e não foram representados como massas internas.

3.7 Plantas

Para uma melhor compreensão do ambiente em estudo, quanto à representação das trocas de calor entre superfícies e respectivos materiais construtivos, seguem figuras com as plantas explicativas.

3.7.1 Planta baixa

Estão enumerados 11 ambientes, mas para efeito de simulação existem 10 zonas térmicas, pois salas 9 com a 11, e a sala 5 com o corredor, formam respectivamente duas zonas térmicas.

Serão dimensionados futuramente 10 equipamentos de condicionamento de ar.

Na figura 3.4 a rosa dos ventos indica a orientação do prédio em relação aos pontos cardeais.

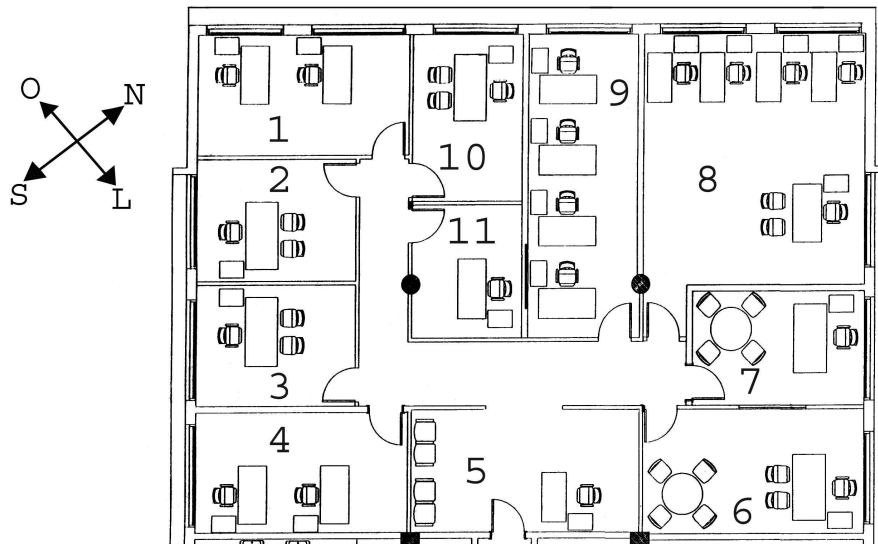


Figura 3.4 - Planta baixa

Para informar as corretas trocas de calor foram observadas as características dos andares superior e inferior. Estas observações geraram as seguintes adaptações.

3.7.2 Adaptações dos pisos para corrigir trocas de calor.

O sexto andar possui áreas não condicionadas, logo foram realizadas modificações no piso do sétimo andar, para adequar as corretas trocas de calor com o ambiente vizinho.

Uma superfície declarada não pode trocar calor com dois ambientes distintos, por isso foi necessária a divisão das superfícies, para que suas partes possam estar geometricamente acopladas com o ambiente vizinho, com a correta declaração para o cálculo de trocas de calor.

Este mesmo critério se observa em relação à declaração de paredes, se uma parede troca calor com duas zonas diferentes, a mesma tem de ser dividida para que o programa possa realizar os cálculos corretamente.

Na figura 3.5 as áreas hachuradas representam as áreas não condicionadas no sexto andar, logo as salas 1, 5, o corredor e a sala 9, tiveram seus pisos divididos em A e B.

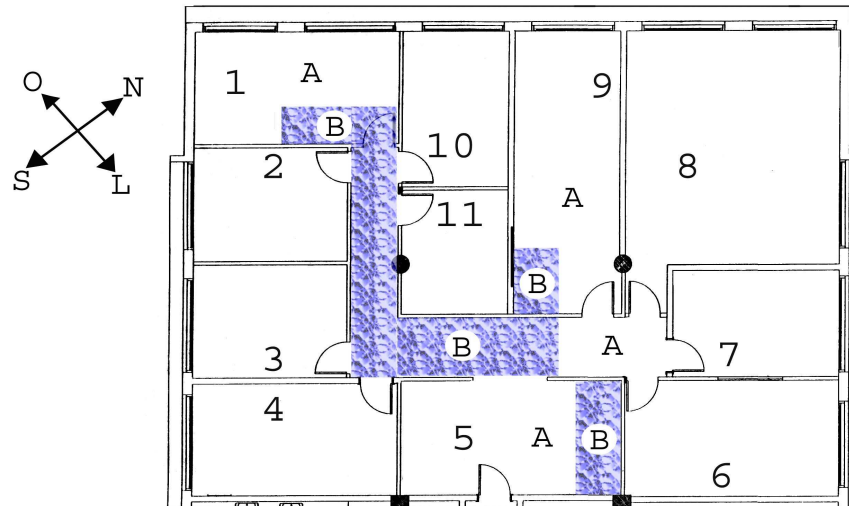


Figura 3.5 - Adaptações dos pisos

3.7.3 Adaptações dos tetos para corrigir trocas de calor.

A figura 3.6 apresenta a cobertura do sétimo andar, onde 1, 2, 3 e 4 são as respectivas zonas térmicas da cobertura.

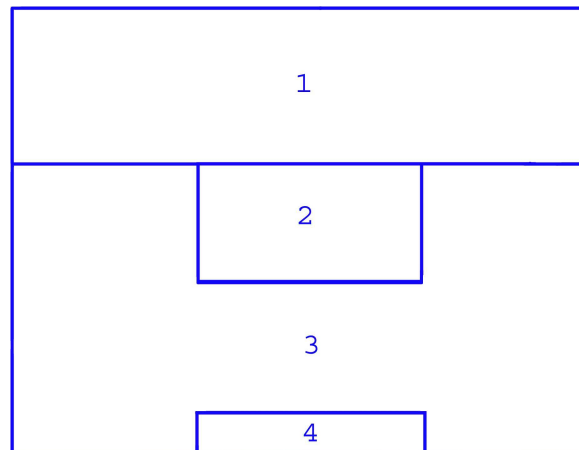


Figura 3.6 - Zonas do telhado

Para adequar as trocas de calor com as zonas do telhado, o teto das salas 2, 5, 6, 9 e corredor foram divididos em A e B, e da sala 8 em A, B e C, como demonstrado na figura 3.7.

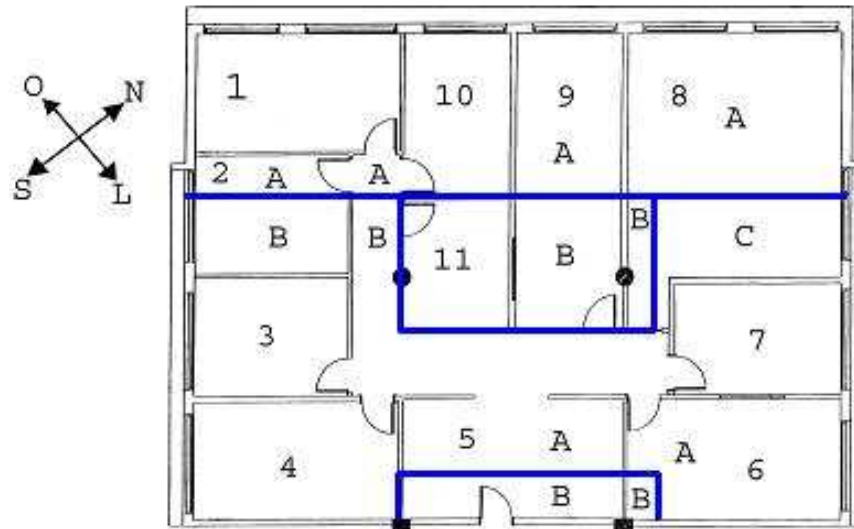


Figura 3.7 - Adaptações do teto

3.7.4 Paredes

Os materiais declarados no campo construção são indicados na declaração das paredes para indicar a sua construção, a figura 3.8 indica os materiais utilizados em cada parede.

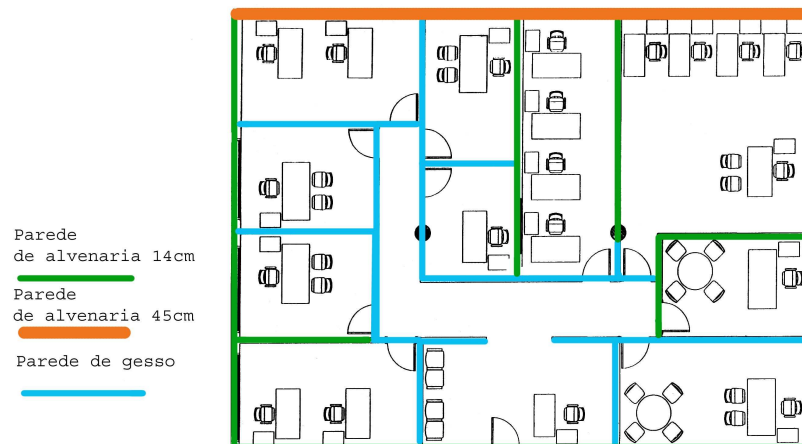


Figura 3.8 - Materiais das paredes

3.8 Superfícies de sombreamento

Superfícies de sombreamento podem ser declaradas com sendo ou não parte da construção, denominadas destacada ou anexada. Para este trabalho foram utilizados os dois modos, o anexado para as caixas dos brises e o destacado para os brises.

Os brises desempenham um importante papel na proteção solar do ambiente barrando os raios solares antes que estes penetrem no ambiente. Pode-se observar por dados de simulações diversas que o uso dos brises é bastante favorável à redução do aquecimento nos ambientes.

Os brises verticais presentes nas salas 1, 10, 9 e 8 possuem uma mobilidade, possibilitando a mudança do ângulo em aproximadamente 180°, porém se observa que geralmente os usuários mantêm os mesmos numa única posição permanentemente.

Nas simulações desenvolvidas neste trabalho, os brises estão orientados para barrar o sol da tarde, seguindo a orientação real predominante no ambiente.

Pode-se observar a vista lateral do brise vertical com a sala em corte na figura 4.9 (a), e uma vista frontal na figura 3.9 (b).

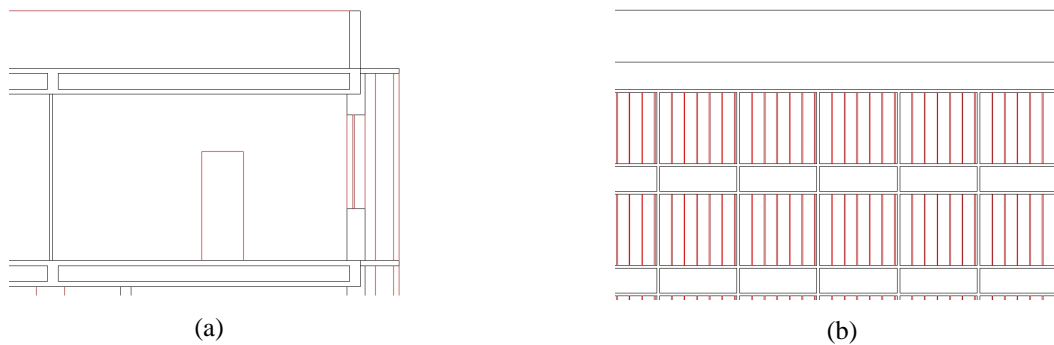


Figura 3.9 – Brises, a) vista lateral, b) vista frontal

As salas 6, 7 e 8 também possuem janelas com brises horizontais fixos na parte superior como mostra a figura 3.10.

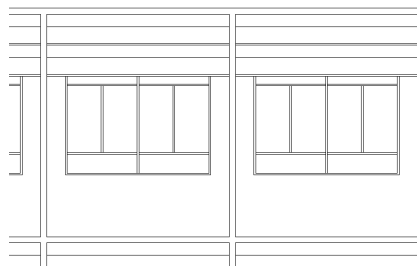


Figura 3.10 - Vista frontal brise horizontal

A figura 3.11 mostra fotos das fachadas que possuem brises.



Figura 3.11 - Fotos das fachadas com brises, a) brise vertical b) brise horizontal

Na figura 3.12 têm-se fotos respectivamente da vista interna de uma sala com brise vertical, do mecanismo de posicionamento dos brises verticais, e uma foto dos brises horizontais.

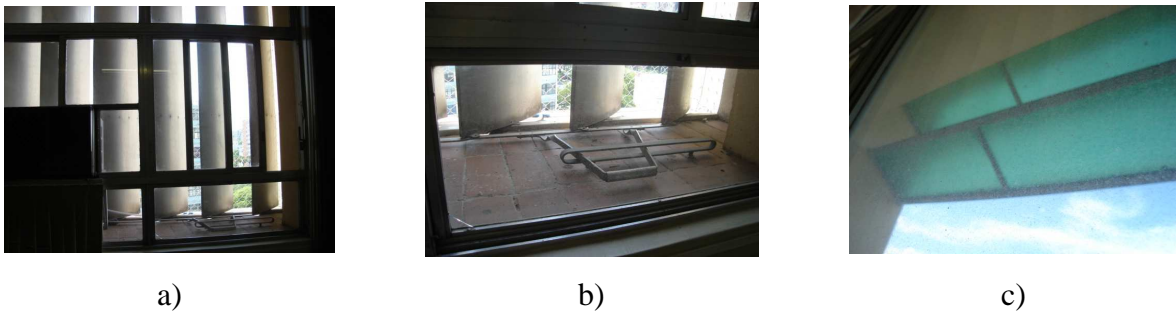


Figura 3.12 – Fotos internas dos brises, a) brise vertical, b) mecanismo, c) brise horizontal

A entrada de dados dos brises consta na indicação dos vértices de cada brise com referência a origem do prédio.

O programa também disponibiliza um tipo de entrada mais complexo para a representação de brises, inclusive com controle automático do ângulo dos brises, porém essa representação só pode ser acoplada em frente à área das janelas, o que não é o nosso caso, pois os brises do ambiente em estudo sombreiam além da janela, parte da parede do ambiente.

3.9 - Declaração das horas de uso ou atividades

Diversos elementos da simulação necessitam da indicação de horas de uso ou atividades, dentre eles podem-se citar Lâmpadas, máquinas em geral, horários de atividades das pessoas, períodos específicos para a utilização de coeficientes de vestimenta.

Esses perfis são declarados em objetos com tabelas indicativas e informados em campos específicos de cada elementos.

3.10 Infiltração

A infiltração é um fluxo de ar não intencional que penetra no ambiente das zonas térmicas. As infiltrações são geralmente causadas pela abertura e fechamento de portas exteriores, e frestas de janelas e construção [EnergyPlus, 2007].

A quantidade máxima de infiltração esperada é declarada em m^3/s , por zona.

Para este trabalho foi considerada a infiltração de 0,75 trocas do volume do ambiente por hora em cada zona, valor recomendado pela ASHRAE, 2005, como segue demonstrado na tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Cálculo da infiltração

Zona	Volume (m^3)		Vazão considerada por hora		Infiltração (m^3/s)
1	≈ 46,5	X 0.75	34,884	/3600	0,00969
2	≈ 34,4		25,8675		0,00718
3	≈ 34,4		25,8675		0,00718
4	≈ 46,6		34,95		0,00970
5	≈ 49,8		37,4025		0,01038
6	≈ 48,4		36,3225		0,01009
7	≈ 34,6		25,965		0,00721
8	≈ 111,2		83,46		0,02318
9	≈ 60		45,0525		0,01251
10	≈ 33		24,8175		0,00689

3.11 Levantamento da utilização dos ambientes

3.11.1 Pessoas

Esta categoria é utilizada para modelar o efeito dos ocupantes nas condições do espaço, com declarações para cada zona. Caso desejado, também se define qual o modelo de relatório para a análise do conforto térmico.

Informações relevantes na declaração das pessoas são a quantidade de ocupantes por zona e a fração radiante por pessoa.

A fração radiante é um número decimal entre 0 e 1 que serve para caracterizar o tipo do calor cedido das pessoas para a zona, valor usado 0,5. Este número é multiplicado pela energia sensível total emitida por pessoa, para dar o total da radiação de ondas longas emitida das pessoas ao ambiente [EnergyPlus, 2007].

