



**TECNOLOGIA
SETÚBAL**

ESCOLA SUPERIOR
POLITÉCNICO SETÚBAL

GIRIANE SOFIA
ALVES ROCHA

**MODELAÇÃO ENERGÉTICA DE
UM EDIFÍCIO MULTIFAMILIAR
LOCALIZADO EM CABO VERDE**

Relatório de projeto do Mestrado em Engenharia
e Gestão de Energia na Indústria e Edifícios

ORIENTADOR

Professor Doutor Luís Manuel Rodrigues Coelho

16 de dezembro de 2025

GIRIANE SOFIA
ALVES ROCHA

**MODELAÇÃO ENERGÉTICA DE
UM EDIFÍCIO MULTIFAMILIAR
LOCALIZADO EM CABO VERDE**

JÚRI

Presidente: Professor Doutor Paulo Miguel Marques
Fontes, Instituto Politécnico de Setúbal

Orientador: Professor Doutor Luís Manuel Rodrigues
Coelho, Instituto Politécnico de Setúbal

Vogal: Professor Doutor Nuno Humberto Costa
Pereira, Instituto Politécnico de Setúbal

16 de dezembro de 2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda minha família por ter-me dado o suporte necessário ao longo desse processo.

Minha imensa gratidão ao meu orientador, professor Doutor Luís Coelho, pela orientação e por todo apoio prestado durante a realização deste trabalho.

RESUMO

A previsão de consumos em um edifício é um importante instrumento para identificar oportunidades de melhoria e potencializar a eficiência energética. Este relatório apresenta os resultados da modelação energética de um edifício multifamiliar localizado em Cabo Verde, usando o DesignBuilder. A modelação resultou em um edifício típico de Cabo Verde, onde os valores de coeficientes de transmissão térmica foram comparados com os valores de referência do Código de Eficiência Energética em Edifícios de Cabo Verde. O arrefecimento do edifício foi a maior categoria de consumo de energia, correspondendo a cerca de 70% do consumo energético anual do edifício.

Palavras Chaves: Modelação Energética, Simulação Energética, Código de Eficiência Energética em Edifícios de Cabo Verde

ABBSTRACT

Energy consumption forecasting in a building is an important tool for identifying opportunities for improvement and enhancing energy efficiency. This report presents the results of energy modelling of a multi-family building located in Cabo Verde, using DesignBuilder. The modelling resulted in a typical Cape Verdean building, where the values of thermal transmittance coefficients were compared with the reference values of the Cabo Verde Building Energy Efficiency Code. Building cooling was the largest category of energy consumption, accounting for about 70% of the building's annual energy consumption.

Keywords: Energy Modelling, Energy Simulation, Cabo Verde Building Energy Efficiency Code

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO.....	IV
ABBSTRACT	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABELAS	IX
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	X
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos	1
1.3 Estruturação do trabalho.....	2
CAPÍTULO 2: CONTEXTUALIZAÇÃO SOBRE ENERGIA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS EM CABO VERDE	3
2.1 Enquadramento.....	3
2.2 Sector energético de Cabo Verde	3
2.2.1 O sector elétrico	4
2.2.2 O setor dos combustíveis	5
2.3 Instrumentos legais para a eficiência energética em Cabo Verde.....	6
2.3.1 Código de Eficiência Energética em Edifícios – CEEE	7
2.4 Caraterização geral dos edifícios em Cabo Verde.....	9
CAPÍTULO 3: MODELAÇÃO E SIMULAÇÃO ENERGÉTICA.....	10
3.1 Enquadramento.....	10
3.2 O EnergyPlus	11
3.2.1 EnergyPlus e ferramentas de modelação energética	11
3.3 Norma ANSI/ASHRAE 140	12
3.4 DesignBuilder	13
3.5 Simulação Energética de um edifício.....	15
CAPÍTULO 4: APRESENTAÇÃO E MODELAÇÃO DO CASO DE ESTUDO	18
4.1 Caraterização do edifício	18
4.2 Modelação do edifício no DesignBuilder.....	19

4.2.1	Dados climáticos	19
4.2.2	Modelação 3D e definição da envolvente do edifício	19
4.2.3	Atividade e cargas térmicas internas do edifício	21
4.2.4	Modelação do sistema AVAC do edifício	23
4.3	Análise da radiação solar e sombreamentos	27
CAPÍTULO 5: APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS		31
5.1	Simulação Energética do Edifício	31
5.1.1	Resultados relativos ao sistema AVAC.....	32
5.1.2	Resultados relativos ao sistema de iluminação	33
5.1.3	Balanço de carga térmica sensível anual.....	34
5.1.4	Custos Energéticos	35
5.2	Estudos Paramétricos	35
5.2.1	Estudo I: Análise da influência dos <i>setpoints</i> de climatização no consumo energético do edifício	35
5.2.2	Estudo I: Análise da influência dos sombreamentos externos no consumo energético do edifício	36
5.2.3	Estudo II: Análise do impacto de um sistema fotovoltaico na redução dos consumos energéticos do edifício	36
CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES.....		39
CAPÍTULO 7: DESENVOLVIMENTOS FUTUROS		40
Bibliografia.....		41
ANEXOS		43
Anexo A: Blocos do edifício		43
Anexo B: Perfis utilizados no projeto		44
Anexo C: Representação esquemática do sistema de climatização		48
Anexo D: Dimensionamento das baterias de arrefecimento		49
Anexo E: Dimensionamento dos ventiladores dos ventiloconvectores		49

INDÍCE DE FIGURAS

Figura 1: Hierarquia de funcionamento do DesignBuilder	14
Figura 2: Exemplificação de um Bloco e diversas Zonas no DesignBuilder.....	14
Figura 3: Diferentes fontes de cargas térmicas em um edifício.....	16
Figura 4: Localização geográfica do edifício – 16,90°N 24,99°W ~ 40 m.....	18
Figura 5: Imagem do edifício modelada no DesignBuilder (vista frontal)	20
Figura 6: Modelação detalhada do sistema AVAC	24
Figura 7: Componentes de uma zona térmica	25
Figura 8: Ganhos de calor nos espaços a serem arrefecidos	26
Figura 9: Perdas de calor nos espaços a serem aquecidos	26
Figura 10: Sombreamentos 22 setembro, 09h	28
Figura 11: Sombreamentos 22 setembro, 17h.....	28
Figura 12: Sombreamentos 22 dezembro, 09h	28
Figura 13: Sombreamentos 22 dezembro, 17h	28
Figura 14: Sombreamentos 22 março, 09h	29
Figura 15: Sombreamentos 22 março, 17h	29
Figura 16: Sombreamentos 22 junho, 09h.....	29
Figura 17: Sombreamentos 22 junho, 17h.....	29
Figura 18: Consumo mensal de energia elétrica	31
Figura 19: Balanço de carga térmica sensível anual no edifício	34
Figura 20: Modelação 3D do sistema fotovoltaico (janeiro, 22, 12:00).....	38

INDÍCE DE TABELAS

Tabela 4-1: Caracterização da envolvente do edifício	20
Tabela 4-2: Potência de equipamentos por espaço	21
Tabela 4-3: Área, ocupação e iluminação dos espaços	22
Tabela 5-1: Desagregação do uso final anual de energia	31
Tabela 5-2: Capacidade simulada para os radiadores	32
Tabela 5-3: Resultados da simulação relativo à iluminação	33
Tabela 5-4: Custo anual com energia	35
Tabela 5-5: Influência da diminuição de 1°C no setpoint temperatura no interior	35
Tabela 5-6: Impacto do aumento do <i>setpoint</i> temperatura de saída da água do <i>chiller</i>	36
Tabela 5-7: Comparação do consumo de eletricidade do edifício com e sem edifícios adjacentes	36
Tabela 5-8: Características do módulo, AC-350M / 156-72S, utilizado na simulação	37
Tabela 5-9: Balanço da energia elétrica consumida no edifício	38

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- ARME – Agência Reguladora Multissetorial da Economia
- ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
- AVAC – Sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
- BEM – Modelação Energética de Edifícios (do inglês: *Building Energy Modelling*)
- BIM – Modelação da Informação de Edifício (do inglês: *Building Information Modelling*)
- CEEE – Código de Eficiência Energética em Edifícios
- CLTD/CLF – Diferencial de temperatura da carga de arrefecimento/Fatores de carga de arrefecimento (do inglês: *Cooling Load Temperature Difference /Cooling Load Factor*)
- CTE – Código Técnico da Edificação
- DNICE – Direção Nacional de Indústria, Comércio e Energia
- DOE – Departamento de Energia dos EUA (do inglês: *United States Department of Energy*)
- INE – Instituto Nacional de Estatística (Cabo Verde)
- MICE – Ministério da Indústria, Comércio e Energia
- PNEE – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
- PNSE – Programa Nacional para a Sustentabilidade Energética
- RLF – Fator de Carga Residencial (do inglês: *Residential Load Factor*)
- SHGC – Coeficiente de Ganhos de Aquecimento Solar (do inglês: *Solar Heat Gain Coefficient*)
- U - Coeficiente de transmissão térmica

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Cabo Verde, sendo um pequeno estado insular em desenvolvimento e dada à fragilidade dos seus ecossistemas, encontra-se em uma posição de vulnerabilidade face aos impactos das alterações climáticas. Além disso, a sua fragilidade económica reforça essa vulnerabilidade, tornando o país mais exposto às flutuações económicas externas e diminuindo a sua resiliência perante as alterações climáticas. (Conselho de Ministros, 2021)

O setor energético, apesar de um dos principais pilares económicos do país, é um dos setores mais vulneráveis às flutuações económicas externas, uma vez que Cabo Verde importa a totalidade dos combustíveis fósseis consumidos internamente. Embora Cabo Verde seja rico em fontes de energia renovável, elas ainda representam uma fração relativamente baixa na matriz elétrica nacional. Em 2023 mais de 80% da eletricidade produzida foi proveniente de fontes térmicas. Enquanto isso, na matriz do setor de combustíveis para transporte e para cozinhar ainda não há referências à inserção de fontes limpas.