Foi retirado da tabela de médias de metabolismo para várias atividades, o valor adequado às atividades de escritório, que é de 108 W/pessoa [EnergyPlus, 2007].

O horário de utilização dos ambientes é de 8 às 18h, com intervalo de uma hora de almoço.

3.11.2 Iluminação

Nesta categoria se declaram informações específicas sobre o sistema de iluminação das zonas, incluindo potência elétrica, modos de operação e como o calor emitido pelas lâmpadas é termicamente distribuído [EnergyPlus, 2007].

Nesta simulação todas as lâmpadas são fluorescentes e do tipo embutidas no forro de gesso, como mostra a figura 3.13, cada configuração tem coeficientes específicos de retorno de ar, fração radiante e fração visível.



Figura 3.13 - Luminária fluorescentes

3.11.3 Equipamentos elétricos

A declaração dos equipamentos elétricos se faz zona a zona, juntamente com a especificação da frequência de funcionamento, potência de equipamentos e fração radiante.

Para estabelecer as potências médias dos computadores e demais periféricos, foram realizadas algumas medições demonstradas em detalhes no apêndice A. A tabela 3.4 apresenta os valores de potência declarados por zona baseado no estudo apresentado no anexo A.

Tabela 3.4 - Descrição de equipamentos e potências

	Equipamento	Potência (W)	Soma
Sala 1	2 comp/comum*	369	393
	1 impressora jato de tinta	24	
Sala 2	1 comp/comum		184
Sala 3	4 comp/comum		738
Sala 4	3 comp/comum	553	602
	2 impressoras	49	
Sala 5	1 comp/comum	184	1684
	1 xerox	1500	
Sala 6	1 comp/lcd**		99
Sala 7	1 comp/lcd		99
Sala 8	1 comp/comum	184	606
	4 comp/lcd	397	
	1 impressoras	24	
Sala 9	3 comp/lcd	298	322
	1 impressoras <i>lazer</i>	24	
Sala 10	1 comp/lcd		99
Sala 11	1 comp/lcd		99

* comp/comum – É um computador com monitor de tubo.

**comp/lcd – É um computador com monitor lcd.

3.12 Considerações quanto à etapa construtiva

Esta etapa construtiva é extensa e delicada, pois exige muita atenção e dedicação para preparar o programa para obter simulações o mais próximo possível da realidade.

Um relatório de erros é gerado a cada simulação não concluída com êxito.

Sucessivas simulações e a contínua análise dos relatórios de erros para a correção do arquivo base constroem o conhecimento necessário dos diversos e minuciosos detalhes de declaração das estruturas, que nem sempre são descritos nos manuais.

O ambiente construído é representado na figura 3.14.

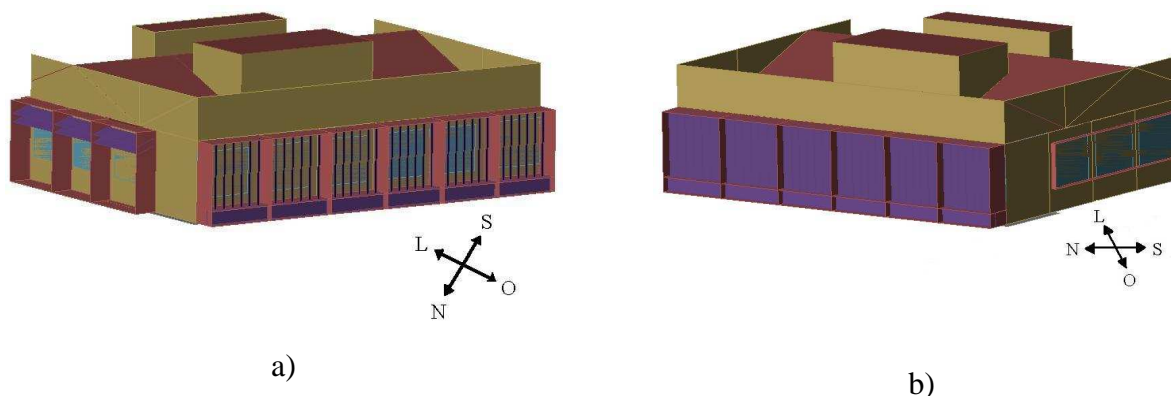


Figura 3.14 – Vistas do ambiente construído, a) vista do norte e b) vista do oeste

3.13 Tipos de simulação

Dependendo do objetivo desejado a cada etapa do processo de avaliação do ambiente construído, se define qual tipo de simulação se realizará.

Dentro das possibilidades de simulação no EnergyPlus, dois tipos foram utilizadas dias de projeto e ano climático.

3.13.1 Dia de projeto

Dia de projeto é um dia padronizado ao nível de dimensionamento. Simulações com dias de projeto costumam ser utilizadas para dimensionamento de cargas e equipamentos [EnergyPlus, 2007].

O mesmo deve ser medido por no mínimo 12 anos para que se obtenham dados estatísticos. É composto por dados de temperatura do ar, umidade do ar, velocidade e direção do vento, claridade do céu, dados para cálculo da radiação solar e outros que irão definir o dia de projeto.

No cálculo dos dias de projeto valores de bulbo seco ambiente, ponto de orvalho, temperatura de bulbo úmido e velocidade do vento correspondem aos vários percentuais anuais que representam o valor que é excedido da média pela indicação da porcentagem do número total de horas no ano (8760).

Nesta porcentagem os valores 0,4, 1,0, 2,0 e 5,0% excedem em média 35, 88, 175, e 438 horas por ano, respectivamente, para o período de registro.

Os valores de projeto ocorrem mais freqüentemente que o percentual nominal correspondente em alguns anos ou menos freqüentes em outros [ASHRAE, 2005].

Os dias de projeto utilizados neste trabalho foram, dia de inverno sem sol, dia de inverno com sol, dias com referência na temperatura de bulbo seco para meses de verão, dias com referência na temperatura de bulbo úmido para meses de verão, dia com referência no conteúdo de umidade para meses de verão, o apêndice B apresenta os respectivos dias com suas datas equivalentes.

3.13.2 Ano climático

O desempenho térmico de uma edificação está diretamente relacionado às condicionantes externas do tempo, como temperatura do ar, umidade e radiação. A representação do fenômeno em modelos matemáticos exige então o registro destes dados do clima, razão pela qual os programas computacionais que simulam o desempenho térmico de edificações necessitam dos dados climáticos. Quanto mais detalhado for o programa, mais detalhamento deverá ter um arquivo climático, chegando atualmente ao estágio de ser necessário o registro horário de dados climáticos para atender a programas computacionais como o DOE-2.1E e EnergyPlus. Um ano completo com as quatro estações representadas é composto por 8760 horas, resultando em um grande número de dados, salientando que cada hora contém registrados: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, velocidade de vento, direção do vento, etc [Correna, et al., 2005].

Simulações com arquivos climáticos proporcionam a análise do comportamento da edificação ao longo do ano. O arquivo climático utilizado foi referente à cidade de Porto Alegre e obtido na página do Laboratório de eficiência energética em edificações [LabEEE, 2007] da universidade federal de Santa Catarina.

3.14 Relatórios

A cada simulação podem ser solicitados relatórios com os dados de saída relacionados a cada componente utilizado na simulação.

Exemplos de relatórios requisitados são os de consumo elétrico total, consumo elétrico na edificação, consumo elétrico em todo o sistema de refrigeração, consumo elétrico nos

ventiladores, consumo elétrico para refrigeração, consumo elétrico para aquecimento, eletricidade fotovoltaica produzida.

O consumo da edificação compreende a soma do consumo da iluminação mais os equipamentos, fora os equipamentos de condicionamento de ar. O consumo de todo o sistema de condicionamento de ar é a soma dos consumos de refrigeração, aquecimento e ventiladores, e o consumo elétrico total é a soma da edificação com a refrigeração.

3.15 Ar-condicionado

O aparelho de ar condicionado utilizado neste trabalho contém uma válvula que permite alternar seu modo de operação entre "refrigerador de ar" e "aquecedor". Quando a válvula está posicionada em uma direção, o aparelho age como um ar condicionado, enquanto na outra direção ela inverte o fluxo do fluido refrigerante e atua como um aquecedor, isto pode ser observado na figura 3.15 com a representação genérica deste sistema.

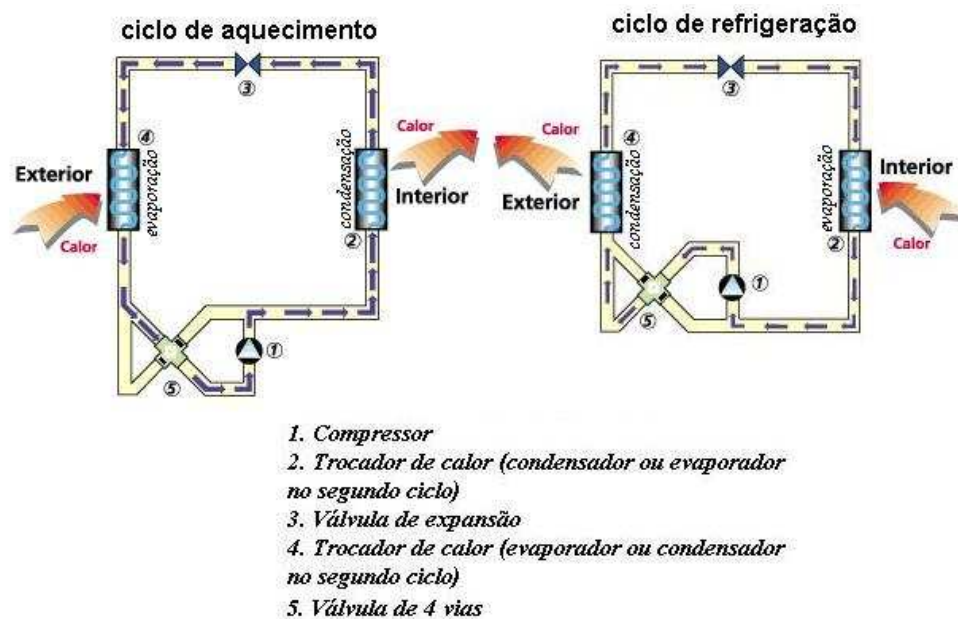


Figura 3.15 - Ar-condicionado com ciclo reverso

Equipamentos com essas características têm uma melhor eficiência energética quando comparados a equipamentos com aquecimento resistivo.

3.15.1 Representação no EnergyPlus

O EnergyPlus disponibiliza um modelo específico para representar as máquinas que possuem o ciclo reverso.

O pacote do equipamento de ar-condicionado com ciclo reverso é um objeto composto da declaração de vários componentes. Cada equipamento consiste num misturador de ar exterior, uma serpentina de refrigeração de expansão direta, uma serpentina de aquecimento, um ventilador e uma fonte de aquecimento complementar. A figura 3.16 mostra que nos equipamentos adotados neste trabalho, optou-se pela posição do ventilador em *blow through* ou seja, o ventilador força o ar sobre as serpentinas [EnergyPlus, 2007].

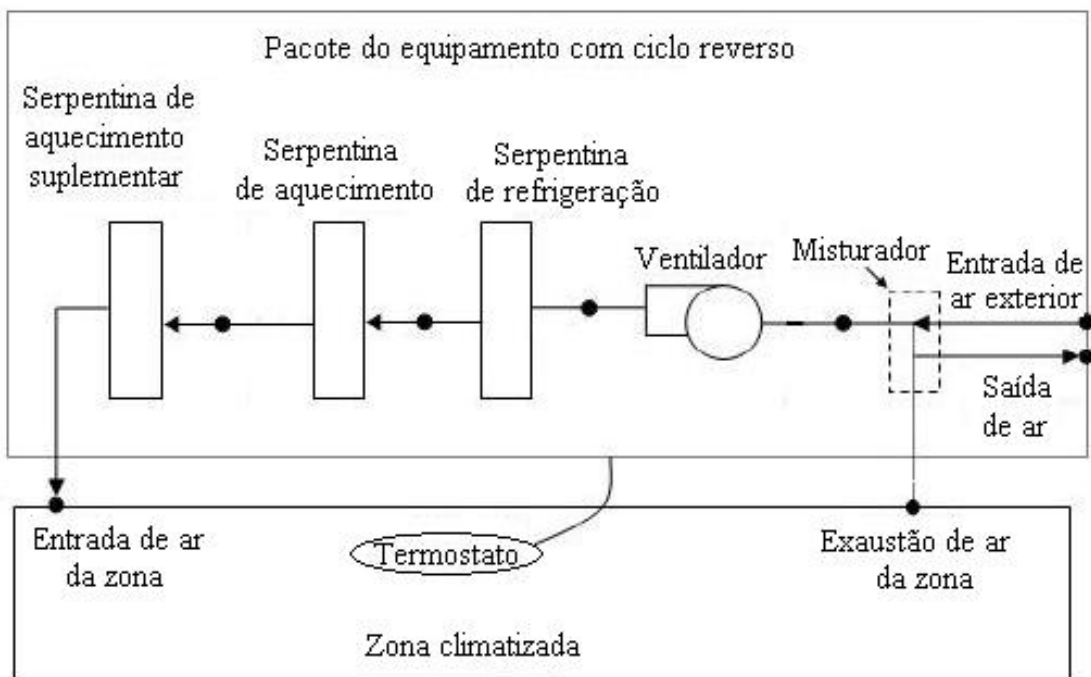


Figura 3.16 - Esquema do equipamento de refrigeração visto pelo EnergyPlus

Todas as máquinas seguem o regime de funcionamento de 8 às 18h horas, considerando que se houver desligamento das máquinas ao meio dia, elas estariam sujeitas a um esforço para retomar a condição de climatização desejada provocando maior pico de demanda elétrica.

4 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

4.1 Relacionando solar fotovoltaico e sistema de refrigeração

Instalações solares fotovoltaicas integradas a prédios comerciais e interligadas à rede elétrica pública são exemplos de aplicação ideal destes sistemas, onde os picos de consumo e de conversão fotovoltaica são muitas vezes coincidentes. A conversão solar fotovoltaica atinge valores máximos, principalmente em períodos de calor intenso, onde a demanda energética nestas edificações aumenta de forma acentuada em consequência da utilização intensa de aparelhos de ar-condicionado, devido a que nestes horários, ocorre uma maior incidência solar. Desta forma, alivia o sistema de transmissão e distribuição da concessionária elétrica [Salamoni, et al., 2004].

Um sistema fotovoltaico estabelece um elo funcional oportuno com um sistema de refrigeração, o que pode ser verificado observando dois pontos característicos.

Primeiro, tendo os arranjos fotovoltaicos dispostos na superfície do ambiente, os mesmos proporcionam uma barreira à irradiação incidente a esta superfície, por efeito de sombreamento e proporciona um alívio na carga térmica dos ambientes subjacentes.

Em segundo lugar esta irradiação solar que proporcionaria aquecimento e conseqüente esforço elétrico do sistema de refrigeração, agora incidindo sobre os arranjos fotovoltaicos, será repassada em forma de energia elétrica para suprir o sistema de refrigeração, o que mais uma vez faz o sistema solar fotovoltaico trabalhar em prol do sistema de refrigeração.

A carga térmica em cada sala, entre outros fatores, será diferente de acordo com o efeito causado pelo sombreamento dos arranjos fotovoltaicos no telhado do prédio.

Foi realizado um estudo do efeito do sombreamento dos painéis sobre a carga térmica das salas. Foram propostas diferentes orientações para análise buscando-se atingir os dois objetivos específicos de estudo, que são, redução do consumo elétrico anual e otimização para o horário de maior carga.

Na redução do consumo elétrico anual para o ano todo se busca uma orientação que proporcione um bom efeito de sombreamento sobre o ambiente em estudo e também possibilite uma conversão fotovoltaica anual elevada.

Na otimização para o horário de pico busca-se aliviar o sistema elétrico no momento da maior demanda energética, pela orientação adequada dos painéis fotovoltaicos para que tenham seu pico de conversão o mais coincidente possível com este horário.

Este tipo de instalação fotovoltaica dedicada, também se aplica aos casos em que as instalações elétricas prediais estão velhas e sobrecarregadas, acoplar um sistema que divide esta demanda energética garante um maior prazo de utilização da instalação de uma forma mais segura.

A energia convertida pelos painéis fotovoltaicos é entregue a rede através de um conversor de corrente contínua em corrente alternada. Se o medidor elétrico da instalação for bidirecional quando ocorrer uma conversão maior que a demanda do prédio o medidor vai girar ao contrário e o excesso de energia convertida é automaticamente repassado para rede exterior [Rüther, 2004].

4.2 Modelos de representação do Sistema fotovoltaico

O *software* disponibiliza três modelos para o cálculo da conversão fotovoltaica, o simples o modelo de um diodo e o Sandia.

4.2.1 Simples

O modelo simples tem a intenção de dar um controle completo ao usuário sobre a performance de conversão fotovoltaica.

Em vez de uma modelagem da eficiência baseada em condições operacionais, o modelo simples usa as condições de eficiência de conversão arbitradas pelo usuário. É especificada qual a porcentagem da superfície declarada de painéis tem efetivamente células fotovoltaicas, a eficiência de conversão de corrente contínua para alternada e um valor fixo para a eficiência de conversão fotovoltaica da área declarada com células solares.

É utilizado especialmente na fase inicial de desenvolvimento de um projeto, este modelo permite que o usuário faça uma simulação inicial para estimar a produção anual e o pico de potência, sem a necessidade de detalhados coeficientes de performance de um painel fotovoltaico.

Foram adotados os valores de 12% fixo para eficiência de conversão da célula, 83% de área efetiva de células e 80% de eficiência de conversão do inversor.

Neste modelo também se pode especificar a forma como o painel fotovoltaico interage com a construção, podendo estar destacado, integrado dentro da construção, integrado com um espaço de ar, ou integrado a um trocador de calor [Griffith, et al., 2004].

4.2.2 Modelo de um diodo

Este modelo emprega equações para o modelo empírico do circuito equivalente da célula solar para prever a voltagem e corrente características de um módulo.

Este circuito demonstrado na figura 4.1 consiste numa fonte de corrente contínua que representa a foto-corrente gerada, um diodo que representa a junção PN, um resistor em série que representa a queda de tensão devida à resistência dos materiais nas células e nas ligações das células e um resistor em paralelo que representa fugas de corrente. A intensidade da fonte de corrente é dependente a radiação solar e as características $I \times V$ do diodo são dependentes da temperatura. O resultado de um único circuito equivalente é multiplicado para prever a conversão fotovoltaica de um arranjo [EnergyPlus, 2007].

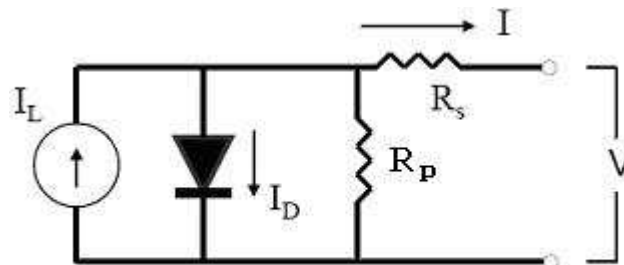


Figura 4.1 - Circuito equivalente da célula fotovoltaica

4.2.3 Sandia

O terceiro modelo disponível para prever a energia convertida pelos painéis fotovoltaicos é o Sandia, baseado no trabalho realizado no *Sandia National Lab*.

O modelo consiste numa série de correlações entre coeficientes que são derivados de testes atuais. Uma vez que os coeficientes para um módulo específico são conhecidos, ele é uma maneira direta para se usar as equações do modelo para calcular pontos da curva característica de corrente *versus* tensão [EnergyPlus, 2007].

4.2.4 Justificativa para iniciar com o modo simples.

Para se declarar painéis ou arranjos fotovoltaicos no modo simples, são necessárias primeiro uma superfície, que pode ser do tipo destacada da construção, e também se conhecer a potência total estimada para área de painéis fotovoltaicos.

Devido a maior agilidade na introdução dos dados as primeiras simulações foram realizadas com o modelo simples. Este modelo também possibilita avaliar o efeito de sombreamento que os arranjos fotovoltaicos causam à edificação.

4.3 Efeito do sombreamento de arranjos fotovoltaicos

Outro fator preponderante a ser observado na organização da disposição dos painéis é o efeito de sombreamento indesejado que um arranjo pode proporcionar sobre o outro.

Um pequeno sombreamento de uma parte do arranjo fotovoltaico pode provocar sérios efeitos significativos de redução na conversão fotovoltaica final do arranjo [James, 2003].

Em seu trabalho Patel et al., 2008, verificaram com estudo de simulação em MATLAB, o efeito danoso do sombreamento parcial de arranjos fotovoltaicos demonstrado na figura 6.1, e afirma que, a magnitude do pico global da conversão fotovoltaica depende da sua configuração e do padrão de sombreamento além de fatores como nível de insolação e temperatura. Com este trabalho ele demonstra que conhecendo o provável padrão de sombreamento sobre o arranjo seu modelo serve para desenvolver uma configuração mais otimizada do arranjo para extrair a máxima potência.

A figura 4.2 representa um painel com a demonstração da conexão série e paralelo entre células e uma área com células sombreadas.

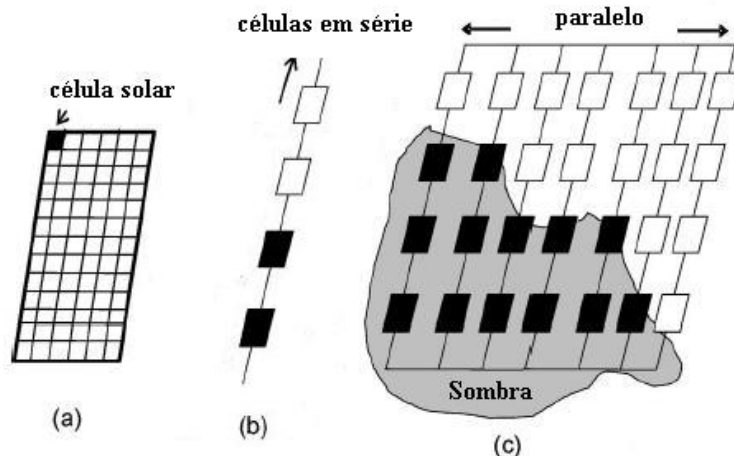


Figura 4.2 - Representação do painel fotovoltaico a) célula no painel b) fileira de células em série c) fileiras em paralelo parcialmente sombreadas

Também Marinoski et al., 2004, verifica que a aplicação dos painéis em regiões sombreadas reduz a capacidade de conversão do painel prejudicando o desempenho do sistema. No caso de sua aplicação havia um reservatório de água (caixa d'água), instalado na cobertura do

prédio, fez-se necessária uma análise da sombra projetada por este elemento, para evitar a instalação de painéis em áreas que permanecem sombreadas por longos períodos durante o dia.

Para um melhor desempenho das instalações fotovoltaicas busca-se reduzir ao máximo os efeitos de sombreamento causados por estruturas dos prédios e entre fileiras de arranjos.

A figura 4.3 demonstra a cobertura da edificação avaliada no trabalho de Marinoski et al., 2004, com a caixa d'água e a representação da sombra projetada pela mesma.

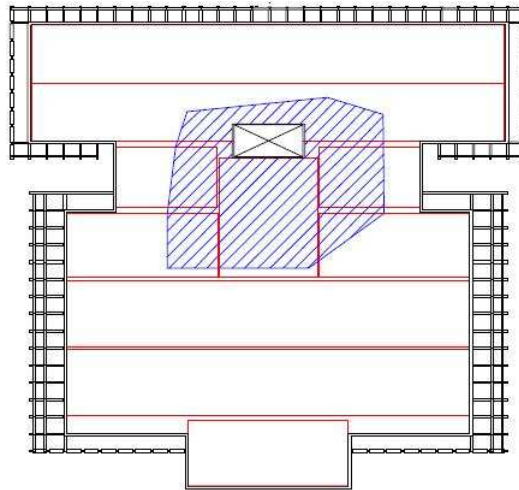


Figura 4.3 - Área sombreada pela caixa d'água

No presente trabalho a construção não promove sombreamento nos arranjos, mas o sombreamento entre fileiras foi analisado.

4.4 Considerações quanto ao dimensionamento

Num sistema fotovoltaico que utiliza acúmulo de energia em baterias os painéis são dimensionados em função dos critérios de carregamento e utilização das cargas.

Para um sistema interligado à rede o dimensionamento não segue os critérios adotados por um sistema com acumulação, o fato determinante para estes sistemas acaba sendo o quanto é possível investir (Krenzinger, informação verbal¹).

Num sistema interligado à rede a energia é instantaneamente introduzida no sistema, enquanto houver irradiação solar disponível, haverá contribuição proporcional do sistema instalado.

Neste trabalho vamos estudar a influência elétrica e térmica de oitenta painéis fotovoltaicos sobre o telhado do edifício. O número de oitenta painéis foi definido pela

¹ Em visita ao Laboratório de energia solar da UFRGS, em março de 2008.

distribuição dispersa dos painéis com a orientação norte sobre o telhado do ambiente em estudo, como demonstrado na figura 4.4, e em seguida esta quantidade foi adotada para as demais orientações propostas.

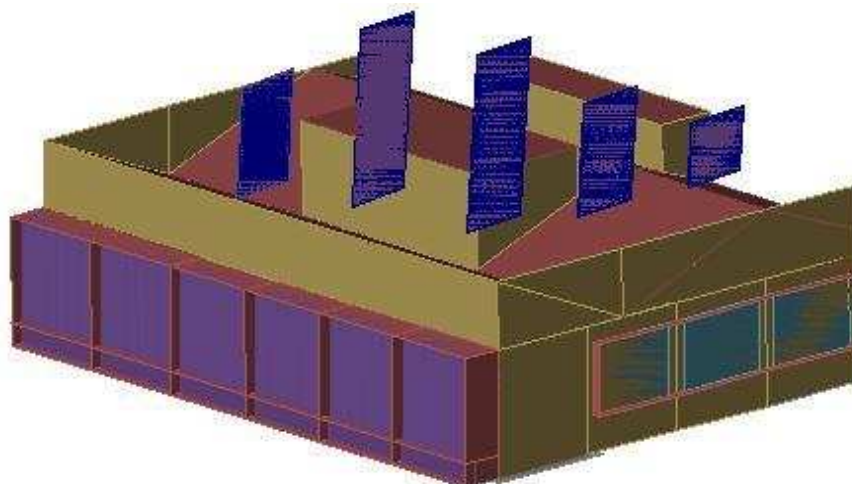


Figura 4.4 - Arranjos com 80 painéis norte 20 graus

4.5 Estudo da orientação para o primeiro objetivo

Quanto à orientação dos painéis Marinowski et al., 2004 avaliou que a possibilidade de aplicação de painéis com inclinação igual à latitude local e direcionados para a orientação norte, primeira alternativa avaliada em seu trabalho (normalmente considerada a alternativa ótima de conversão fotovoltaica) não mostrou ser uma boa opção. Após uma análise da distribuição dos painéis, observou-se que devido às características construtivas do telhado e também ao maior espaçamento que seria necessário entre os painéis, o número dos mesmos seria reduzido em aproximadamente 25% quando comparado a uma segunda alternativa com orientação noroeste. Esta redução não poderia ser compensada, em termos de conversão fotovoltaica visto que o aumento no ganho com radiação solar, para a orientação norte e inclinação 27° , seria de apenas 2,4% em relação à inclinação 15° com orientação nordeste segunda alternativa proposta em seu trabalho.

Para o primeiro objetivo específico proposto deste trabalho, foram experimentadas as orientações propostas na tabela 6.1 e comparados os seguintes relatórios de cada orientação, o consumo anual total do sistema de ar-condicionado, o somatório dos picos de potência de refrigeração e a geração fotovoltaica no modelo simples.

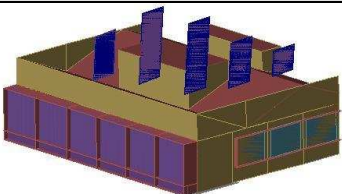
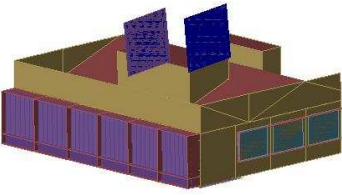
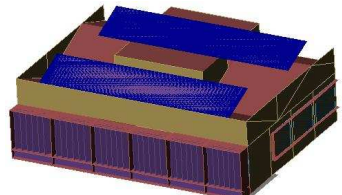
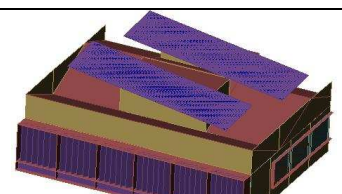
O consumo anual do ar condicionado e a geração fotovoltaica são dados obtidos diretamente do relatório medidor. Para obter o somatório dos picos de potência de refrigeração

foi desenvolvida uma rotina de análise de relatórios. Esta rotina analisa os relatórios dos dias de projeto e seleciona para cada zona o pico de potência atingido, em seguida os picos de todas as zonas são somados.

Os picos de potência verificados em dias de projeto também são utilizados para dimensionar as máquinas de ar-condicionado para cada zona.

A tabela 4.1 mostra a imagem da edificação gerada pelo programa de simulação e a descrição de cada orientação proposta para o primeiro objetivo específico que busca uma instalação fotovoltaica que proporcione uma redução no consumo elétrico anual, equilibrando conversão fotovoltaica e redução da carga térmica do ambiente estudado por efeito de sombreamento. Foram experimentadas duas opções de montagem com a orientação norte, convencionalmente mais adotada, com inclinação em torno da latitude local no caso a inclinação utilizada foi de 20° , em seguida uma orientação alinhada com o prédio, e uma orientação intermediária entre Norte e alinhado.

Tabela 4.1 - Orientações propostas para o primeiro objetivo específico.

Orientação	Figura	Descrição
1		Arranjos com 80 painéis dispersos norte Inclinação 20°
2		Arranjos com 80 painéis em dois blocos norte Inclinação 20°
3		Arranjos com 80 painéis Azimute $317,5^\circ$ Inclinação 20°
4		Arranjos com 80 painéis Azimute 331° Inclinação 20°

A tabela 4.2 mostra a comparação entre relatórios da edificação sem painéis e as quatro possibilidades propostas. A tabela 4.2 mostra o consumo do ar-condicionado ao ano, o somatório dos picos de potência de refrigeração e a conversão fotovoltaica anual calculada pelo modelo simples. O efeito de sombreamento dos painéis na edificação é observado pela redução do consumo do ar-condicionado no ano quando comparados com os valores da edificação sem a cobertura de painéis fotovoltaicos.

O somatório dos picos de refrigeração serve para estimar a potência total instalada para o sistema de refrigeração.

Tabela 4.2 - Efeito de diferentes orientações na carga térmica

Orientação	Descrição	Consumo do ar-condicionado no ano (kWh)	Somatório dos picos de potência de refrigeração* (W)	Conversão PV simples ao ano (kWh)
	Sem painéis	10237,2	30726,7	0
1	Arranjos com 80 painéis dispersos norte	9919,5	29978,8	9063,4
2	Arranjos com 80 painéis em dois blocos norte	9942,3	30003,1	9105
3	Com 80 painéis azimute 317,5°	9924,7	29827,4	8912,2
4	Com 80 painéis Azimute 331°	9939,1	30005,4	8978,8

* Somatório dos picos de consumo dos **dias de projeto**

A análise desta primeira etapa é parcial e não dá a possibilidade de concluir qual a melhor orientação proposta, mas apenas avaliar o quanto cada orientação influencia na carga térmica do ambiente, e ter uma noção da energia convertida. Como já mencionado neste trabalho, o modelo simples da conversão solar adotado nos primeiros passos da análise não expressa um valor tão completo quanto o gerado pelo modelo do diodo, que foi utilizado nas análises finais deste trabalho.