Por outro lado, a transição energética constitui um meio estratégico para aumentar a resiliência energética e económica do país. Além do aumento da penetração das energias renováveis na matriz energética, a eficiência energética é uma das oportunidades mais promissoras de potencializar a transição energética do país. Para Cabo Verde, onde até a produção de água potável depende quase inteiramente da energia elétrica, é fundamental que haja um consumo consciente e eficiente para equilibrar a procura e a capacidade de oferta de energia do sistema elétrico nacional.

Neste contexto, o setor dos edifícios constitui uma oportunidade de reduzir os consumos energéticos do país. A eficiência energética de um edifício é um processo que tem início na fase de conceção do edifício, passando por uma escolha de equipamentos e sistemas energeticamente eficientes, até uma gestão racional da energia.

A Diretiva EPBD 2024 da União Europeia aponta que o setor dos edifícios é responsável por cerca de 40% do consumo de energia final na Europa. Em Cabo Verde, uma vez que se estima um aumento de temperatura de cerca de 1°C até 2040 (Conselho de Ministros, 2021), é de se esperar que haja também um aumento do consumo energético dos edifícios principalmente devido à climatização.

1.2 Objetivos

O presente trabalho incide sobre a eficiência energética em edifícios, tendo como objetivo a modelação energética de um edifício multifamiliar localizado em Cabo Verde, com vista à previsão e análise dos consumos energéticos.

Para atingir esse objetivo foram definidas as seguintes etapas:

- Levantamento de dados climáticos de Cabo Verde;
- Exploração da ferramenta DesignBuilder;

- Modelação 3D do edifício;
- Estimativa de cargas internas (ocupação, iluminação, equipamentos);
- Modelação do sistema AVAC do edifício;
- Simulação energética do edifício;
- Realização de estudos paramétricos.

1.3 Estruturação do trabalho

Para além do presente capítulo introdutório, o relatório é composto por mais seis capítulos.

O segundo capítulo faz uma contextualização da energia e eficiência energética em edifícios em Cabo Verde, apresentando a situação atual da matriz energética do país e os principais instrumentos da eficiência energética.

O terceiro capítulo introduz os conceitos de modelação e simulação energética e apresenta o programa utilizado para modelação energética, o DesignBuilder.

O quarto capítulo apresenta o caso de estudo e os dados de modelação.

O quinto capítulo apresenta e discute os resultados da simulação energética e dos estudos paramétricos realizados.

O sexto e o sétimo capítulo são reservados às conclusões do trabalho e às perspetivas para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2: CONTEXTUALIZAÇÃO SOBRE ENERGIA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS EM CABO VERDE

2.1 Enquadramento

A República de Cabo Verde, localizada a cerca de 455 km da costa africana, é um arquipélago composto por dez ilhas vulcânicas, das quais nove são habitadas, que ocupam uma área de 4 033 quilómetros quadrados. O Censo 2021, realizado pelo INE (Instituto Nacional de Estatística), contabilizou uma população residente de 491 233 indivíduos.

Cabo Verde é caracterizado por um clima árido e relevo acidentado, com temperatura média anual a rondar os 25 °C e fraca pluviosidade. Apesar disso, Cabo Verde tem vindo a desenvolver-se rapidamente, em grande parte graças à sua próspera indústria turística, graduando de um país menos desenvolvido para um país de rendimento médio em 2007 (Conselho de Ministros, 2021), e mais recentemente, em julho de 2025, foi classificado pelo Banco Mundial como um país de rendimento médio-alto.

Para que o país continue a crescer economicamente, é fundamental garantir a disponibilidade e a segurança energética, bem como preços acessíveis de energia para a população. Isto assegura não só o desenvolvimento das atividades económicas do país como também a qualidade de vida dos residentes. A energia consumida em Cabo Verde é essencialmente proveniente de derivados de petróleo, entretanto, fontes de energia renováveis como a biomassa, o sol e o vento também ocupam uma percentagem na matriz energética do país.

2.2 Sector energético de Cabo Verde

O Governo de Cabo Verde ambiciona construir um setor energético seguro, eficiente, sustentável e sem dependência de combustíveis fósseis. No entanto, o peso que os derivados de petróleo, importados na sua totalidade, representam na matriz energética do país deixa Cabo Verde numa situação de vulnerabilidade face às contingências do mercado internacional. Além disso, a insularidade do território resulta que cada uma das ilhas habitadas constitui um sistema energético isolado, com características próprias de oferta e procura de energia (Conselho de Ministros, 2021), o que torna ainda mais desafiante a gestão do sistema como um todo, pondo em causa a sua própria resiliência.

O setor energético é tutelado pelo Ministério da Indústria, Comércio e Energia (MICE) e está sob a responsabilidade da Direção Nacional de Indústria, Comércio e Energia (DNICE). O mercado energético tem sido regulado desde 2004, sendo a ARME (Agência Reguladora Multisectorial da Economia), instituída pelo Decreto-Lei n.º 50/2018, de 20 de setembro, a atual instituição responsável pela regulação do setor. A regulação é fundamental para defender os interesses do consumidor ao mesmo tempo que mantém o equilíbrio financeiro das empresas do setor. Para além do setor energético, compete à ARME regular os setores de transporte, água e comunicações. (ARME, 2025)

2.2.1 O sector elétrico

Um dos princípios fundamentais do setor elétrico de Cabo Verde é assegurar o fornecimento de energia elétrica seguro e fiável, garantindo assim aos consumidores o acesso a esse serviço por um preço razoável e justo.

Algumas das metas para o setor, definidas no Plano Diretor do Setor Elétrico 2018–2040, incluem alcançar mais de 50% de produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis até 2030 e reforçar a aposta na eficiência energética e na redução de perdas, como vetores estratégicos para diminuir os custos da energia. (Conselho de Ministros, 2019)

Cabo Verde tem feito grande progresso no sentido de garantir o acesso universal à energia elétrica. O Censo 2021 indicou que cerca de 90% dos agregados familiares do país têm acesso à eletricidade no alojamento. Ainda assim, o setor enfrenta grandes desafios devido à alta dependência da importação dos combustíveis fósseis e à alta percentagem de perdas totais de energia, que repercutem diretamente nas tarifas elétricas.

O crescimento económico de Cabo Verde, na sua maioria impulsionado pelo desenvolvimento tecnológico e pelo aumento da procura turística no país, tem resultado num aumento progressivo do consumo de energia elétrica no país. Em 2023, a produção de eletricidade a nível nacional atingiu o valor de 572,9 GWh, representando um aumento global de 5,6% em relação ao período homólogo de 2022 (542,8 GWh). Desses 572,9 GWh, 81,6% foi de origem térmica, 13,4% foi de origem eólica e 5,0% foi de origem solar. (ELECTRA S.A., 2023)

No mesmo ano, as perdas de eletricidade globais (técnicas e não técnicas) a nível nacional representaram 24,0% (115,8 GWh) da produção, sendo a ilha de Santiago a que apresentou maior taxa de perdas (33,4%). (ELECTRA S.A., 2023) A redução das perdas de energia consiste num desafio prioritário para o setor, uma vez que essas têm um impacto negativo na economia da concessionária e, conseqüentemente, nas tarifas de energia praticadas.

A ELECTRA, S.A. é a concessionária de serviços públicos de eletricidade e água, ao abrigo do contrato de concessão de maio de 2002, tendo como maior acionista o Estado de Cabo Verde, que detém 77,7% do seu capital social. Até maio de 2024, as atividades de carácter operacional da ELECTRA S.A. eram exercidas pelas suas filiais Electra Norte e Electra Sul, nas Ilhas de Barlavento e Sotavento, respetivamente, com exceção da ilha da Boavista onde opera a AEB (Águas e Energia de Boavista).