Enquanto uma orientação gera mais e protege menos o ambiente, outra protege mais e gera menos, logo a conclusão sobre a melhor aplicação será obtida com a análise econômica das proposições.

Onde: h - altura em relação ao arranjo posterior.

S - sombra projetada

β - ângulo da altitude solar

Conhecendo-se o ângulo da altitude solar e a altura h , pode-se calcular S pela tangente.

$$\tan \beta = \frac{h}{S} \Rightarrow S = \frac{h}{\tan \beta} \quad \text{eq(4.1)}$$

Porém o cálculo de S não vai mostrar a distância mínima para a colocação do arranjo posterior, pois S muda de ângulo e tamanho de acordo com a hora do dia. Foi calculada a distância mínima para que não haja sombreamento entre arranjos com uma planilha de cálculos, partindo de todas as posições solares horárias do ano todo.

Os ângulos utilizados para os cálculos da distância mínima de todos os casos propostos são demonstrados na figura 4.7, que mostra o caso da orientação norte, os demais casos seguem a mesma metodologia para o cálculo.

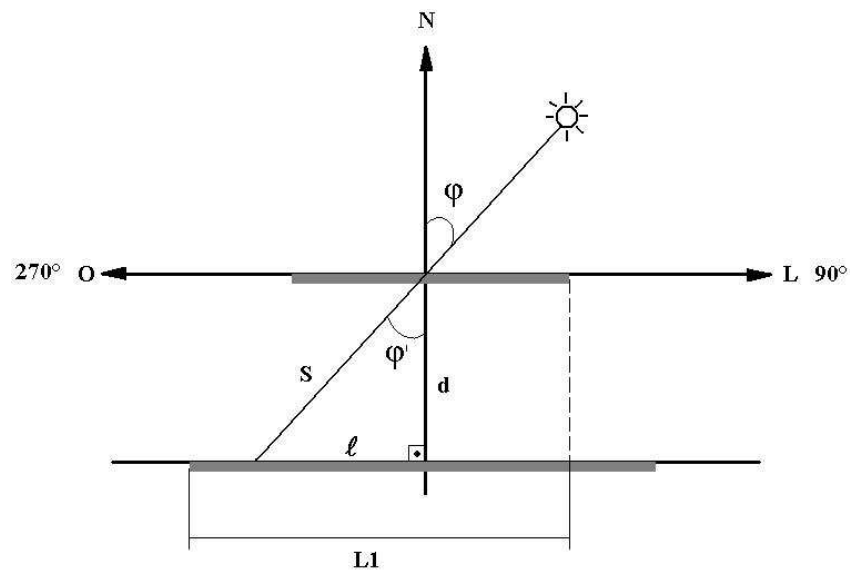


Figura 4.7 - Cálculo da distância mínima

onde: Φ - ângulo azimute solar

S - sombra projetada

d - distância mínima

l - lado do triângulo da sombra

$L1$ - Comprimento do arranjo posterior que pode ser sombreado

Conhecendo-se o ângulo azimute solar e a sombra S , pode-se calcular d pelo cosseno.

$$\cos \varphi' = \frac{d}{S} \Rightarrow d = \cos \varphi' \times S \quad \text{eq(4.2)}$$

De posse das coordenadas do sol, geradas pela simulação, os dados de entrada requeridos para a avaliação são descritos na tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Dados de entrada

Variável	Descrição
h	Altura em relação ao arranjo posterior
D	Distância entre arranjos
L1	Comprimento do arranjo posterior que pode ser sombreado pela manhã
L2	Comprimento do arranjo posterior que pode ser sombreado pela tarde

Dentre o total de 8760 horas simuladas no ano que se tem disponibilizado a orientação solar, a planilha de cálculos seleciona os horários diurnos para aplicar os testes.

A seguir mostra-se um exemplo da aplicação da planilha de testes de sombreadamento.

A planilha também prioriza a verificação do sombreadamento para os momentos em que o sol passa em frente ao painel, logo essa restrição é adaptada para cada orientação avaliada.

A tabela 4.4 mostra os dados de entrada para o teste de sombreadamento entre os arranjos 1 e 2 da primeira orientação proposta para o primeiro objetivo específico deste trabalho.

Tabela 4.4 - Dados de entrada do teste de sombreadamento, caso 1 do arranjo 2 para o 3

Variável	Dados de entrada
h	0,448
D	1,53
L1	16,5
L2	12,2

O exemplo da tabela 4.5 demonstra a identificação de sombreadamento às oito horas do dia doze de maio, pois a distância mínima calculada foi maior que a distância declarada e o lado do triângulo da sombra não foi superior ao comprimento do arranjo posterior.

Tabela 4.5 - Exemplo da planilha de cálculos

	Data e hora	Ângulo azimute solar(φ)	Ângulo da altitude solar (β)	Teste da orientação de sombreamento	Cálculo de S	Cálculo da distância mínima (d)	Teste (d>D)	Teste de sombreamento no comprimento do arranjo posterior	Contagem de horas
Caso 1				($90 > \text{az} > 270$)				$l > L1$	
Exemplo	12/05 8h	64	6,62	ok	3,85	1,64	sim	não	x

Esta avaliação não revela com precisão qual a fração da hora que o arranjo ficou sombreado e nem qual a fração do arranjo esteve sombreada, mas apenas identifica que dentro do intervalo daquela hora estudada ocorreu sombra no arranjo.

A seguir são apresentados os resultados da planilha de avaliação de sombreamento entre painéis para cada caso proposto.

Análise caso 1

Cinco arranjos com um total de 80 painéis dispersos na cobertura com orientação norte az 0° e inclinação 20° .

A tabela 4.6 mostra os testes de sombreamento entre as cinco fileiras de arranjos do caso1.

Tabela 4.6 - Teste de sombreamento caso 1

	De 1 para 2	De 2 para 3	De 3 para 4	De 4 para 5
Dados de entrada	$h = -0,252$ $D = 1,55$	$h = 0,448$ $D = 1,53$ $L1 = 16,5$ $L2 = 12,2$	$h = 0,448$ $D = 1,53$ $L1 = 13,1$ $L2 = 10,4$	$h = 0,448$ $D = 1,32$ $L1 = 6,8$ $L2 = 7,5$
resultado	De 1 em 2 Não há sombra	De 2 em 3 * 94 ao amanhecer * 43 ao anoitecer	De 3 em 4 * 94 ao amanhecer * 38 ao anoitecer	De 4 em 5 * 59 ao amanhecer * 68 ao anoitecer

A análise demonstrou que ocorreram diversos momentos em que houve sombreamento, sempre em torno de oito da manhã ou seis da tarde.

Análise caso 2

Dois arranjos com um total de 80 painéis na cobertura com orientação norte az 0° e inclinação 20° .

Nesta orientação a distância entre os arranjos é de 1,5m e não há altura relativa ao painel seguinte ($h = 0$), logo não há possibilidade de sombreamento entre arranjos.

Análise caso 3

Dois arranjos com um total de 80 painéis alinhados com o prédio com az $317,5^\circ$ e inclinação 20° .

Nesta orientação também não há altura relativa entre os arranjos logo não há sombra.

Análise caso 4

Dois arranjos com um total de 80 painéis alinhados com o prédio com az 331° e inclinação 20° .

Altura relativa de ($h = 0,8961$) e distância entre painéis de 3,35 metros.

O teste de sombreamento revelou 159 momentos de sombreamento no ano todos a partir das 18h.

4.6 Procedimento para a definição da orientação para o segundo objetivo específico

O segundo objetivo específico é propor e avaliar uma instalação fotovoltaica que busca aproximar horário de pico de potência da conversão fotovoltaica com o horário de pico de consumo das cargas, além de contribuir na redução da carga térmica do ambiente estudado por efeito de sombreamento.

Com o objetivo de encontrar o horário em que o ambiente exige mais energia se fez um estudo dos horários de pico de demanda total e do pico do sistema de ar condicionado.

Com o relatório horário da demanda total e do ar-condicionado, foram primeiramente selecionados os picos de cada dia com seu respectivo horário de ocorrência, em seguida foi contada a frequência de ocorrência dos horários de pico em cada mês. Observou-se que o pico do sistema de ar-condicionado é o contribuinte mais forte no pico da demanda total. Verificou-se que para os meses de janeiro, fevereiro, março, abril, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro, estes picos são coincidentes e ocorrem às 16h.

Foi observado que os picos atingem valores mais elevados no verão, então em função da orientação solar das 16h nos meses de verão se buscou uma orientação que possa contribuir com o sistema elétrico de forma mais dedicada a este período.

Conhecendo-se a altitude solar média para os meses de verão se calcula a inclinação oportuna para o arranjo, como é demonstrado na figura 4.8.

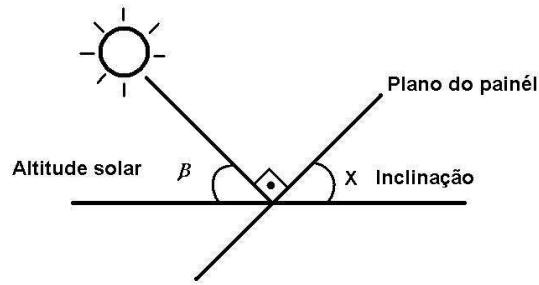


Figura 4.8 - Ângulo de inclinação

A orientação proposta para atingir o segundo objetivo específico deste trabalho foi definida pela média do ângulo azimutal e do ângulo da altitude solar para as 16h dos meses de verão, como demonstrado na tabela 4.7.

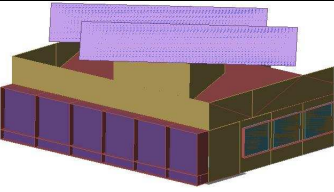
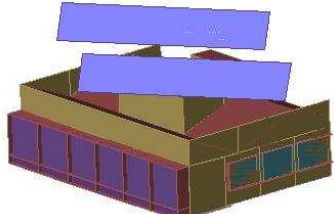
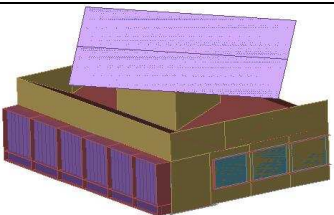
Tabela 4.7 - Estudo da orientação para as 16h (horário de pico)

Mês dia 21	Ângulo azimutal do sol (graus)	Ângulo da altitude solar (graus)	Inclinação do painel ($90 - \beta$) (graus)
Dezembro	266,4	46,2	43,7
Janeiro	272,8	47,9	42
Fevereiro	285,2	44,2	45,7
Março	295,6	36,7	53,2
Média	280	43,75	46,2

A orientação proposta para o segundo objetivo foi azimute 280° e inclinação $46,2^\circ$.

Tendo a orientação sido definida para o segundo objetivo específico, ainda assim foram avaliadas três formas diferentes de dispor os painéis sobre a cobertura com esta orientação proposta, demonstradas na tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Propostas para o objetivo 2

Orientação	Figura	Descrição
1		Mesma altura
2		Em degrau
3		Mesmo plano

Na tabela 4.9 se demonstram o efeito do sombreamento destas orientações e a conversão fotovoltaica calculada pelo modelo simples.

Tabela 4.9 - Efeito de diferentes orientações na carga térmica

Orientações	Descrição	Consumo do ar-condicionado no ano (kWh)	Somatório dos picos de potência de refrigeração* (W)	Conversão PV simples ao ano (kWh)
	Sem painéis	10237,2	30726,7	0
1	Mesma altura	10022	30212,9	7328,9
2	Em degrau	10049,7	30270,8	7692,6
3	Mesmo plano	10041,9	30236,9	7692,7

* Somatório dos picos de consumo dos **dias de projeto**

4.6.1 Estudo da possibilidade de sombreamento entre os arranjos

Caso 1

Dois arranjos com um total de 80 painéis orientados para as 16h, com inclinação de 46,20° e Azimute 280.

Com os seguintes dados de entrada.

$$h = 1,891$$

$$D = 2,34 \text{ m}$$

$$L1 = 10,9468$$

$$L2 = 15,2532$$

A análise demonstrou 675 horas com sombra à tarde.

Casos 2 e 3

No caso 2 como os arranjos estão em degrau não há altura relativa entre os mesmos, logo não há possibilidade de sombra, no caso 3 todos os painéis estão no mesmo plano não havendo possibilidade de sombreamento.

4.7 Implementando modelo do diodo

Nesta etapa será implementado o modelo de um diodo com dados de entrada de um painel de silício monocristalino. Os dados necessários à simulação com o modelo do diodo foram obtidos das seguintes fontes; dados de placa do painel, manuais técnicos do painel, sugestões do manual do EnergyPlus e de recomendações técnicas do Laboratório de Energia Solar da UFRGS.

Como citado anteriormente este modelo é mais completo para predizer uma conversão fotovoltaica mais realista que o modelo simples.

Todas as simulações propostas foram refeitas com o novo modelo fotovoltaico.

A tabela 4.10 apresenta todos os dados de entrada necessários à simulação com este método.

Tabela 4.10 - Dados de entrada do modelo de um diodo

Campo	Unidade	Objeto	Observações
Nome do arranjo		Arranjo 1	
Tipo do arranjo		Monocristalino	(só informação)
Nome da superfície		Superfície_arranjo_1	
Modelo de temperatura da célula	Adimensional	2	Usando 1 usa as condições NOCT ² . Usando 2 vai considerar os dois últimos campos no cálculo.
Número de células em série	Adimensional	72	Por painel
Número de módulos em paralelo	Adimensional	5	
Número de módulos em série	Adimensional	8	Tensão de projeto aproximadamente 250VCC
Área ativa	m ²	0,712224	Área ativa do painel
Produto <i>Tau-alpha</i>	Adimensional	0,9	Manual energy
<i>Bandgap</i> do semiconductor	eV	1,12	“
Resistência Shunt	Ohms	400	(Krenzinger, informação verbal ³)
Corrente de curto circuito	A	3,3	placa
Tensão de circuito aberto	V	42,35	placa
Temperatura de referência	C	25	padrão
Insolação de referência	W/m ²	1000	padrão
Corrente do modulo no ponto de máxima potência	A	2,9	placa
Tensão do modulo no ponto de máxima potência	V	33	placa
Coefficiente de temperatura de <i>Isc</i>	A/k	0,017	catálogo
Coefficiente de temperatura de <i>Voc</i>	V/k	- 0.15984	valor para 72 células
Temperatura ambiente nas condições de ensaio padrão	C	20	catálogo
Temperatura da célula nas condições de ensaio padrão	C	47	“
Insolação de ensaio padrão	W/m ²	800	“
Coefficiente de perda de calor do módulo W/m ² -k	W/m ² -k	30	Manual energy
Capacidade total de calor	J/m ⁻² k	50000	Manual energy

² Temperatura nominal de operação da célula

³ Em visita ao laboratório de energia solar da UFRGS, em março de 2008.

O modelo disponibiliza relatórios da conversão fotovoltaica de forma horária, mensal ou anual. Também se podem pedir relatórios da temperatura da célula, tensão e corrente, corrente de curto circuito, tensão de circuito aberto, eficiência, etc.

4.8 Sugestão de inversor para o sistema

Algumas características técnicas dos inversores sugeridos estão na tabela 4.11. Dois inversores com essas características são necessários para acoplar os 80 painéis propostos.

Tabela 4.11 - Características do inversor

Inversor	
Tecnologia	Onda senoidal real PWM
Potência máxima da saída alternada	3800W 240V CA
Máxima corrente alternada de saída	16A CA
Máxima tensão CC de entrada	500 Vcc
Máxima corrente de entrada CC	20A CC
Fator de potência	>0.99 na potência nominal

Os inversores para este sistema devem suportar um arranjo de 40 painéis de aproximadamente 95,7W e 24Vcc cada, ligados 8 em série e 5 em paralelo.

5 AR-CONDICIONADO ANÁLISE DE DADOS

Da simulação em dias de projeto se obtém o relatório da potência de refrigeração requerida para cada zona em Watts. Com esse dado se encontra a capacidade exigida para as máquinas em Btu/h.. O apêndice C apresenta a análise de todas as zonas para os picos de refrigeração em dias de projeto.

A tabela 5.1 compara a capacidade requerida por zona em Btu/h para a condição sem painéis com as duas melhores condições de cada objetivo proposto.

Tabela 5.1 - Análise de dados para seleção da máquina apropriada

Casos		Zonas e respectivos picos de refrigeração em dias de projeto (W e Btu/h)									
		Sala 1	Sala 2	Sala 3	Sala 4	Corredor e Sala 5	Sala 6	Sala 7	Sala 8	Sala 9 e 11	Sala 10
Sem painéis	Btu/h	7670,2	8275,7	9970	14422,4	12701,1	6143,2	5508,3	15192,4	20763,5	4192,5
	W	2248	2425,4	2922	4226,9	3722,4	1800,4	1614,4	4452,6	6085,4	1228,7
Melhor objetivo 1 caso 3	Btu/h	7251,8	8049,6	9834,1	14266,1	12435,3	6064,8	5453,1	14511,8	20019,3	3884,9
	W	2125,4	2359,2	2882,2	4181,1	3644,6	1777,5	1598,2	4253,1	5867,3	1138,6
Melhor objetivo 2 caso 3	Btu/h	7532,4	8143,7	9829,9	14258,9	12451,7	6078,3	5470	14843,3	20477,4	4082,1
	W	2207,6	2386,8	2880,9	4179	3649,3	1781,4	1603,1	4350,3	6001,6	1196,4
Máquina com valor mais próximo	Btu/h	7500	9000	12000	18000	12000	7500	7500	18000	24000	7500
	W	2198,1	2637,7	3517	5275,5	3517	2198,1	2198,1	5275,5	7034	2198,1

A redução na carga térmica proporcionada pela presença dos painéis não foi grande o suficiente para se reduzir à potência das máquinas dimensionadas sem a presença dos painéis.

Através de contato com representantes via *internet* foi possível à obtenção da cotação das máquinas sugeridas ao trabalho.

A tabela 5.2 apresenta uma estimativa básica do custo dos aparelhos de ar-condicionado propostos a esta aplicação.

Tabela 5.2 - Estimativa do custo com o sistema de ar-condicionado

Capacidade (Btu/h)	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Total (R\$)
7500	4	1020	4080
9000	1	1140	1140
12000	2	1300	2600
18000	2	1980	3960
24000	1	2390	2390
(R\$)			14170

Foram novamente realizadas verificações dos horários de pico da edificação agora com painéis, e se percebeu que a presença dos painéis não modificou a predominância dos horários de pico às 16h.

São demonstrados nas figuras 5.1 e 5.2 os comportamentos anuais dos melhores casos encontrados.

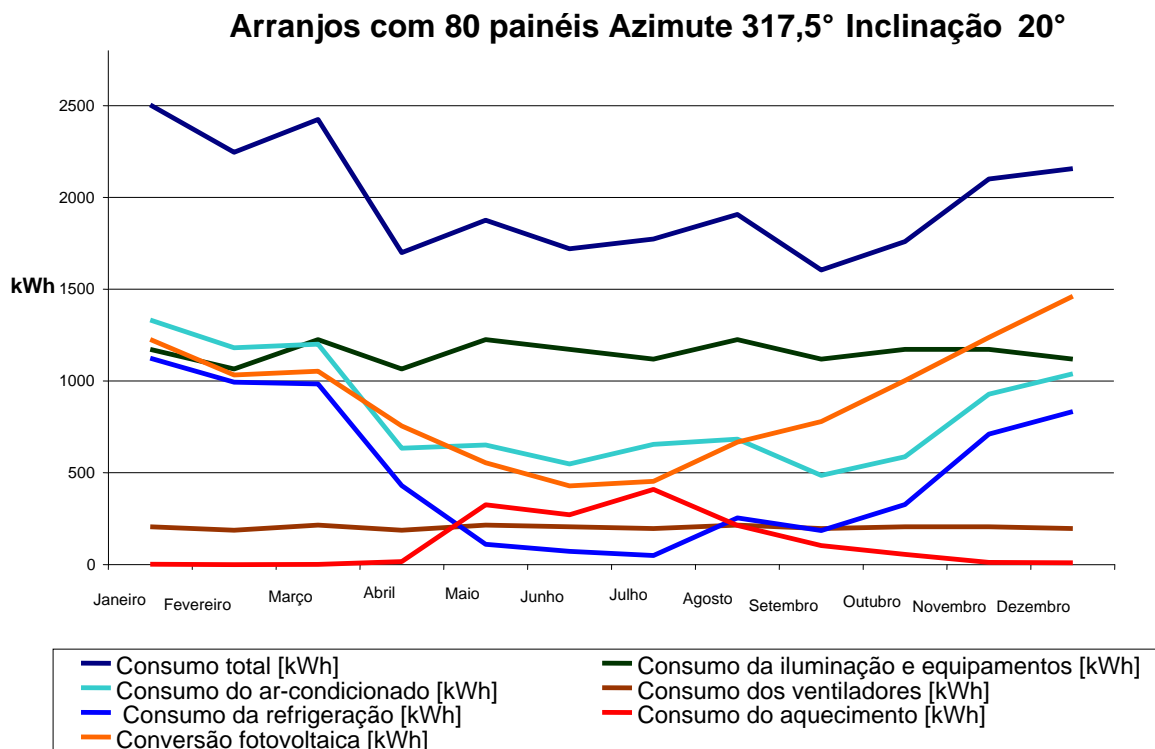


Figura 5.1 - Gráfico anual do caso 3 do primeiro objetivo

Onde o consumo do ar-condicionado é a soma do consumo dos ventiladores mais o consumo do aquecimento mais o consumo da refrigeração. O consumo total é o consumo do ar-condicionado mais o consumo da iluminação e equipamentos.

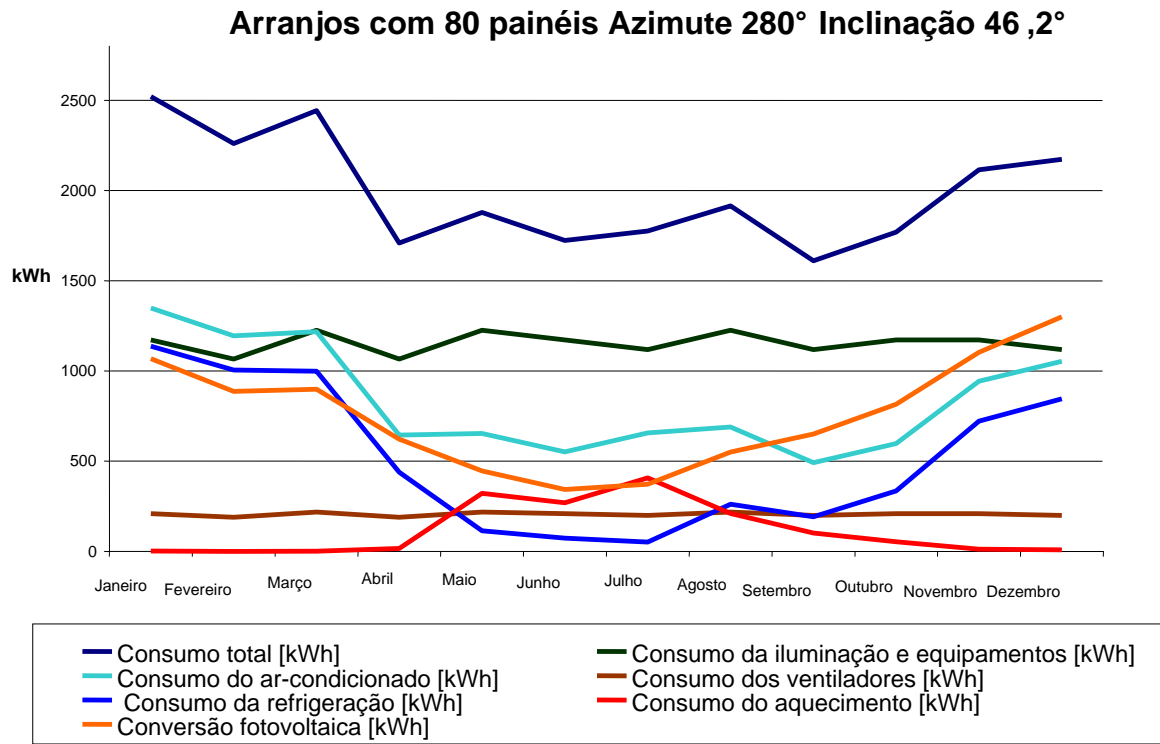


Figura 5.2 - Gráfico anual do caso 3 do segundo objetivo

Comparando-se a figura 5.1 com a 5.2 observa-se a redução já esperada na geração fotovoltaica ao longo do ano, demonstrada na linha laranja, porém na orientação fotovoltaica proposta que gera o resultado anual demonstrado na figura 5.2, é a orientação dedicada a otimização do horário de pico. Aplicações dedicadas a um horário específico necessitam uma avaliação precisa para constatar se, o ganho pontual diário vai compensar essa redução na geração anual.

6 ANÁLISE ECONÔMICA

Através da análise econômica será possível avaliar qual a solução proposta realmente é a melhor opção do ponto de vista térmico e energético, pois o efeito de sombreamento e o desconto da conversão fotovoltaica estão inclusos no valor final pago.

A conta elétrica da UFRGS não é paga com uma tarifa residencial comum. A universidade paga a tarifa pelo plano horo-sazonal verde, que é uma modalidade estruturada para aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, bem como de uma única tarifa de demanda de potência.

Esta tarifa utiliza um horário de ponta que é um período definido pela concessionária e composto por 3 (três) horas diárias consecutivas, exceção feita aos sábados, domingos, terça-feira de carnaval, sexta-feira da Paixão, "Corpus Christi", dia de finados e os demais feriados definidos por lei federal, considerando as características do seu sistema elétrico.

O horário fora de ponta é período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas no horário de ponta.

O contrato de demanda é razão entre a demanda máxima num intervalo de tempo de 15 minutos e a carga instalada na unidade consumidora, é um valor fixo cobrado mensalmente.

A UFRGS está enquadrada no subgrupo cuja tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV.

O fluxograma da figura 6.1 mostra a organização deste tipo de tarifa. Nos cálculos deste trabalho foram descartadas as diferentes tarifas para períodos secos e úmidos em função de pequena diferença entre as mesmas.



Figura 6.1 - Fluxograma da tarifa horo-sazonal verde

Foi criada uma planilha de cálculos para aplicar a tarifa horo-sazonal verde na energia consumida pela edificação descontada da energia convertida pelos painéis fotovoltaicos.

A planilha leva em consideração feriados e finais de semana na aplicação da tarifa.

Seguindo a orientação do engenheiro elétrico Ricardo Pufal⁴ foram adotados para o cálculo da demanda contratada os percentuais de 90% da potência das lâmpadas e 40% da potência dos demais equipamentos, pois a potência nominal dos equipamentos geralmente não é a requerida durante todo seu período de funcionamento. Estes percentuais foram aplicados na potência total dos equipamentos para expressar a condição de ligados simultaneamente por 15 minutos, a potência equivalente desta situação é multiplicada pela tarifa específica do contrato de demanda e se encontra o valor em reais fixo mensal para o mesmo, como demonstrado na tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Cálculo do contrato de demanda

Cálculo do valor pago pela demanda contratada				
	Total	Porcentagem considerada		
Soma das potências das Lâmpadas	2479	90%	2231,1	W
Soma das potências dos equipamentos	4930,75	40%	1972,3	W
Soma			4203,4	W
Consumo estimado para os 15 minutos			4,2034	kWh
Valor do kWh para a demanda contratada (R\$)			X	11,26084
Valor mensal pago pela demanda contratada (R\$)			=	47,33

6.1 Primeiro objetivo

Na tabela 6.2 de análise econômica para o primeiro objetivo se observa o consumo elétrico total anual na condição sem painéis na cobertura e posteriormente para cada orientação proposta. Observa-se o efeito do sombreamento no consumo elétrico anual a conversão fotovoltaica pelo modelo de um diodo, o valor pago com a tarifa horo-sazonal verde e por fim a economia anual proporcionada por cada orientação proposta.

⁴ Orientação prestada através de comunicação pessoal.

Tabela 6.2 – Análise econômica para o primeiro objetivo específico

Orientações	Consumo elétrico total anual (kWh)	Efeito do sombreamento no consumo elétrico total anual (kWh)	Conversão fotovoltaica total anual modelo diodo (kWh)	Valor pago na tarifa horo-sazonal verde (R\$)	Economia ao ano (R\$)
Sem painéis	24088,49	-	-	5777,32	-
1 Norte	23770,78	-317,712	10004,29	3902,04	1875,28
2 Norte 2 blocos	23793,67	-294,81	10883,55	3746,53	2030,78
3 Alinhado	23776,06	-312,42	10651,86	3711,10	2066,21
4 Intermediário	23790,43	-298,06	10733,09	3725,49	2051,82

O baixo efeito de sombreamento pode se justificar pela construção robusta do prédio que já oferece uma boa barreira ao calor que vem do telhado, pois como demonstrado na tabela 3.1 Declaração da construção, existem duas lajes de concreto pesado, espaços de ar e ainda um forro de gesso no teto das salas.

Pode-se perceber que a orientação que gerou a melhor economia anual foi a opção 3 em que os painéis estão alinhados com o prédio com Azimute 317,5° e inclinação de 20°. Entre as possibilidades apresentadas, esta opção não apresentou a maior geração fotovoltaica anual mas, a composição da sua conversão com o respectivo efeito de sombreamento resultou na melhor solução proposta dentre as apresentadas.

O segundo arranjo desta orientação foi deslocado intencionalmente para sombrear melhor a sala 3 que apresentava um alto valor de pico de refrigeração na condição sem painéis, como pode ser observado no apêndice C que apresenta o comportamento individual de cada sala com a influência dos painéis, numa análise feita para dias de projeto.

O comportamento em médias mensais da opção 3 onde os painéis estão alinhados com o prédio com Azimute 317,5° e inclinação de 20°, melhor proposta encontrada para o primeiro objetivo pode ser observado no apêndice D.

6.1.1 Tarifa residencial aplicada no primeiro objetivo específico

A tarifa residencial tem um valor fixo para o kWh para todos os horários de funcionamento.

Se o ambiente de estudo for considerado um ambiente que paga tarifa residencial comum de R\$ 0,4327624 por kWh, valor do kWh residencial na cidade de Porto Alegre em Maio de 2008, a economia anual obtida para cada orientação proposta é demonstrada na tabela 6.3.

Tabela 6.3 – Tarifa residencial aplicada às orientações propostas

Orientações	Consumo elétrico total anual (kWh)	Efeito do sombreamento no consumo elétrico total anual (kWh)	Conversão fotovoltaica total anual modelo diodo (kWh)	Valor pago na tarifa residencial (R\$)	Economia ao ano (R\$)
Sem painéis	24088,49	-	-	10011,13	
1 Norte	23770,78	-317,712	10004,29	5550,19	4460,94
2 Norte 2 blocos	23793,67	-294,81	10883,55	5179,16	4831,97
3 Alinhado	23776,06	-312,42	10651,86	5272,27	4738,86
4 Intermediário	23790,43	-298,06	10733,09	5243	4768,13

Com a tarifa residencial a orientação que proporcionou a maior economia anual foi a número dois. Com a tarifa homogênea a opção que se mostrou mais econômica também foi a que apresentou maior conversão fotovoltaica anual apesar de ser a opção que melhor sombreou o ambiente.