Em 2021 foi iniciado o processo de reestruturação e privatização da ELECTRA S.A., aprovado pelo Decreto-lei nº 52/2021 de 21 de julho. O objetivo da reestruturação do setor elétrico é melhorar o desempenho do setor, garantir a sustentabilidade e atrair investimento privado. Além disso, o Governo vê a reestruturação do sector elétrico como um meio de acelerar a transição energética do país, reforçar a transparência e a governança do sector e reduzir o custo do serviço, através da redução dos custos de produção e das perdas não técnicas. (Ministério da Indústria, Comércio e Energia, 2025)

A reestruturação do setor elétrico culminou na criação de três novas entidades:

- EPEC (Empresa de Produção de Eletricidade de Cabo Verde, S.A)
- EDEC (Empresa de Distribuição de Eletricidade de Cabo Verde, S.A)
- ONSEC (Operador Nacional de Sistema Elétrico de Cabo Verde, S.A)

As empresas AEB (Águas e Energia de Boavista) e APP (Águas de Ponta Preta) continuam a operar nas ilhas da Boavista e do Sal, respetivamente.

Na área das energias renováveis, os produtores independentes têm desempenhado um papel fundamental na produção de energia limpa e na penetração de energias renováveis na rede. A Cabeólica, empresa criada em 2009 através de uma parceria público-privada, é o maior produtor de energia de origem eólica. Atualmente possui uma capacidade instalada de 25,5 MW e encontra-se em processo de expansão do parque eólico de Santiago com a adição de 13 MW. (Cabeólica, 2025)

A produção de eletricidade que até maio de 2024 era gerida pela Electra inclui a energia adquirida dos produtores independentes e em 2023 atingiu o valor de 482,6 GWh, em que 90,75% foi distribuída à rede e 1,95% foi consumida no processo de produção de energia. Os processos de dessalinização de água consumiram 6,9% da energia produzida e a bombagem de água consumiu 0,9%. (ELECTRA S.A., 2023)

2.2.2 O setor dos combustíveis

O setor dos combustíveis em Cabo Verde apresenta boa estabilidade, garantindo o fornecimento de um serviço seguro e eficiente por parte das empresas operadoras do setor. O mercado é considerado um duopólio constituído pelas empresas ENACOL, Empresa Nacional de Combustíveis, SA., criada em 1979, e a VIVO Energy, que adquiriu em 2011 a antiga Shell Cabo Verde. Ambas as empresas “têm por atividade económica a importação, a reexportação e o comércio interno do petróleo bruto e dos produtos sólidos, líquidos e gasosos derivados do seu tratamento, bem como o seu tratamento industrial, armazenagem, transporte e distribuição”. (ARME, 2025)

Os combustíveis comercializados em Cabo Verde são essencialmente o gasóleo, a gasolina, o gás butano, o fuel óleo, o petróleo e o jet A1. No ano de 2023 foram comercializados, em Cabo Verde, 418 268 TM (toneladas métricas) de derivados de petróleo, incluindo betumes, lubrificantes e outros. (ENACOL, 2023)

Em 2023, o fuelóleo ocupou a posição do produto com maior volume transacionado no mercado cabo-verdiano (164 582 TM), refletindo o peso do seu uso na marinha e na produção de água e eletricidade. O Relatório e contas da ELECTRA S.A. 2023 indicou um consumo de 11 322 955 L de Fuel óleo 180 e de 64 423 648 L de Fuel óleo 380.

A localização geográfica do país permite-lhe prestar um serviço de *Bunkering* para a Marinha Internacional, sendo as operações realizadas essencialmente a partir do Porto Grande, na ilha de São Vicente. No ano de 2023, a Marinha representou uma transação de 133 636 TM de combustível. (ENACOL, 2023)

O Gasóleo apresentou-se como o segundo produto mais comercializado (124 005 TM), seguido pelo Jet A1 que ocupa a terceira posição (99 411 TM), evidenciando o peso da aviação no consumo de combustíveis. A Gasolina seguiu no ranking com um volume transacionado de 14 762 TM.

Atualmente, o gás butano é a principal fonte de energia para a confecção de alimentos em Cabo Verde, sendo comercializado em garrafas de 3, 6, 12,5 e 55 kg para o consumo doméstico e em reservatórios de 1000 kg para uso industrial. Em 2023, o gás butano teve um volume de vendas de 13 056 TM. (ENACOL, 2023)

O Censo 2021 concluiu que o gás butano constitui a fonte de energia para cozinhar de 78,5% dos agregados familiares de Cabo Verde, estando a maior parcela localizada no meio urbano, 88,6%.

A lenha ainda é muito utilizada como fonte de energia para cozinhar, correspondendo a 17,2% do total, sendo especialmente predominante no meio rural, onde alcança 51,1%.

O petróleo, que já foi muito utilizado no setor residencial para fins de iluminação e outros, tem apresentado uma tendência de cair em desuso. Segundo ENACOL (2023), em 2023 foram transacionados apenas 137 TM de petróleo.

2.3 Instrumentos legais para a eficiência energética em Cabo Verde

O Programa Nacional para a Sustentabilidade Energética (PNSE) para o período 2021-2026 reafirma o objetivo de fazer a transição para um setor energético, seguro, eficiente e sustentável, sem dependência de combustíveis fósseis, garantindo o acesso universal e a segurança energética no país. (Governo de Cabo Verde, 2021)

A Eficiência Energética constitui um eixo estratégico para o setor energético de Cabo Verde, sendo há muito destacada nas diretrizes nacionais como um vetor-chave para impulsionar a transição energética no país. O Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNEE) para o período 2015-2020/2030, desenhou uma estratégia para a eficiência energética, tendo 5 eixos prioritários de Intervenção (Governo de Cabo Verde, 2015):

- Promoção da Eficiência Energética dos Equipamentos e Eletrodomésticos;
- Promoção da Eficiência Energética dos Edifícios;
- Promoção da Eficiência Energética dos Consumidores Intensivos;
- Promoção da Eficiência na Distribuição de Eletricidade;
- Promoção da Eficiência na Cocção.

Todos esses eixos de intervenção acima listados têm um papel crucial no desempenho energético dos edifícios, sendo que este, independentemente de ser no setor residencial ou industrial, está intrinsecamente ligado à eficiência de seus diferentes equipamentos, sistemas e processos, bem como ao desempenho térmico de seus elementos construtivos. Por outro lado, uma distribuição eficiente da eletricidade garante que o edifício recebe uma energia de melhor qualidade e reduz as perdas na distribuição.

O PNEE destaca a importância da Eficiência Energética dos Edifícios na redução dos consumos energéticos do país, reconhecendo a necessidade de criar requisitos mínimos e normas de consumo, de igual modo realça que “a qualidade da construção, a escolha dos materiais e as opções arquitetónicas influenciam enormemente o padrão de consumo de energia durante o ciclo de vida do edifício.” (Governo de Cabo Verde, 2015)

No âmbito do PNSE, foram aprovados importantes instrumentos legais de apoio à implementação da estratégia definida para impulsionar o aumento da eficiência energética no país (Ministério da Indústria, Comércio e Energia, 2025). Alguns dos instrumentos mais importantes são:

- Sistema Nacional de Etiquetagem e Requisitos dos Equipamentos Elétricos - SNEREE;
- Código de Eficiência Energética em Edifícios - CEEE;
- Regime dos Consumidores Intensivos de Energia – RCIE;
- Empresas de Serviços Energéticos - ESE.

Tendo em conta o objetivo desse estudo, importa-se destacar o Código de Eficiência Energética em Edifícios – CEEE.

2.3.1 Código de Eficiência Energética em Edifícios – CEEE

O CEEE foi aprovado pela Portaria conjunta nº 24/2020 de 3 de junho, tendo sido o seu primeiro rascunho, conhecido como CEEE 2017, publicado em 2017.

O CEEE foi elaborado com o objetivo de integrar requisitos de eficiência energética nos edifícios em Cabo Verde, contribuindo para a redução dos gases de efeito estufa (GEE) e também para o cumprimento das condições de salubridade dos edifícios. O código veio colmatar lacunas deixadas pelo Código Técnico da Edificação, que, embora prevê requisitos a ter em conta na conceção do edifício, como economia de energia, isolamento térmico, conforto visual, materiais e qualidade do ar interior, não especifica os requisitos a ter em conta em cada um. (Código de Eficiência Energética nos Edifícios, 2020)

Em geral, o código visa fornecer requisitos mínimos para a construção de edifícios energeticamente eficientes e abrange o *design* bioclimático dos edifícios, a envolvente do edifício, o sistema de ar condicionado e o sistema de iluminação interior e aplica-se a todos os edifícios de comércio e serviço, novos ou alvos de grandes reabilitações, nomeadamente:

- Edifícios que fornecem serviços de alojamento mediante remunerações (hotel, resort, residencial, pensão e similares);
- Edifícios de atividades profissionais (administrativos, jurídicos, etc) e prestação de serviços;
- Todos os edifícios de cariz educativa;
- Edifícios utilizados para prestação de cuidados de saúde;
- Edifícios utilizados para atividades comerciais;

- Edifícios multiusos onde se reúnem um grande número de pessoas (teatro, cinema, aeroporto, edifícios religiosos, etc);

2.3.1.1 Principais orientações do CEEE

- a. Orientação do edifício** – Com a finalidade de definir a orientação ideal dos edifícios, foi feita uma simulação utilizando a ferramenta Green Building Studio ®. A simulação foi baseada na análise da radiação solar para cada direção cardinal e concluiu que o melhor cenário para Cabo Verde é que as fachadas mais longas do edifício sejam orientadas a Norte e a Sul e as fachadas mais curtas a Este e a Oeste. E que seja feito o uso de proteções solares na fachada sul, para reduzir a incidência da radiação solar.
- b. Sombreamento** – Recomenda que haja os dispositivos de sombreamento nas fachadas Sul, Leste e Oeste, durante todo o ano, e que o rácio janela-parede seja de 30% a 40%.
- c. Ventilação** – Recomenda que os edifícios abrangidos pelo CEEE sigam as normas e especificações para a qualidade do ar fresco e do ar interior de acordo com a norma ASHRAE 62.1.

d. Envolvente do edifício

Paredes – baseado em simulações feitas, o CEEE recomenda um valor ótimo de coeficiente de transmissão térmica (U) de $3,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{C})$, para paredes de edifícios de ocupação diurna e noturna.

Coberturas - baseado em simulações feitas, o CEEE recomenda um valor ótimo de coeficiente de transmissão térmica (U) de $1,70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{C})$, para coberturas planas de edifícios de ocupação diurna e noturna.

Envidraçados – com base em simulações feitas, o CEEE apresenta um valor ótimo de coeficiente de transmissão térmica (U) de $7,72 \text{ W}/(\text{m}^2\text{C})$ e um coeficiente de ganhos de aquecimento solar (SHGC) de 0,6.

- e. Sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC)** – Tendo em conta simulações feitas e o mercado cabo-verdiano, o CEEE recomenda o uso de sistemas de ar condicionado *Split* com tecnologia *inverter* ou eficiente, ou para maior redução de consumo, o uso de sistemas de ar condicionado centralizados. O código estabelece que os sistemas de ar condicionado unitários devem ter no mínimo a classe de eficiência energética “A” correspondendo ao rácio sazonal de eficiência energética (SEER) $5,10 \leq \text{SEER} < 5,60$.
- f. Sistema de iluminação** – recomenda que durante a fase de projeto devem ser considerados o aproveitamento da luz natural em pelo menos 70% do edifício e a

definição dos níveis de iluminância tendo em conta o tipo de espaço e as atividades desenvolvidas, conforme a norma EN12464-1:2002 Parte 1¹;

Recomenda o uso de lâmpadas com uma eficiência energética mínima de classe “B”, preferencialmente LED, de acordo com o Índice de Eficiência Energética (IEE):

- Lâmpadas não direcionais: $0,24 < IEE \leq 0,60 \rightarrow$ classe B;
- Lâmpadas direcionais: $0,40 < IEE \leq 0,95 \rightarrow$ classe B.

2.4 Caraterização geral dos edifícios em Cabo Verde

Os principais documentos legais relativos à construção eficiente em Cabo Verde são o Código Técnico da Edificação (CTE) e o Código de Eficiência Energética em Edifícios. O CTE estabelece as regras gerais e especificações a serem obedecidas no projeto, construção, uso e manutenção de edificações em Cabo Verde, visando “estabelecer padrões de qualidade dos espaços edificados que satisfaçam as condições mínimas de segurança, conforto, higiene e saúde dos usuários e demais cidadãos, por meio da determinação de parâmetros técnicos”. (Portaria conjunta nº 4/2011, Série — nº 2, 2012)

No entanto, tal como referido anteriormente, o CTE não estabelece requisitos mínimos para os parâmetros técnicos, facto que foi colmatado pelo CEEE.

O Código de Eficiência Energética em Edifícios, nos seus estudos prévios, caraterizou a construção em Cabo Verde do seguinte modo:

Paredes – paredes simples compostas por 200 mm de betão com 15 mm de reboco interior e exterior e coeficiente de transmissão térmica típica (U_{base}) igual a 3,48 W/m²°C.

Coberturas – 200 mm de betão, 25 mm de betonilha e 5 mm de material impermeabilizante, do interior para o exterior, coeficiente de transmissão térmica típica (U_{base}) igual a 2,84 W/m²°C.

Envidraçados – vidro simples incolor com 6 mm de espessura e coeficiente de transmissão térmica típica (U_{base}) igual a 7,72 W/m²°C.

¹ A versão mais recente da norma é a EN 12464-1:2021, *Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places*.

CAPÍTULO 3: MODELAÇÃO E SIMULAÇÃO ENERGÉTICA

3.1 Enquadramento

Segundo o DOE (Departamento de Energia dos EUA, do inglês “*United States Department of Energy*”), a Modelação Energética de Edifícios (em inglês, *Building Energy Modeling* - BEM) refere-se a uma simulação computacional baseada em física do uso de energia em edifícios. Isto é, o programa utiliza dados reais do edifício e dados climáticos da região, e através de equações físicas analisa e prevê os seus consumos energéticos. Esses dados incluem a geometria e os materiais de construção, as configurações dos sistemas de iluminação, AVAC, refrigeração, água quente sanitária e fontes e geração local de energia. Para além disso, recebe todas as informações referentes a cargas e cronogramas de ocupação, iluminação e uso de equipamentos. (US Department of Energy, 2025)

A Modelação Energética de Edifícios (BEM) resulta em informações detalhadas sobre o consumo de energia no edifício que permitem determinar o desempenho energético de edifícios, servindo de apoio a arquitetos, engenheiros e investigadores desde a fase de conceção do edifício. Entre as aplicações da Modelação Energética de Edifícios encontram-se a auditoria energética, a otimização das operações dos edifícios e a certificação de edifícios sustentáveis. (US Department of Energy, 2025)

A necessidade de reduzir o consumo energético no setor dos edifícios tem dado grande ênfase às tecnologias BEM, que, quando aplicadas nas fases de conceção do projeto, potencializam ainda mais a construção de um edifício energeticamente sustentável. Um estudo realizado por Ciccozzi, Santavicca, de Rubeis, & Ambrosini (2025) enfatiza que a integração das tecnologias BIM (*Building Information Modeling*) e BEM têm atraído a atenção de vários investigadores, que apontam a redução de tempo de modelação e de erro humano, o aumento da qualidade do projeto (Miettinen & Paavola, 2014) e possibilidade de projetistas analisarem diversas alternativas para otimizar a eficiência energética dos edifícios (Gao, Koch, & Wu, 2019) como benefícios dessa integração.

No entanto, o estudo de interoperabilidade da integração BIM – BEM realizado por Ciccozzi, Santavicca, de Rubeis, & Ambrosini (2025) mostrou algumas limitações nessa integração. A abordagem de criar o modelo energético diretamente na ferramenta BIM Autodesk Revit através da BEM Insight 360 não foi bem-sucedida devido às poucas opções de customização dos parâmetros energéticos no Insight 360. Por outro lado, a importação do modelo 3D do edifício do Revit para ser modelado no DesignBuilder resultou em erros de geometrias como leitura incorreta de espaços, espaços em falta e criação de espaços vazios.

A Modelação Energética de Edifícios pode ser utilizada tanto para verificar a conformidade com códigos de eficiência energética para edifícios, por exemplo, as normas ASHRAE 90.1, 90.2, 90.4P, 189.1, 55 e 62.1, quanto em sistemas de classificação ambiental e energética de edifícios como é o caso do LEED-NC (Leadership in Energy Efficient Design-New Construction), promovido pela organização US Green Building Council, e do Building Energy Quotient-bEQ

(Quociente de energia em edifício) promovido pela ASHRAE. (Barbour, Zogg, Cross, & Clark, 2016)

A BEM também pode ser aplicada na formulação de diretrizes de eficiência energética. Um exemplo claro disso é o CEEE de Cabo Verde que teve como base os programas de modelação energética de edifícios, eQuest e Green Building Studio.

3.2 O EnergyPlus

Os programas de simulação são os motores de funcionamento das ferramentas de modelação energética. As primeiras referências de ferramentas de modelação energética de edifícios são do início da década de 1970, sendo o Departamento de Energia dos EUA (DOE) um dos nomes relacionados. Nomeadamente, o CAL-ERDA, o DOE-1 e o DOE-2 foram das primeiras ferramentas de simulação desenvolvidas com a participação do Departamento de Energia. Em 1977 foi lançada a primeira versão do BLAST (*Building Loads and System Thermodynamics*), um programa de simulação desenvolvido pelo CERL (*U.S. Army Construction Engineering Research Laboratory* - Laboratório de Investigação em Engenharia de Construção do Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA). Em 1996, o DOE decidiu criar um novo mecanismo de simulação energética de edifícios que incorporaria aspetos do DOE-2 e do BLAST. Cinco anos depois, em abril de 2001, o **EnergyPlus** foi oficialmente lançado. (U.S. Department of Energy, 2021)

O EnergyPlus é um programa de análise energética e simulação de carga térmica que se baseia em dados fornecidos pelo usuário, como a geometria, os materiais de construção, o uso e os sistemas de um edifício, para efetuar o cálculo das cargas térmicas, do consumo de energia e de outros detalhes da simulação.