6.2 Segundo objetivo

O mesmo procedimento foi aplicado agora para as opções propostas para o segundo objetivo.

Primeiro foi aplicada à tarifa horo-sazonal verde.

Tabela 6.4 – Análise econômica para o segundo objetivo específico tarifa horo-sazonal

Orientação Az 280° In 46,2°	Consumo elétrico total anual (kWh)	Efeito do sombreamento no consumo elétrico total anual (kWh)	Conversão fotovoltaica total anual modelo diodo (kWh)	Valor pago na tarifa horo-sazonal verde (R\$)	Economia ao ano (R\$)
Sem painéis	24088,4	-	-	5777,32	
1 Mesma altura	23873,3	- 215,17	8569,21	4022,19	1755,13
2 Degrau	23901	- 187,47	9051,2	3873,51	1903,81
3 Mesmo plano	23893,2	- 195,25	9050,91	3872,25	1905,07

Neste caso as opções dois e três se mostraram muito aproximadas, tendo a três apresentado um resultado de economia levemente maior.

Observa-se a redução na geração anual em relação à conversão para o primeiro objetivo, isto já era esperado, pois o foco desta orientação é outro. Pode ser observado nos gráficos de médias mensais apresentados no apêndice E, que a orientação dos módulos fotovoltaicos proposta atingiu seu objetivo de deslocar o ponto de pico da conversão para as 16h.

6.2.1 Tarifa residencial aplicada no Segundo objetivo específico

A tabela 6.5 mostra a aplicação da tarifa residencial nas orientações propostas para o segundo objetivo.

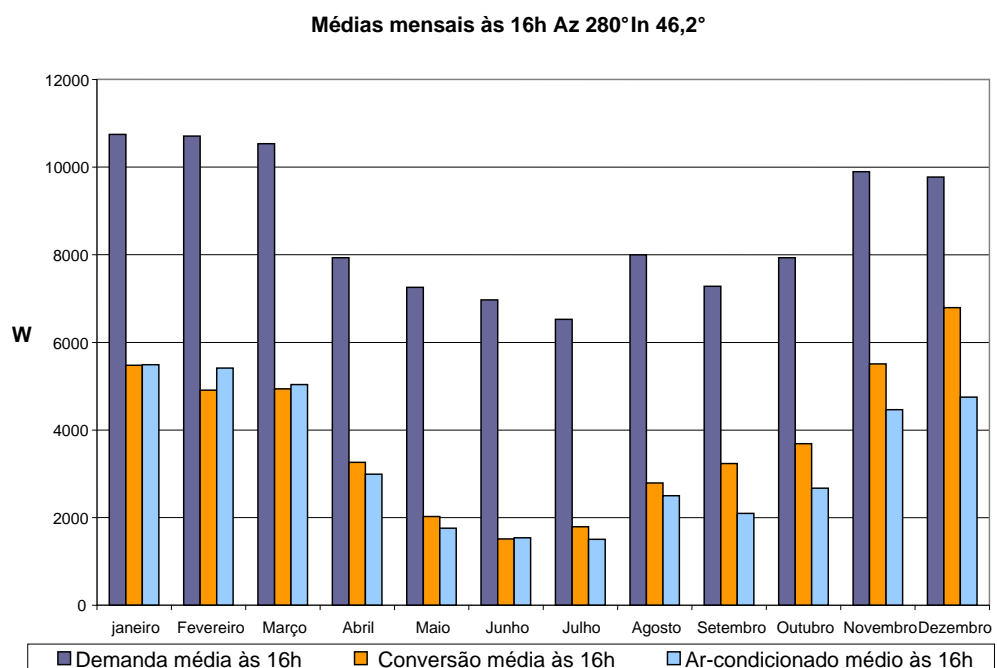
Tabela 6.5 – Análise econômica para o segundo objetivo específico tarifa residencial

Orientação Az 280° In 46,2°	Consumo elétrico total anual (kWh)	Efeito do sombreamento no consumo elétrico total anual (kWh)	Conversão fotovoltaica total anual modelo diodo (kWh)	Valor pago na tarifa residencial (R\$)	Economia ao ano (R\$)
Sem painéis	24088,4	-	-	10011,13	
1 Mesma altura	23873,3	- 215,17	8569,21	6213,73	3797,4
2 Degrau	23901	- 187,47	9051,2	6016,61	3994,52
3 Mesmo plano	23893,2	- 195,25	9050,91	6013,51	3997,62

No caso da aplicação da tarifa residencial ao objetivo específico dois, que é propor uma orientação que contribua no horário de pico, a opção proposta três continuou gerando a maior economia anual.

Para avaliar o quanto à conversão fotovoltaica da orientação destinada à redução do pico se aproximou do pico das cargas às 16h, a figura 6.2 apresenta o gráfico das médias mensais da conversão fotovoltaica da demanda do sistema de ar-condicionado e da demanda total para as 16h.

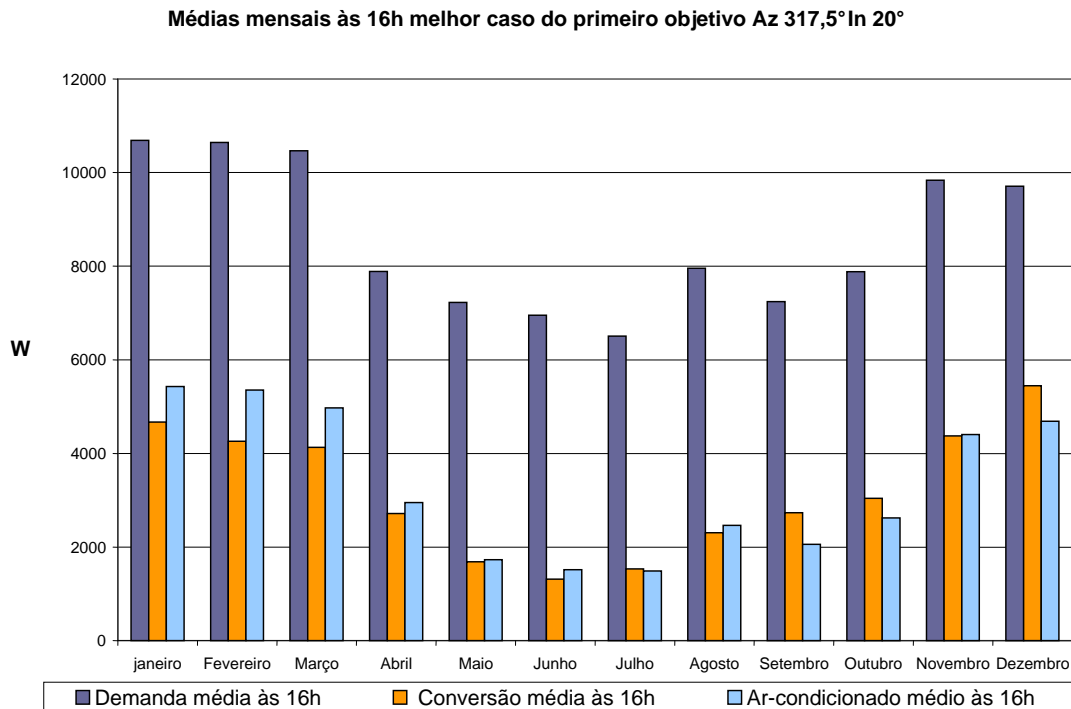
Figura 6.2 – Médias mensais para as 16h para o melhor caso do segundo objetivo



Percebe-se que a orientação proposta conseguiu acompanhar bem a demanda do sistema de ar-condicionado no horário de pico.

Na figura 6.3 observam-se as médias mensais da conversão fotovoltaica da demanda do sistema de ar-condicionado e da demanda total para as 16h, obtidas pela terceira orientação proposta para o primeiro objetivo com azimute 317,5 e inclinação de 20°.

Figura 6.3 – Médias mensais para as 16h para o melhor caso do primeiro objetivo



Observa-se que em média a conversão fotovoltaica obtida no horário das 16 horas também tende a se aproximar da demanda requerida pelo sistema de ar-condicionado, mas com um patamar inferior ao resultado médio obtido pela orientação dedicada ao segundo objetivo, que foi a orientação com azimute 280 e inclinação 46,2°.

A tabela 6.6 evidencia a influência da conversão fotovoltaica no decorrer do ano para os dois casos que se destacaram em cada objetivo.

Tabela 6.6 – Porcentagem da conversão fotovoltaica em relação ao consumo total

mês	Alternativas					
	Melhor para o objetivo 1			Melhor para o objetivo 2		
	Consumo total (kWh)	Conversão fotovoltaica (kWh)	(%)	Consumo total (kWh)	Conversão fotovoltaica (kWh)	(%)
Janeiro	2504,3	1226,8	48,9	2520,8	1067,8	42,3
Fevereiro	2246	1032,9	45,9	2260,5	885,7	39,1
Março	2425,5	1053,4	43,4	2443,4	897,9	36,7
Abril	1699,3	755	44,4	1709,5	621	36,3
Mai	1876,2	554,8	29,5	1878,7	445,2	23,7
Junho	1720,4	428,4	24,9	1723	342,8	19,8
Julho	1773,6	453,1	25,5	1775,6	371,6	20,9
Agosto	1908,1	666,8	34,9	1914,8	550,4	28,7
Setembro	1604,5	779,4	48,5	1610,2	650	40,3
Outubro	1759,7	1002	56,9	1768,9	815,1	46
Novembro	2100,2	1237,1	58,9	2114,7	1103	52,1
Dezembro	2157,6	1461,6	67,7	2172,57	1299,612	59,81914
Total	23776	10651,8	44,8	23893,2	9050,9	37,8

6.3 Custos com o sistema fotovoltaico

Os equipamentos utilizados para os dois objetivos foram os mesmos, alterando-se apenas a orientação dos painéis.

O valor do painel fotovoltaico utilizado foi obtido via Internet com um representante da marca no Brasil como também e o respectivo desconto de 15% em função da compra em quantidade. O valor do inversor foi obtido por comunicação verbal no Laboratório de Energia Solar da UFRGS, em se tratando que um mesmo modelo de inversor já fora adquirido pelo laboratório.

De posse do custo apenas de painéis e inversores, fez-se uma estimativa de custo total da instalação considerando-se que 10% do total seria gasto com a instalação e 5% com outros equipamentos como cabos, conectores, estruturas de fixação, proteções, etc. Com estas considerações se obtém um valor estimado para a instalação fotovoltaica com 80 painéis de aproximadamente 95,7W e 24Vcc, e dois inversores.

Tabela 6.7 - Estimativa do custo de instalação do sistema fotovoltaico

Equipamentos	Unidade (R\$)	Quantidade	Total (R\$)		
Painéis	1834	80	146.720,00	-15% (desconto)	124.712,00
Inversores	5302	2			10.604,00
Sub-total			135.316,00		
10% instalação (R\$)			15.919,52		
5% outros equipamentos (R\$)			7.959,76		
Valor total (R\$)			159.195,29		

Observando a economia proporcionada por cada orientação proposta fez-se uma estimativa para o tempo necessário para o retorno do investimento. A tabela 6.8 é referente ao caso em que foi adotada a tarifa horo-sazonal verde.

Tabela 6.8 - Estimativa do tempo para pagamento do sistema com a economia gerada na tarifa horo-sazonal verde

	Melhor caso	Economia anual (R\$)	Tempo para pagamento (ano)
Objetivo 1	Az 317,5° In 20°	2066,21	77
Objetivo 2	Az 280° In 46,2° mesmo plano	1905,07	83,5

Esta avaliação mostra que para esta edificação, quando se aplica à tarifa horo-sazonal verde, a instalação solar fotovoltaica não se mostrou economicamente viável, pois a mesma tem um período estimado de 30 anos de vida útil.

A tabela 6.9 é referente à aplicação da tarifa residencial. R\$ 0,433 por kWh

Analisando a aplicação da tarifa residencial para o primeiro objetivo específico, a melhor orientação foi à segunda orientação norte com inclinação de 20°, com dois arranjos cada um com 40 painéis.

Para o segundo objetivo específico a melhor orientação com a tarifa residencial também foi à terceira proposta a orientação de azimute 280° e inclinação 46,2°, com os arranjos no mesmo plano.

Tabela 6.9 - Estimativa do tempo para pagamento do sistema com a economia gerada na tarifa residencial

	Melhor caso	Economia anual (R\$)	Tempo para pagamento (ano)
Objetivo 1	Norte In 20°	4831,97	33
Objetivo 2	Az 280° In 46,2° mesmo plano	3997,62	40

A análise do ambiente considerando a tarifa residencial reduziu o tempo para o pagamento do sistema para o primeiro objetivo em 57,15% e no segundo objetivo em 52 %, em relação à avaliação com a tarifa horo-sazonal, isto demonstra que aplicações fotovoltaicas em edificações com tarifa residencial se encontram com uma maior predisposição a aplicabilidade.

Esta estimativa de preço de compra de painéis considerou uma compra feita no Brasil através de fornecedor de uma marca estrangeira. Se fosse considerada uma parcela de contribuição do governo na aquisição destes equipamentos como ocorre em outros países, esta aplicação poderia se tornar mais atrativa economicamente.

Também se deve levar em consideração que a edificação avaliada é construtivamente robusta e o efeito do sombreamento na construção não pode oferecer uma redução econômica mais considerável.

Tais resultados são um estímulo a investigação de novas tecnologias e políticas que tornem a aplicação solar fotovoltaica cada vez mais viável e presente nas edificações.

7 CONCLUSÃO

Para a edificação em questão à aplicação de uma instalação fotovoltaica do porte de oitenta painéis e dois inversores demonstrou um prazo muito longo para o retorno do investimento, quando aplicada à tarifa horo-sazonal verde, e uma redução de mais da metade deste tempo quando aplicada a tarifa residencial comum.

O trabalho em questão é um estudo de caso específico da aplicação solar fotovoltaica.

A melhor escolha da orientação dos arranjos fotovoltaicos não depende só da energia elétrica convertida, mas também do efeito térmico proporcionado pela presença dos painéis na edificação.

A metodologia de análise de instalações fotovoltaicas proposta neste trabalho possibilita encontrar um modelo de instalação fotovoltaica personalizada para a edificação em estudo, que vai proporcionar um melhor desempenho térmico, energético e econômico.

Conhecendo-se o comportamento térmico do ambiente como, por exemplo, quais zonas exigem mais do sistema de refrigeração, podem-se organizar os painéis da superfície do telhado priorizando o efeito de sombreamento nestas zonas.

Ao final da análise a melhor opção de orientação fotovoltaica é a que proporciona uma melhor economia financeira ao ano.

Este estudo serve de base e motivação a aplicações da energia solar fotovoltaica como promissora alternativa energética em edificações, e incentiva o desenvolvimento de meios que levem a tecnologia solar fotovoltaica a se tornar cada vez mais viável e presente no cenário energético das edificações.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Obter dados dos fabricantes para elaboração das equações de desempenho das máquinas de condicionamento de ar no Energyplus.

- Observar comportamento em outras regiões, para verificar se alguma região apresenta maior viabilidade à aplicação.

- Dimerizar o funcionamento das lâmpadas próximas às janelas, com o objetivo de maior economia de energia.

- Instalação de recuperador de calor.

- Implementar cálculos de tarifas no EnergyPlus.

- Comparar com a aplicação de outras tarifas energéticas.

- Comparar dados obtidos em simulações com dados reais de edificações solares fotovoltaicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adnene Cherif , Ahmed Dhouib, 2002. **Dynamic modelling and simulation of a photovoltaic refrigeration plant**, Engineering Institute of Tunis, Energetic Laboratory, E.N.I.T, BP 37 1002 Tunis, Tunisia, Received 15 November 2000; accepted 19 April 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/>> Acesso em: outubro de 2007.