De acordo com o próprio manual de engenharia "*Engineering Reference*", "O programa EnergyPlus é uma coleção de vários módulos de programa que trabalham em conjunto para calcular a energia necessária para aquecer e arrefecer um edifício utilizando uma variedade de sistemas e fontes de energia." (U.S. Department of Energy, 2022)

Este cálculo é feito simulando o edifício e os sistemas de energia associados quando expostos a diferentes condições ambientais e operacionais, através de um núcleo da simulação baseado em princípios fundamentais de balanço térmico. (U.S. Department of Energy, 2022)

3.2.1 EnergyPlus e ferramentas de modelação energética

O EnergyPlus tem um papel fundamental no estado da arte de modelação energética, sendo que é usado como motor de simulação de várias ferramentas e serviços de modelação energética. Em 2012 tornou-se um *software open source*, o que contribuiu para a sua expansão. Segue listadas alguns exemplos de programas ou serviços que utilizam o EnergyPlus:

- DesignBuilder
- Sefaira Architecture, Systems
- AECO, Sim

- TRACE 3D Plus
- OpenStudioSDK
- Simergy

De acordo com o DOE, o DesignBuilder foi uma das primeiras ferramentas a utilizar o EnergyPlus e é a mais comum entre arquitetos nos Estados Unidos.

Também existem no mercado diversas outras ferramentas que possuem motores de simulação próprios, como por exemplo:

- HAP (Hourly Analysis Program) – Carrier Corporation (EUA)
- TRNSYS – Univ. Wisconsin + TESS (EUA)
- IDA ICE – EQUA Simulation (Suécia)
- eQUEST – baseado no DOE-2.

A seleção de uma ferramenta de simulação deve levar em conta as suas funcionalidades e a finalidade da simulação. Por exemplo, se pretende analisar a ventilação natural em um edifício, deve-se selecionar uma ferramenta que possui esta capacidade. É importante realçar que ferramentas de simulação distintas podem gerar resultados com ligeiras diferenças. Um estudo realizado por Gonzalo, Santamaría, & Burgos (2023) analisa o desempenho de diversos programas de simulação, incluindo o IDA ICE e o DesignBuilder, na previsão de consumos de aquecimento e arrefecimento de um mesmo escritório em Boston e em Madrid. A análise resultou em um erro percentual médio inferior a 6% nos consumos anuais de todas as ferramentas, enquanto para os consumos mensais o erro variou entre 12% e 20% em Madrid e entre 10% e 14% em Boston. Gonzalo, Santamaría, & Burgos (2023) acusam diferenças nos ficheiros meteorológicos e nos modelos matemáticos utilizados por cada ferramenta de simulação como principais causas dos desvios.

Por outro lado, dependendo da aplicação da simulação, é necessário garantir a seleção de uma ferramenta acreditada pela norma ANSI/ASHRAE 140. A norma por si só é de cumprimento voluntário, a não ser que o seu cumprimento se torne obrigatório por legislação.

3.3 Norma ANSI/ASHRAE 140

ANSI/ASHRAE Standard 140 - *Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs*, especifica os procedimentos de testes para avaliar as principais capacidades técnicas e os âmbitos de aplicabilidade dos softwares que simulam o desempenho dos edifícios e dos seus sistemas.

A norma inclui 176 casos de teste (*test cases*) que examinam diferentes algoritmos de um programa de simulação de desempenho de um edifício, cada um testando uma função ou característica específica. Os testes estão organizados em diferentes conjuntos de testes (*test suites*) com o mesmo âmbito de teste, que por sua vez estão divididos em classes, Classe I e Classe II. A Classe I possui 132 casos de teste agrupados em seis *test suites* e refere-se a testes diagnósticos detalhados para verificar a física básica e a funcionalidade de um programa de

simulação. A Classe II possui 41 casos de teste focados em programas de simulação destinados à modelação de edifícios residenciais unifamiliares. (Wang, et al., 2025)

“Um caso de teste na norma descreve um modelo de simulação de energia do edifício, incluindo a geometria do edifício, zonas térmicas, envolvente, equipamentos e sistemas de climatização (AVAC), controlos e dados meteorológicos.” (Wang, et al., 2025)

A Norma ANSI/ASHRAE 140 utiliza métodos de testes analíticos e comparativos para a avaliação de um programa, sendo que os testes analíticos comparam os resultados da simulação com soluções matemáticas para casos de teste aplicáveis, com um conjunto específico de parâmetros e pressupostos simplificados, enquanto testes comparativos comparam os resultados de diferentes programas de simulação entre si, para avaliar o grau de discordância entre eles. (Wang et al., 2025)

3.4 DesignBuilder

O DesignBuilder é uma ferramenta multifuncional de modelação e simulação energética que permite a arquitetos, engenheiros e auditores energéticos realizar análises profundas de edifícios de diferentes portes, desde as fases iniciais de conceção, de forma simples e em conformidade com as normas e regulamentos aplicáveis. O DesignBuilder integra um módulo central de modelação 3D e mais 11 módulos que interagem entre si, para permitir uma análise mais detalhada do edifício. (DesignBuilder, 2025)

Os 11 módulos do DesignBuilder são:

- Visualização
- Análise da iluminação natural
- Simulação
- Certificação
- AVAC
- Custo e Carbono
- ASHRAE 90.1 e LEED
- Otimização
- Criação de scripts
- CFD (*Computational Fluid Dynamics* – cálculo de mecânica de fluidos computacional)
- Certificação

Como mencionado anteriormente, o DesignBuilder utiliza o motor de simulação EnergyPlus, o que lhe permite gerar resultados que podem ser exportados como imagens, vídeos ou relatórios. O DesignBuilder também permite importar desenhos 2D ou 3D das ferramentas CAD (*Computer Aided Design*) e BIM (*Building Information Modelling*).

Normalmente, a criação de um novo modelo de edifício no DesignBuilder segue a hierarquia representada na Figura 1.



Figura 1: Hierarquia de funcionamento do DesignBuilder

Em cada etapa da hierarquia anterior são introduzidos diferentes dados do modelo “*Model data*”. Ao nível do sítio, são definidos os dados da localização, que incluem os dados climáticos, e os dados da região legislativa, que dizem respeito à legislação local a nível de energia e de edifícios e aos fatores de emissão de combustíveis fósseis. A criação do edifício começa pela seleção do modelo adequado, de acordo com o objetivo da modelação, podendo ser:

- Default → Padrão
- Architect early stage design → Projeto preliminar de arquitetura
- Detailed design with HVAC → Projeto detalhado com HVAC
- Parametric building + standard data → Edificação paramétrica + dados padrões
- Calculated natural ventilation → Ventilação natural calculada
- ASHRAE 90.1

O DesignBuilder utiliza um mecanismo de blocos “*blocks*” para criar um edifício 3D. Um edifício pode ser composto por um ou mais blocos que, por sua vez, podem ser divididos em várias zonas correspondentes aos compartimentos internos do bloco.

Na Figura 2, está exemplificado um bloco de um edifício dividido em diferentes zonas.



Figura 2: Exemplificação de um Bloco e diversas Zonas no DesignBuilder

Os dados do modelo relativos à atividade, construção, abertura, iluminação, AVAC podem ser definidos a nível do edifício, do bloco ou da zona, respeitando a hierarquia de modelação. Isto é, um dado definido a nível do edifício é mantido a nível do bloco e da zona, no entanto, pode-se alterar dados de superfícies, zonas e blocos de forma individual, sem que afetem os níveis superiores. Na parte superior da Figura 2 podem ser observados os espaços para introdução desses dados.

Superfícies referem-se às paredes, coberturas e ao pavimento, enquanto aberturas referem-se a portas, janelas, buracos e grelhas de ventilação.

3.5 Simulação Energética de um edifício

Com base nas funcionalidades de um programa de simulação, apresentadas nas seções anteriores, a simulação energética de um edifício pode ser definida como o uso de ferramentas computacionais para prever os consumos energéticos associados ao funcionamento e aos sistemas técnicos de um edifício ao longo de um determinado intervalo de tempo, considerando os dados climáticos do local onde está inserido.

Para além de determinar os consumos energéticos, a simulação energética também pode ter a finalidade de dimensionar o sistema de climatização. Enquanto os consumos associados aos sistemas de iluminação e equipamentos dependem essencialmente da potência instalada e do perfil de utilização, o consumo dos sistemas de climatização possui muitas outras variáveis associadas.

Um sistema de climatização tem o propósito de manter o conforto no interior de um edifício. Isto significa que dependendo da temperatura exterior será necessário adicionar ou remover calor ou ainda humidificar ou desumidificar o ar para manter uma temperatura e uma humidade relativa confortáveis no ambiente, por isso, é importante quantificar bem as cargas térmicas no edifício.

A carga térmica em um espaço não depende apenas da temperatura exterior e da temperatura interior desejada, pelo contrário, está dependente de muitas variáveis ao mesmo tempo. Depende do tipo de construção e dos materiais utilizados, da área do espaço, do tipo e da área das janelas e até mesmo se há ou não sombreamentos externos. Por outro lado, está associada também à ocupação, aos equipamentos e às atividades desenvolvidas no interior do espaço.

ASHRAE (2001) apresenta e caracteriza as diferentes fontes de ganho de calor de um edifício:

- Radiação solar através de superfícies transparentes (janelas, portas de vidro, claraboias);
- Condução de calor através de paredes exteriores e telhados/cobertura;
- Condução de calor através das superfícies interiores (paredes, tetos e pavimentos)
- Calor gerado no ambiente pelos ocupantes, iluminação, eletrodomésticos, equipamentos e processos;
- Cargas térmicas resultantes da ventilação e infiltração de ar exterior;
- Outros ganhos de calor diversos.

O ganho de calor divide-se em duas categorias:

- Calor latente – calor adicionado quando a humidade entra no espaço através de fontes internas (vapor emitido pelos ocupantes e equipamentos) ou externas (ventilação e infiltrações)
- Calor sensível – calor adicionado diretamente ao espaço por condução, convecção e/ou radiação.

Do ganho de calor sensível apenas a fração ganha por convecção que é convertida imediatamente em carga térmica. Grande parte do ganho de calor por radiação é primeiro absorvida pelas superfícies internas para só depois ser convertida em carga térmica. (ASHRAE, 2001)

A carga térmica total é o somatório das frações latente e sensível e pode ser classificada em carga térmica interna (proveniente de fontes internas) e carga térmica externa (proveniente de fontes externas) (Obuka, Onyechi, & Okoli, 2015) . A Figura 3 ilustra as fontes de carga térmica em um espaço.

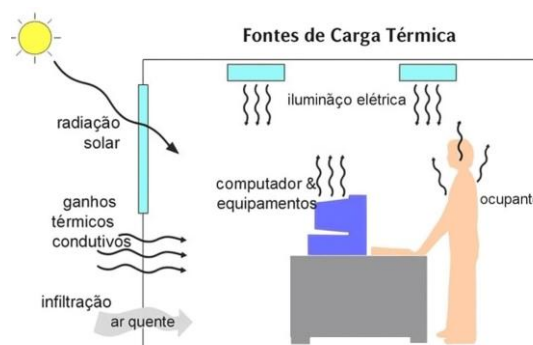


Figura 3: Diferentes fontes de cargas térmicas em um edifício

Fonte: Adaptado de (Obuka, Onyechi, & Okoli, 2015)

As cargas térmicas de aquecimento normalmente são calculadas considerando condições estacionárias (*steady state conditions*), isto é, assume-se que as condições exteriores são constantes e ignora-se a existência de cargas térmicas internas, o que conduz a um sobredimensionamento do sistema de aquecimento. Por outro lado, o cálculo das cargas térmicas de arrefecimento deve considerar as variações das condições exteriores e as cargas térmicas internas, o que torna o cálculo muito mais complicado. (Obuka, Onyechi, & Okoli, 2015)

Sengar & Sharma (2019) sublinham que estimar o ganho de calor e a carga de resfriamento de um edifício é uma das etapas mais importantes para um melhor projeto em zonas climáticas quentes e secas, auxiliando na escolha de medidas que podem melhorar o conforto térmico e otimizar o uso de energia.

A ASHRAE desenvolveu e aperfeiçoou vários métodos para estimar as cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento em edifícios. Esses métodos normalmente são apresentados nas diferentes edições do *ASHRAE Handbook — Fundamentals*, e variam em precisão e tipo de

aplicação. ASHRAE (2001) apresenta dois novos métodos para calcular as cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento em edifícios não residenciais, são esses:

- Heat Balance Method (HBM) – Método de Balanço Térmico
- Radiant Time Series Method (RTSM) – Método da Série Temporal de Radiação (RTSM)

Para além desses, menciona alguns métodos mais antigos que eram mais simplificados devido às limitações computacionais da época em que foram desenvolvidos.

- Transfer Function Method (TFM) — Método da Função de Transferência
- Cooling Load Temperature Difference /Cooling Load Factor (CLTD/CLF) – Diferencial de temperatura da carga de arrefecimento/Fatores de carga de arrefecimento
- Total Equivalent Temperature Difference /Time Average (TETD/TA) – Diferencial de Temperatura Equivalente Total/Média Temporal

A ASHRAE também desenvolveu um método para o setor residencial conhecido por:

- Residential Load Factor (RLF) – Fator de Carga Residencial

Sengar & Sharma (2019) realizaram um estudo comparativo da aplicação de diferentes métodos, incluindo CLTD/CLF e RLF, no cálculo das cargas térmicas de um edifício em zonas climáticas quentes e secas, destacando as principais diferenças entre eles. Nas conclusões, realçam que o método RLF não fornece resultados de ganho de calor em função da orientação das paredes e janelas.

CAPÍTULO 4: APRESENTAÇÃO E MODELAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

4.1 Caracterização do edifício

O edifício objeto deste estudo trata-se de um edifício habitacional multifamiliar, ainda em fase de projeto, a ser localizado na cidade do Mindelo, ilha de São Vicente, Cabo Verde. A construção será implantada num terreno de formato irregular com uma área total de 540,07 m². O edifício está orientado a oeste, tendo acesso através da rua existente, e possui lotes vizinhos nas fachadas Norte, Sul e Este.

A localização geográfica prevista para o edifício está representada na Figura 4.



Figura 4: Localização geográfica do edifício – 16,90°N 24,99°W ~ 40 m

Fonte: Google Earth, 2025

Trata-se de um edifício de quatro (4) pisos e meio, com uma cave que funciona como estacionamento e cobertura com área de lazer. O edifício segue a seguinte distribuição:

Piso -1 – Cave: está reservado ao estacionamento incluindo elevador e caixa de escada de acesso aos pisos superiores, lavabo e reservatório de água.

Piso 0 – Rés do chão – Inclui dois apartamentos T1 e um apartamento T0, hall de receção, Sauna e Spa, espaço comercial, escritório e um armazém.

Piso 01 – Inclui três apartamentos T2, área de circulação, elevador e caixa de escada.

Piso 02 – Inclui três apartamentos T2, área de circulação, elevador e caixa de escada.

Piso 03 – Inclui três apartamentos T2, área de circulação, elevador e caixa de escada.

Meio-piso – Inclui um apartamento T3, área de circulação, elevador e caixa de escada e uma área de lazer com piscina.

Cobertura – Inclui um ginásio, instalações sanitárias, área de circulação, elevador e caixa de escada e uma área de lazer com piscina.

4.2 Modelação do edifício no DesignBuilder

4.2.1 Dados climáticos

Para a simulação foram necessários dados climáticos do local numa base horária e no formato TMY (*typical meteorological year*). No entanto, como EnergyPlus não possui nenhuma base de dados de Cabo Verde, esses dados climáticos para a ilha de São Vicente foram obtidos a partir de um ficheiro *EPW* extraído do repositório de dados climáticos para simulação de edifícios, ClimateOneBuilding.Org.

A classificação da zona climática ASHRAE selecionada para o clima de Cabo Verde foi 1 B (muito quente e seco), por ser a mais adequada às condições climáticas locais.

4.2.2 Modelação 3D e definição da envolvente do edifício

A modelação 3D do edifício teve como base os dados em planta e a caracterização genérica dos edifícios em Cabo Verde, providenciada pelo CEEE. Segundo o CEEE, as paredes dos edifícios em Cabo Verde são normalmente paredes simples compostas por 200 mm de betão com 15 mm de reboco interior e exterior, enquanto as coberturas têm a constituição típica de 200 mm de betão, 25 mm de betonilha e 5 mm de material impermeabilizante, do interior para o exterior.

Foi considerado o pé-direito em planta, que corresponde a 3,06 m, exceto para a cobertura, onde o pé-direito é de 2,7 m.

Quanto aos envidraçados, foi escolhido um vidro simples genérico da base de dados do DesignBuilder com 6 mm de espessura, condutividade térmica 0,9 W/(m°C) e transmitância solar 0,68. Foi considerada caixilharia em alumínio sem corte térmico e proteção solar pelo interior, tipo *venetian blinds – médium*, com exceção do piso 0, onde foi considerado o mesmo tipo de proteção solar, mas neste caso pelo exterior.