ASHRAE Handbook Fundamentals, 2005, ASHRAE, Atlanta, GA, EUA

B.T. Griffith and P.G. Ellis, August 29–September 3, 2004. **Photovoltaic and Solar Thermal Modeling with the EnergyPlus Calculation Engine** presented at the World Renewable Energy Congress VIII and Expo Denver, Colorado. Disponível em: <http://gundog.lbl.gov/dirpubs/bg_36275.pdf>, Acesso em: agosto de 2007.

Deivis Luis Marinoski, Isabel Tourinho Salamoni, Ricardo Rütther, 18-21 julho 2004. **Pré-Dimensionamento de Sistema Solar Fotovoltaico: Estudo de Caso do Edifício Sede do Crea-Sc**, I Conferência Latino-Americana De Construção Sustentável X Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído, São Paulo. ISBN 85-89478-08-4. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/linhas_pesquisa/energia_solar/publicacoes/pre_dimensionamento.pdf> Acesso em: fevereiro de 2008.

Dunlop, James, September 12, 2003. **Study Guide for Photovoltaic System Installers and Sample Examination Questions**, version 1. Disponível em: <<http://www.fsec.ucf.edu/en/publications/pdf/FSEC-GP-274-03.pdf>> Acesso em: fevereiro de 2008.

Drury B. Crawley, Jon W. Hand, Michael Kummert, Brent T.Griffith, version 1.0 July 2005. **Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulations Programs**. Disponível em: <http://www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/pdfs/contrasting_the_capabilities_of_building_energy_performance_simulation_programs_v1.0.pdf>, Acesso em: abril de 2008.

EnergyPlus Manual Documentation, October 2007, Version 2.1. Disponível em: <<http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>> Acesso em: 29 de Novembro de 2007.

Green Building Rating System For New Construction & Major Renovations, October 2005 Version 2.2 For Public Use and Display..Disponível em: <<http://www.usgbc.org/>> Acesso em: outubro de 2007.

Heronildes Q. Oliveira, 1998. **OTIMIZAÇÃO DE CÂMARA FRIGORÍFICA TERMELÉTRICA ACIONADA POR CÉLULAS SOLARES**. Universidade Federal do Espírito Santo, MERCOFRIO 98 - Feira e Congresso de Ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação do Mercosul. Disponível em: <<http://www.revistadofrio.com.br/pdf/artigo12.pdf>> Acesso em: outubro de 2007.

Hiren Patel and Vivek Agarwal, Março 2008. **MATLAB-Based Modeling to Study the Effects of Partial Shading on PV Array Characteristics**. IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 23, NO. 1.

Isabel Salamoni, Ricardo Ruther, Paulo Knob, Clarissa Zomer, Antônia Sônia Cardoso Diniz. julho 2004. **O Potencial dos Sistemas Fotovoltaicos Integrados à Edificação e Interligados à Rede Elétrica em Centros Urbanos Do Brasil: Dois Estudos De Caso**. Universidade Federal de Santa Catarina, CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO 18-21 julho 2004, São Paulo. ISBN 85-89478-08-4. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/linhas_pesquisa/energia_solar/publicacoes/O_potencial_dos_sistemas_fotovoltaicos.pdf> Acesso em: outubro de 2007.

Joyce Correna Carlo, Prof. Roberto Lamberts, 2005. **Processamento de arquivos climáticos para simulação do desempenho energético de edificações**, Universidade Federal de Santa Catarina, centro tecnológico departamento de engenharia civil, Convênio ECV-007/2004 Eletrobrás/UFSC, AET N° 02/04 - ELABORAÇÃO DE REGULAMENTAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE EDIFICAÇÕES EFICIENTES. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/RT200504.pdf>>, Acesso em: março de 2008.

LabEEE, 2007. Laboratório de Eficiência Energética em Edificação da Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/downloadaclim.html>>
Acesso em: março de 2007.

P. Frankl, A. Masini, M. Gamberale and D. Toccaceli, 1998. **Simplified Life-cycle Analysis of PV Systems in Buildings: Present Situation and Future Trends**. PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS: RESEARCH AND APPLICATIONS Prog. Photovolt. Res. Appl. 6, 137-146. Disponível em: <<http://www.hcs.harvard.edu/~hejc/papers/Solar%20Jan07/Frankl%20ProgPVRes98.pdf>> Acesso em: março de 2008.

Rafael Amaral, Shayani Marco Aurélio Gonçalves de Oliveira, Ivan Marques de Toledo Camargo, 2006. **Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais**. Disponível em: <http://engenharia.shayani.net/Comparacao_Custo_Energia_Solar_FV.pdf> Acesso em: março de 2008

Rüther, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Integrada à Rede Elétrica Pública no Brasil**. Florianópolis: Editora UFSC/LABSOLAR, 1º edição 2004.

OBRAS CONSULTADAS

CEEE Distribuição, 2007. **Tabela de tarifas – Horo-Sazonal Verde**, Resolução Homologatória ANEEL n° 555. Disponível em: <<http://www.ceeec.com.br /portal /ceee /archives /Tarifa%20CEEE%20D%20Horo-Sazonal%20Verde%202007.pdf>> Acesso em: abril de 2008.

Escelsa Energias do Brasil, Vitória, 21 de dezembro de 2004. **Manual do cliente horo-sazonal**, Diretoria Comercial Superintendência de Comercialização de Energia Gerência de Clientes Especiais. Disponível em : <<http://www.escelsa.com.br /clientes /Manual%20do%20Cliente%20Horo-sazonal %20completo.pdf>> Acesso em: abril de 2008.

Hitachi Ar Condicionado do Brasil Ltda Mar/2006. **Condicionador de Ar Split Hi-Wall. Manual de Instalação e Operação. IHMOP-RASAR009**. Disponível em: <<http://www.hitachisa.com.br/>> Acesso em: setembro de 2006.

IEA International Energy Agency, 2002. **Building Integrated Photovoltaic Power Systems Report IEA PVPS T7-05**. Disponível em: <http://www.iea-pvpsuk.org.uk /resources/documents/T7-5_2002.pdf> Acesso em: 23 de Março de 2008.

Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos, Maurício Roriz out./dez. 2007. **Influência do ângulo de incidência na transmitância de luz natural através de materiais transparentes Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 123-135. Disponível em: <http://www.antac.org.br /ambienteconstruido/pdf/revista/artigos/Doc148204.pdf> > Acesso em: abril de 2008.

SMA Technologie, 281206 **Sunny Boy3800 Flyer**. Disponível em: <<http://www.sma-america.com>> Acesso em: 6 de Março de 2008

APÊNDICE A - Estudo comparativo do consumo elétrico de computadores

Computador		Equipamentos	Corrente (A)		Tensão (V)	Potência (W)
1	Lafriq	Monitor comum cpu	Máx 1,61	Média 1,54	118	181,72
			Mín 1,47			
2	CPU 04 sala alunos	Monitor comum Cpu Switch estabilizador	Máx 1,86	Média 1,745	117	204,165
			Mín 1,63			
3	CPU 01 sala alunos	Estabilizador Monitor LCD Cpu NOVO	Máx 1	Média 0,87	119	103,53
			Mín 0,74			
4	CPU 02 sala alunos	Estabilizador Monitor LCD Cpu NOVO	Máx 0,91	Média 0,8	119	95,2
			Mín 0,69			
5	CPU IBM sala alunos	Estabilizador Monitor comum cpu	Máx 1,78	Média 1,555	118	183,49
			Mín 1,33			
6	Pessoal	Estabilizador Monitor comum Cpu Cable modem	Máx 1,56	Média 1,36	124	168,64
			Mín 1,16			
Média com monitor comum						184,5
Média com monitor LCD						99,365

Obs: Mín - CPU ligada sem nenhum aplicativo ativo e nenhum processamento.

Máx - CPU com 100% de processamento simulando Energyplus.

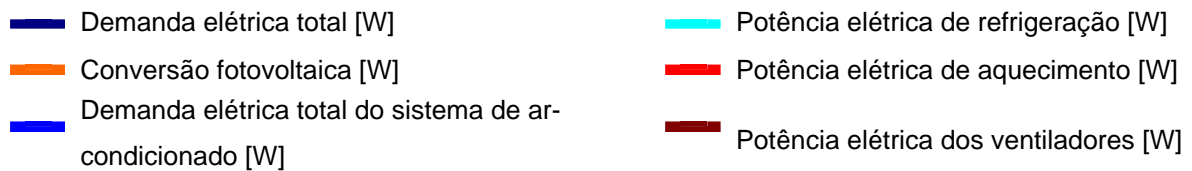
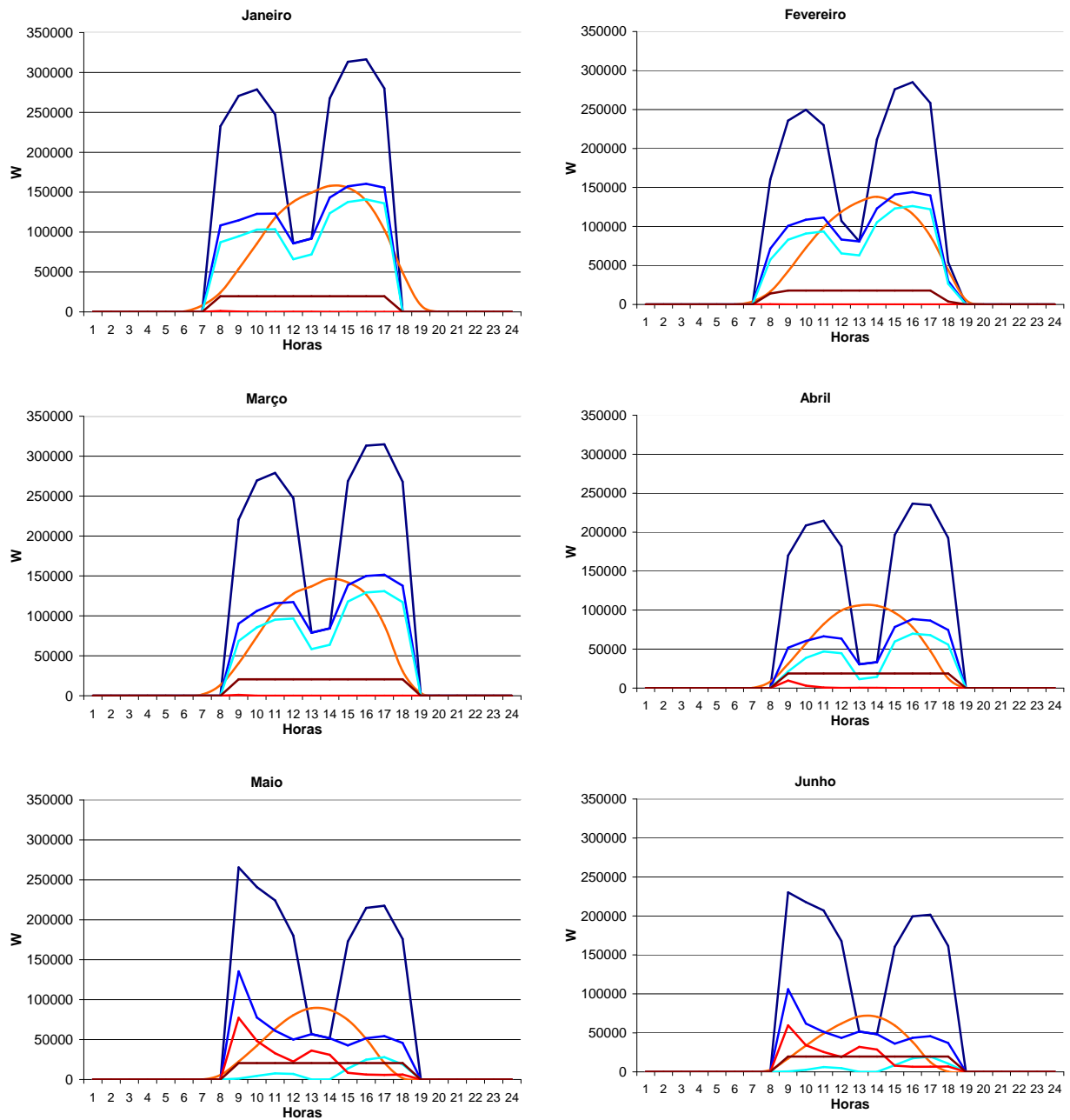
APÊNDICE B - Tabela dias de projeto

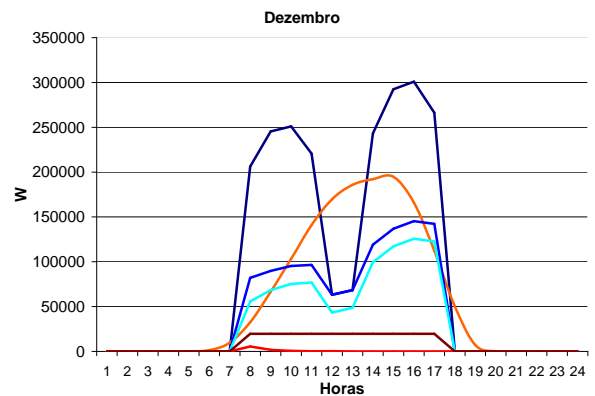
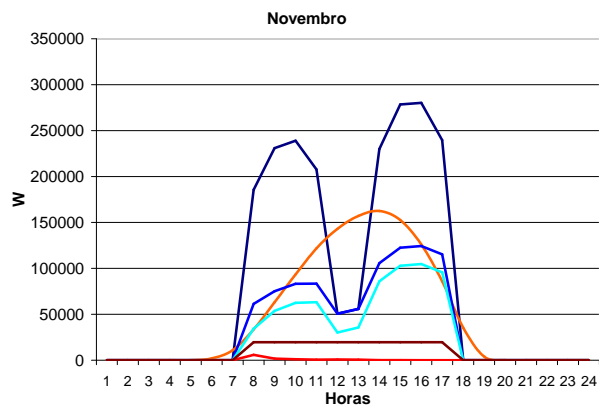
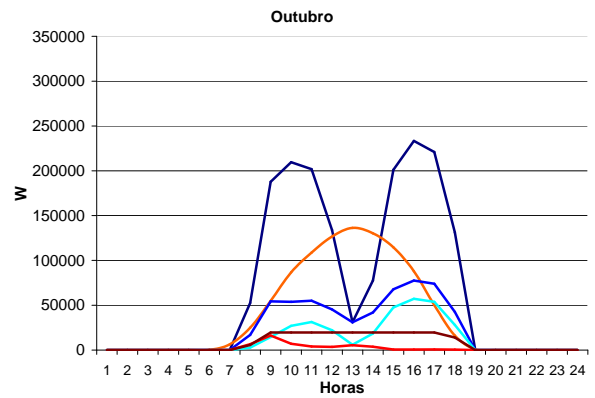
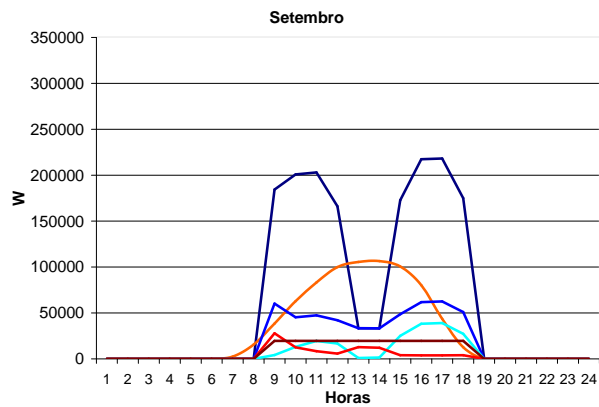
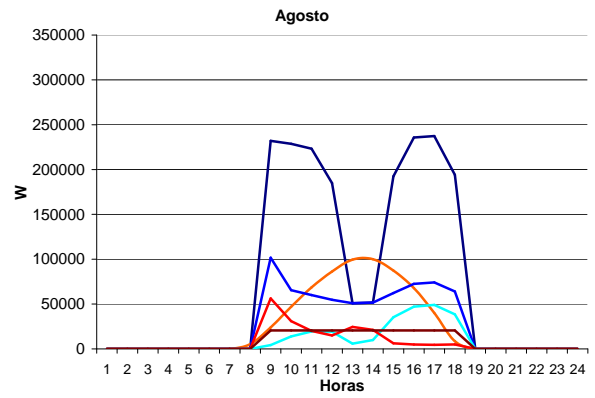
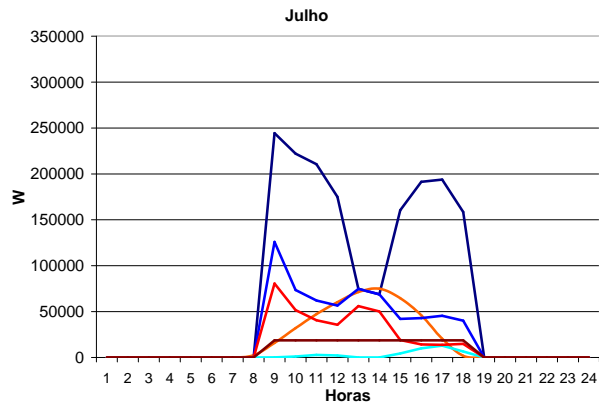
	Nome do dia de projeto	Descrição
1	poa inv s/sol (21/07)	Dia de inverno sem sol
2	poa inv c/sol (21/06)	Dia de inverno com sol
3	poa tbs 12 (21/12)	Dias de projeto com referência na temperatura de bulbo seco para meses de verão
4	poa tbs 1 (21/01)	
5	poa tbs 2 (21/02)	
6	poa tbs 3 (21/03)	
7	poa tbu 12 (22/12)	Dias de projeto com referência na temperatura de bulbo úmido para meses de verão
8	poa tbu 1 (22/01)	
9	poa tbu 2 (22/02)	
10	poa tbu 3 (22/03)	
11	poa w 12 (23/12)	Dias de projeto com referência no conteúdo de unidade para meses de verão
12	poa w 1 (23/01)	
13	poaw 2 (23/02)	
14	poa w 3 (23/03)	