O controlo dos dispositivos de proteção solar será feito de forma manual, por isso, considerou-se controlo do tipo solar, com *setpoint* solar de 300 W/m². O sombreamento local será proporcionado pelas varandas.

Em relação às zonas térmicas, na modelação do edifício cada apartamento foi considerado como um espaço único, isto é, não foram consideradas as divisórias internas nos apartamentos. Esta prática é facultativa porque geralmente nos edifícios de habitação as portas costumam ficar abertas, permitindo que haja troca de ar entre os cômodos. Por outro lado, é uma forma de simplificar e diminuir o tempo de simulação.

O resultado da modelação 3D do edifício pode ser visualizado na Figura 5. Os blocos em rosa são os “blocos componentes” utilizados para representar os edifícios adjacentes e o sombreamento local. Os blocos de cada piso podem ser vistos no Anexo A.

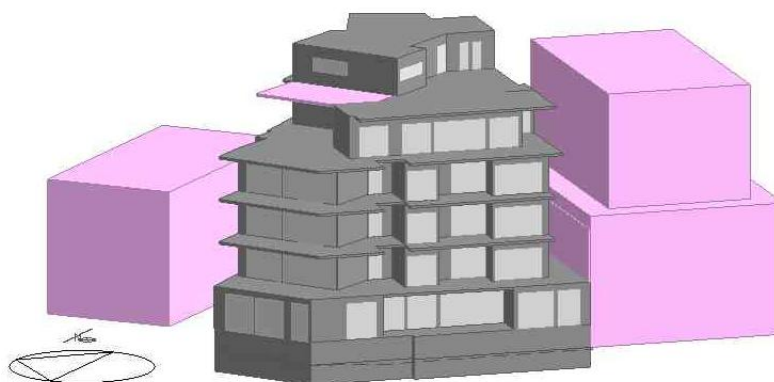


Figura 5: Imagem do edifício modelada no DesignBuilder (vista frontal)

Os critérios de seleção dos materiais de construção e composição de cada elemento da envolvente do edifício resultaram na criação de um edifício típico do território cabo-verdiano. Na Tabela 4-1, é feita a caracterização de cada elemento da envolvente do edifício e é também apresentado o respetivo coeficiente de transmissão térmica.

Tabela 4-1: Caracterização da envolvente do edifício

Envolvente	Construção		
	Caraterização	Espessura (mm)	U W/(m ² C)
Parede exterior	15 mm de reboco+200mm de betão+15 mm de reboco	230	1,75
Parede exterior revestida	15 mm de reboco+200mm de betão+15mm de argamassa+25mm pedra basáltica	255	1,69
Parede de compartimentação interior	15 mm de reboco+110mm de betão+15 mm de reboco	140	2,07
Parede de envolvente ter. interior	15 mm de reboco+180mm de betão+15 mm de reboco	210	2,07
Parede enterrada	200mm de betão +15 mm de reboco +5 mm de impermeabilizante	220	3,08
Cobertura plana	15 mm de reboco+140mm de betão+25mm de betonilha+5 mm de impermeabilizante	185	3,49
Pavimento interior	10 mm de reboco +150mm de betão +10 mm de argamassa +10 mm piso de cerâmica	180	2,09
Pavimento exterior	15 mm de reboco+140mm de betão+25mm de betonilha+5 mm de impermeabilizante	185	2,93
Pavimento térreo	150 mm de betão+100 mm betão medio	250	2,35
Pavimento envolvente ter. interior	1 mm de reboco +180mm de betão +1 mm de argamassa +1 mm piso de cerâmica	210	2,09
Portas opacas	25 mm alumínio	25	5,88
Envidraçados	Simplex, claro, SHGC 0,72	6	3,78

Como pode ser observado na tabela, as paredes externas do edifício possuem um U de 1,75 W/(m²C) no caso das paredes simples e 1,69 W/(m²C) no caso das paredes simples revestidas. Estes valores são consideravelmente inferiores aos valores apresentados pelo CEEE como valor de U base 3,48 W/(m²C) e valor de U ótimo 3,13 W/(m²C), correspondendo a 50,3% e 56%, respetivamente, no caso das paredes simples e 48,6% e 53,9%, respetivamente, no caso das paredes simples revestidas.

Em relação à cobertura, foi obtido um valor de U de 3,49 W/(m²C). Comparando com os valores de U de referência definidos pelo CEEE (valor base de 2,84 W/(m²C) e valor ótimo de 1,70 W/(m²C)), o valor obtido corresponde a 122,8% do valor base e 205,3% do valor ótimo. Neste

caso deve-se ter em conta que o valor da espessura da cobertura do edifício em estudo é menor do que o considerado nas simulações do CEEE. A título de comparação, foi calculado o valor de U para uma espessura da cobertura de 23 cm que resultou em U igual a 3,07 W/(m²C). Isto significa que pode ser necessária a utilização de isolamento térmico na cobertura para atingir o valor de U ótimo recomendado pelo código.

Ao que diz respeito aos envidraçados, o SHGC igual a 0,72 trata-se de um valor aceitável considerando que intermedia entre os valores base (0,9) e ótimo (0,6) considerados pelo CEEE. Quanto ao coeficiente de transmissão térmica (U), foi calculado um valor de 3,78 W/(m²C) para os envidraçados, o que resultou em uma melhoria face aos valores apresentados pelo CEEE, 7,72 W/(m²C), para ambos os cenários base e ótimo. No entanto, estes valores podem ser melhorados através da utilização de vidros duplos.

4.2.3 Atividade e cargas térmicas internas do edifício

4.2.3.1 Cargas térmicas internas do edifício

A descrição da atividade é fundamental para o cálculo das cargas internas do espaço, que podem ser provenientes da ocupação, da iluminação e dos equipamentos presentes.

Para a determinação da carga térmica associada aos equipamentos foram adotados valores de potência típicos para aparelhos de escritório, de cozinha e computadores, conforme mostra a Tabela 4-2.

Tabela 4-2: Potência de equipamentos por espaço

Equipamentos	Potência por espaço (W)				
	Apartamentos	Escritório	E comercial	Ginásio	Spa
Computadores	200	300	300	120	–
Escritório	–	600	600	200	–
Cozinha	4000	–	–	–	–
Diversos	6000	600	3500	6000	1000

A estimativa do número de ocupantes baseou-se na tipologia de cada espaço, considerando como “não ocupados” aqueles que não estão permanentemente ocupados.

A definição da densidade de iluminação teve como base os requisitos estabelecidos pela Portaria 138-I/2021, da normativa portuguesa, que estabelece limites máximos de densidade de potência instalada por espaço por 100 lux (DPI_{100lux}max).

A iluminância média requerida (*Ē_{m req}*) em cada zona térmica teve como base a Norma EN 12464. No caso dos apartamentos, sendo que a Norma EN 12464 não se aplica, foi considerado um valor médio a partir de valores recomendados por projetistas para os diferentes espaços e atividades de uma residência. A iluminação de trabalho não foi considerada.

A Tabela 4-3 apresenta os dados de ocupação e iluminação considerados para o cálculo das cargas internas do espaço, bem como a área modelada, que é resultante da modelação 3D do edifício.

Tabela 4-3: Área, ocupação e iluminação dos espaços

Espaço	Área modelada (m ²)	Ocupação	Iluminação		
			Em req (lux)	DPI _{100lux} max	Zona
Cave					
Elevador	2,81	-	100	-	SEU
Reservatório	37,58	-	-	-	SEU
Estacionamento	456,29	-	300	2,1	SEU
Piso 0					
Apartamento 1	47,35	2	200	2,1	Padrão
Apartamento 2	51,63	2	200	2,1	Padrão
Apartamento 3	45,57	2	200	2,1	Padrão
Armazém Gás	10,41	-	100	2,1	*SEU
Armazém	35,29	-	100	2,1	SEU
Circulação	77,18	2	100	2,3	Padrão
Espaço comercial	153,99	6	500	2,1	Padrão
Escritório	19,47	3	500	1,5	Padrão
Elevador	2,86	-	100	-	Padrão
Sauna	7	-	100	2,1	Padrão
Spa	22,59	2	300	2,1	Padrão
Piso 1					
Apartamento 4	178,92	4	200	2,1	Padrão
Apartamento 5	121,56	4	200	2,1	Padrão
Apartamento 6	91,89	4	200	2,1	Padrão
Circulação	24,77	-	100	2,3	Padrão
Elevador	2,9	-	100	-	Padrão
Piso 2					
Apartamento 7	178,92	4	200	2,1	Padrão
Apartamento 8	121,56	4	200	2,1	Padrão
Apartamento 9	91,89	4	200	2,1	Padrão
Circulação	24,74	-	100	2,3	Padrão
Elevador	2,92	-	100	-	Padrão
Piso 3					
Apartamento 10	179,28	4	200	2,1	Padrão
Apartamento 11	127,16	4	200	2,1	Padrão
Apartamento 12	91,89	4	200	2,1	Padrão
Circulação	24,77	-	100	2,3	Padrão
Elevador	2,9	-	100	-	Padrão
Meio piso					
Apartamento 13	243,39	6	200	2,1	Padrão
Circulação	21,84	-	100	2,3	Padrão
Elevador	2,76	-	100	-	Padrão
Cobertura					
Elevador	2,78	-	100	-	Padrão
Circulação	20,85	-	100	2,3	Padrão
Ginásio	72,44	10	300	2,3	Padrão
IS1	4,68	-	-	-	SEU
IS2	4,67	-	-	-	SEU

*SEU (Semi-external unconditioned) – espaço não condicionado, porém foi considerado nos cálculos térmicos

4.2.3.2 Controlo ambiente

Para controlo do ambiente foram definidos set-points correspondentes a temperatura do ar no interior de cada espaço, sendo:

- Temperatura de set-point de aquecimento: 20°
- Temperatura de set-point de arrefecimento: 25°

Para efeitos de simulação, não foram considerados ventilação mecânica e controlo de humidade em nenhum dos espaços.