APÊNDICE C - Tabela comparativa geral picos de refrigeração em dias de projeto

		Sala 1 Mês / Dia de projeto Hora pico de refrigeração (W)	Sala 2 Mês / Dia de projeto Hora pico de refrigeração (W)	Sala 3 Mês / Dia de projeto Hora pico de refrigeração (W)	Sala 4 Mês / Dia de projeto Hora pico de refrigeração (W)	Corredor e Sala 5 Mês / Dia de projeto Hora pico de refrigeração (W)	Sala 6 Mês / Dia de projeto Hora pico de refrigeração (W)	Sala 7 Mês / Dia de projeto Hora pico de refrigeração (W)	Sala 8 Mês / Dia de projeto Hora pico de refrigeração (W)	Sala 9 E 11 Mês / Dia de projeto Hora pico de refrigeração (W)	Sala 10 Mês / Dia de projeto Hora pico de refrigeração (W)	Soma dos picos	Consumo anual do sistema de refrigeração (kWh)
	Sem painéis	12/21 09:00:00 2248,03	12/22 18:00:00 2425,48	12/22 18:00:00 2922,05	12/22 18:00:00 4226,96	01/23 10:00:00 3722,48	03/23 09:00:00 1800,48	03/22 09:00:00 1614,4	12/22 09:00:00 4452,66	12/22 15:00:00 6085,45	12/22 09:00:00 1228,76	30726,78	10237,21
Orientações propostas para o primeiro objetivo	1	12/21 09:00:00 2179,17	12/22 18:00:00 2361,53	12/22 18:00:00 2858,96	12/22 18:00:00 4153,46	02/23 10:00:00 3609,82	03/23 09:00:00 1770,68	03/22 09:00:00 1596,65	12/22 09:00:00 4294,94	12/22 15:00:00 5979,14	12/22 09:00:00 1174,45	29978,84	9919,5
	2	12/21 09:00:00 2179,82	12/22 18:00:00 2368,74	12/22 18:00:00 2872,48	12/22 18:00:00 4169,53	02/23 10:00:00 3628,53	03/23 09:00:00 1772,44	03/22 09:00:00 1597,95	12/22 09:00:00 4297,37	12/22 15:00:00 5946,6	12/22 09:00:00 1169,59	30003,1	9942,39
	3	12/21 09:00:00 2125,4	12/22 18:00:00 2359,21	12/22 18:00:00 2882,23	12/22 18:00:00 4181,16	01/23 10:00:00 3644,6	03/23 09:00:00 1777,5	03/22 09:00:00 1598,22	02/22 09:00:00 4253,17	12/22 15:00:00 5867,34	12/22 09:00:00 1138,62	29827,49	9924,78
	4	12/21 09:00:00 2168,42	12/22 18:00:00 2359,54	12/22 18:00:00 2862,86	12/22 18:00:00 4158,15	02/23 10:00:00 3617,94	03/23 09:00:00 1773,21	03/22 09:00:00 1599,37	02/22 09:00:00 4298,9	12/22 15:00:00 5997,28	12/22 09:00:00 1169,72	30005,42	9939,15
Orientações propostas para o primeiro objetivo	1	12/21 09:00:00 2204,69	12/22 18:00:00 2384,81	12/22 18:00:00 2878,55	12/22 18:00:00 4176,21	01/23 10:00:00 3643,79	03/23 09:00:00 1777,23	03/22 09:00:00 1600,95	12/22 09:00:00 4346,12	12/22 15:00:00 6005,76	12/22 09:00:00 1194,84	30212,99	10022,04
	2	12/21 09:00:00 2209,3	12/22 18:00:00 2387,29	12/22 18:00:00 2880,44	12/22 18:00:00 4178,37	01/23 10:00:00 3647,92	03/23 09:00:00 1780,95	03/22 09:00:00 1603,04	12/22 09:00:00 4358,22	12/22 15:00:00 6026,19	12/22 09:00:00 1199,07	30270,82	10049,73
	3	12/21 09:00:00 2207,63	12/22 18:00:00 2386,8	12/22 18:00:00 2880,99	12/22 18:00:00 4179,07	01/23 10:00:00 3649,39	03/23 09:00:00 1781,46	03/22 09:00:00 1603,18	02/22 09:00:00 4350,34	12/22 15:00:00 6001,6	12/22 09:00:00 1196,41	30236,92	10041,96

APÊNDICE D – Gráficos das médias mensais caso 3 para o objetivo 1.

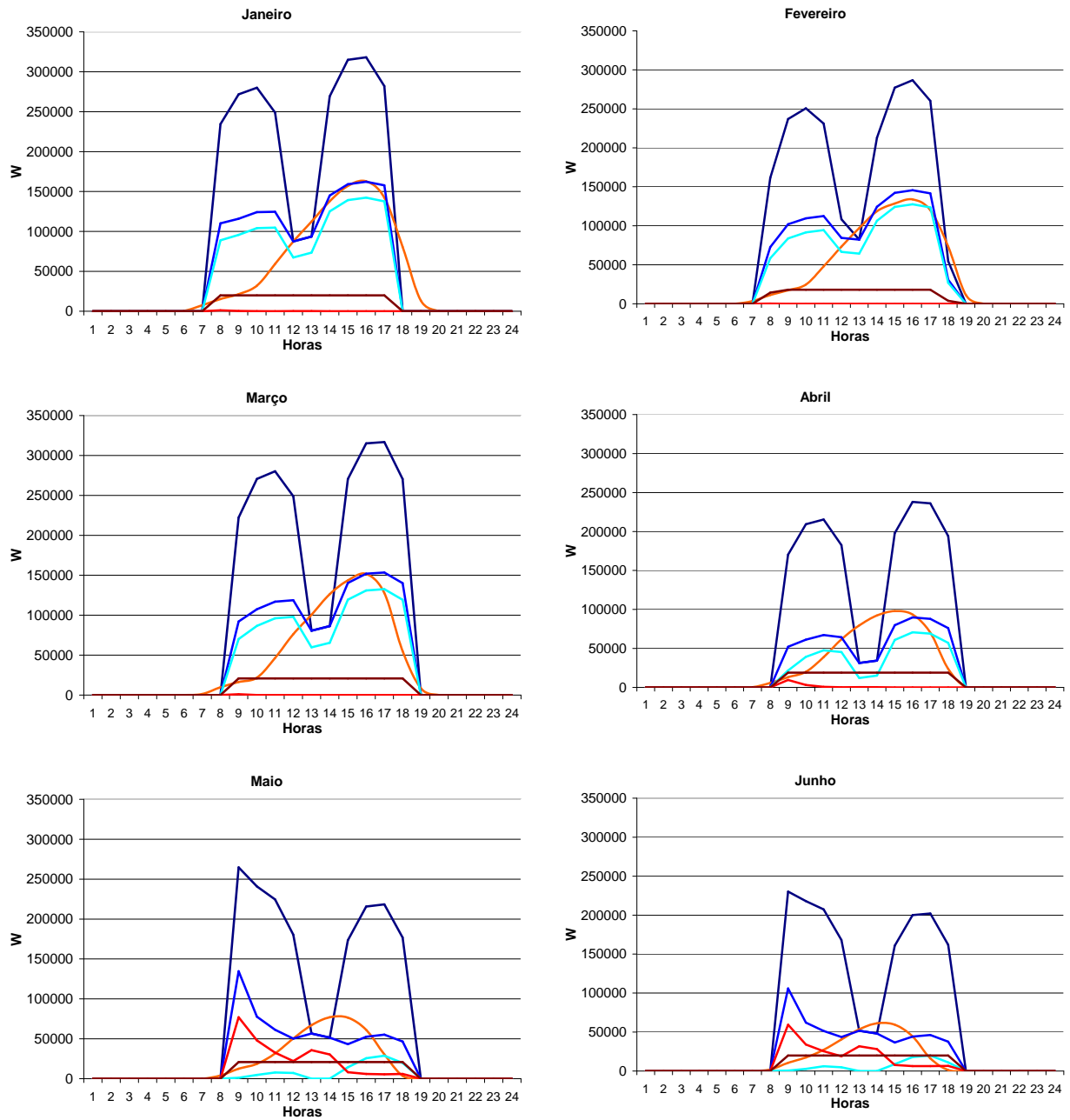


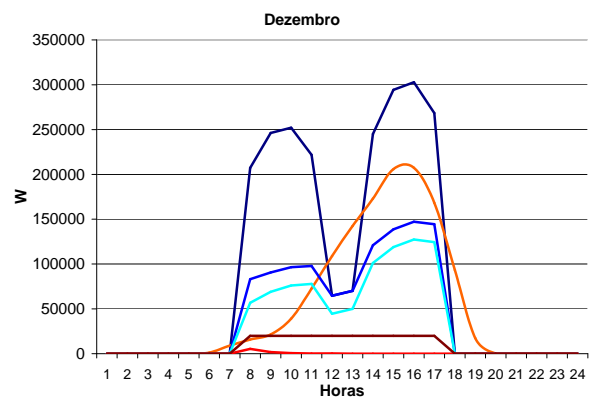
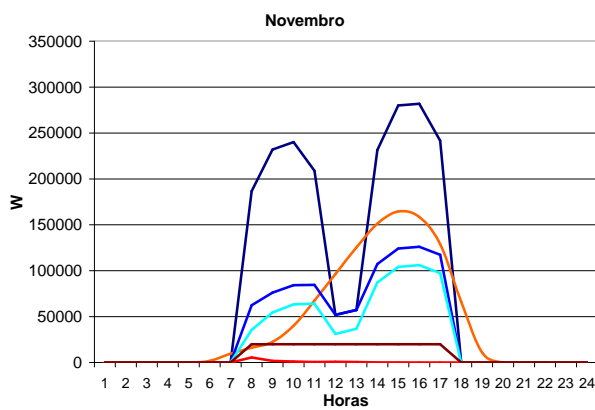
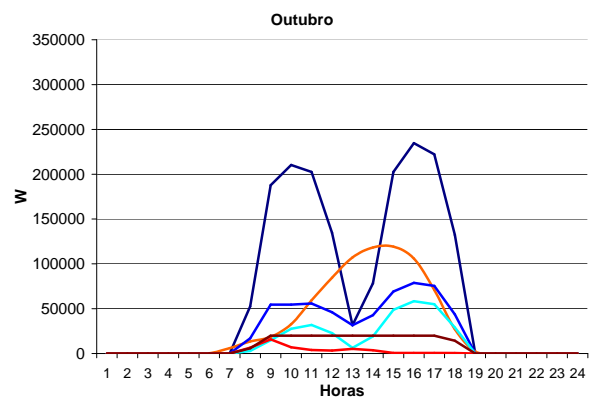
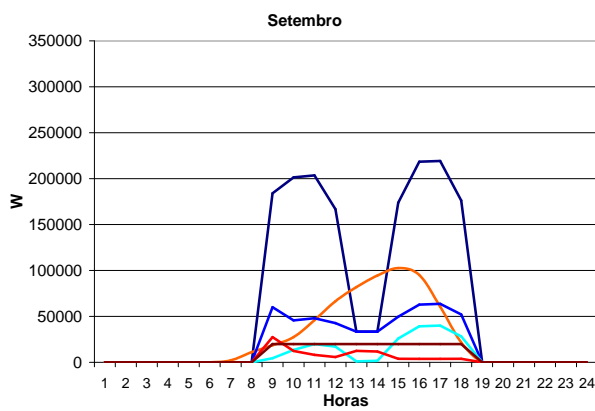
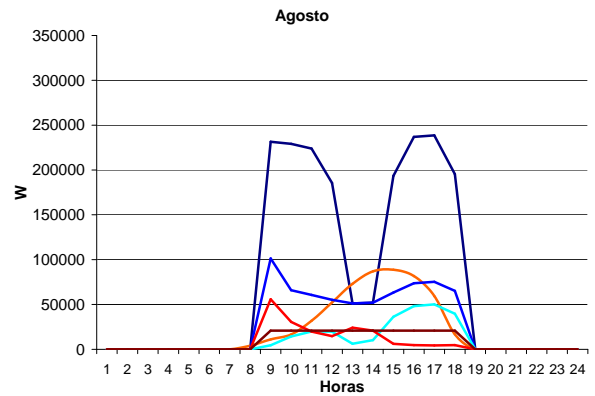
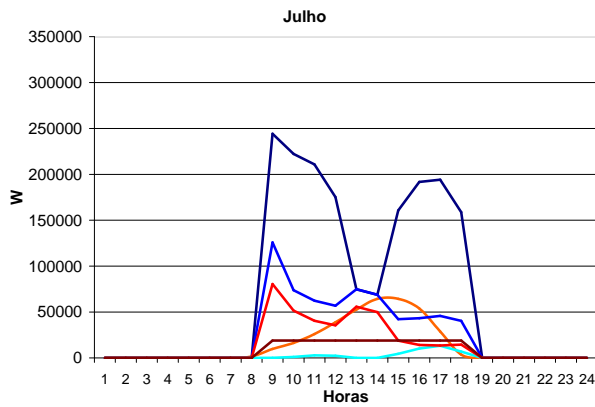


— Demanda elétrica total [W]
— Conversão fotovoltaica [W]
— Demanda elétrica total do sistema de ar-condicionado [W]

— Potência elétrica de refrigeração [W]
— Potência elétrica de aquecimento [W]
— Potência elétrica dos ventiladores [W]

APÊNDICE E – Gráficos das médias mensais simulação 3 objetivo 2.





■ Demanda elétrica total [W]

■ Conversão fotovoltaica [W]

■ Demanda elétrica total do sistema de ar-condicionado [W]

■ Potência elétrica de refrigeração [W]

■ Potência elétrica de aquecimento [W]

■ Potência elétrica dos ventiladores [W]

ANEXO B – Foto da fachada nordeste do prédio da reitoria