4.2.3.3 Definição de perfis

A definição dos perfis é uma etapa crucial tanto para a determinação das cargas internas como para a quantificação dos consumos dos equipamentos e do sistema AVAC. Perfis associados à ocupação, à iluminação e aos equipamentos são essenciais para o cálculo das cargas internas.

Para determinar as cargas térmicas de um edifício e o consumo energético associado ao seu sistema AVAC, é fundamental que sejam bem definidos os perfis respetivos ao aquecimento, ao arrefecimento, à ventilação mecânica e à água quente sanitária, conforme as funcionalidades definidas para cada espaço. Neste projeto foi considerado que o sistema de arrefecimento está ligado durante 24 horas.

Todos os perfis definidos neste projeto podem ser consultados no anexo B.

4.2.4 Modelação do sistema AVAC do edifício

O DesignBuilder permite dois tipos de modelação para um sistema AVAC, em modo simples ou em modo detalhado. A modelação simples requer essencialmente a definição dos perfis de climatização e atribuição dos sistemas a cada espaço. Essas informações já são suficientes para determinar as cargas térmicas do edifício.

Para o edifício em estudo e tendo em conta o clima de Cabo Verde, quente e seco, partiu-se do princípio de que as maiores necessidades de climatização do edifício sejam de arrefecimento, sendo assim, foi projetado o seguinte sistema de climatização:

- **Arrefecimento:** *Chiller* de condensação a ar e ventiloconvectores a 2 tubos;
- **Aquecimento:** Radiadores elétricos

O sistema de arrefecimento do edifício considerou todos os espaços, exceto os considerados não úteis. Por outro lado, o sistema de aquecimento considerou apenas os espaços permanentemente ocupados, incluindo a sauna que foi climatizada como um espaço comum.

Uma primeira simulação de dimensionamento da potência de arrefecimento, no modo simples, considerando cada dia 15 do período entre maio e outubro, adiantou que o mês de setembro é o mês com maiores necessidades de arrefecimento. Entretanto, as cargas térmicas só serão analisadas na modelação detalhada.

A modelação do sistema AVAC em modo detalhado permite ter maior controlo dos dados de climatização do edifício, incluindo seleção de equipamentos da base de dados e/ou seleção de potência manual. O DesignBuilder possui uma interface gráfica de modelação de sistemas AVAC que permite a definição visual dos componentes e suas ligações.

Como ponto de partida, seleciona-se um *template* de acordo com o sistema pretendido seguindo a definição de cada espaço e das suas respetivas unidades interiores de climatização.

Neste caso em betão, não foi possível encontrar na base de dados do DesignBuilder um *template* que representasse o sistema de arrefecimento pretendido, *chiller* de refrigeração a ar e ventiloconvectores a dois tubos, portanto, foi utilizado um *template* de um *chiller* de refrigeração a ar e ventiloconvectores a quatro tubos. Este *template* considera que o aquecimento ambiente tem como fonte uma caldeira de água quente. O DesignBuilder não possui um componente de ventiloconvectores a dois tubos, portanto, não foi possível retirar a caldeira do *template*, sendo que isso posteriormente levaria a uma falha na simulação. Para mitigar a situação, considerou-se que a caldeira está desligada o tempo todo.

A representação esquemática do sistema de climatização pode ser vista no Anexo C. Para melhor interpretação do esquema, é apresentado nesta secção, na Figura 6, um recorte da ilustração do sistema de climatização.

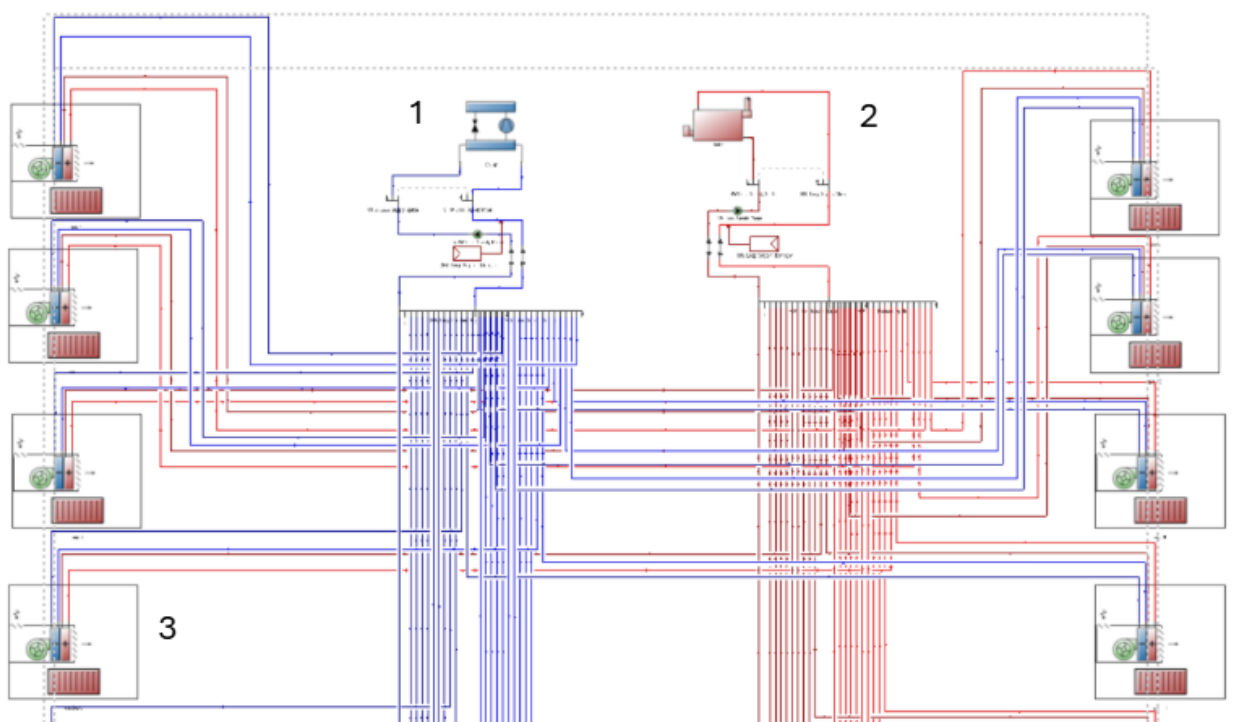
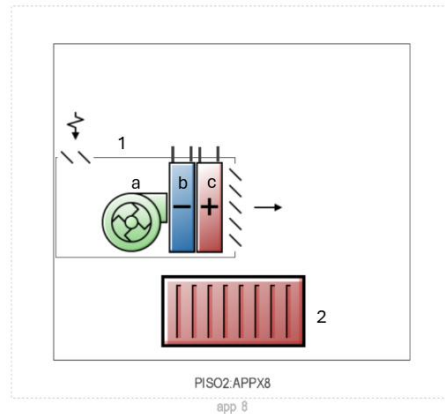


Figura 6: Modelação detalhada do sistema AVAC

Na figura anterior a cor azul refere-se ao sistema de arrefecimento e o vermelho ao sistema de aquecimento, sendo que cada um dos quadrados representa uma zona térmica. Com isto, conforme a numeração feita na figura, temos:

- 1- *Chiller* e circuito de fornecimento de água fria
- 2- Caldeira e circuito de fornecimento de água quente
- 3- Zona térmica

A desagregação dos componentes de uma zona térmica, arrefecida e aquecida, está representada na Figura 7:



Onde:

- 1- ventiloconvetor
- a - Ventilador
- b- Bateria de arrefecimento
- c - Bateria de aquecimento
- 2- Radiador elétrico

Figura 7: Componentes de uma zona térmica

No total foram consideradas 18 zonas térmicas no sistema AVAC detalhado, sendo que apenas as zonas térmicas correspondentes ao Ginásio e às circulações e o elevador que não possuem radiador elétrico. As 18 zonas térmicas englobam todos os espaços climatizados, sendo 30 arrefecidos, dos quais apenas 18 são aquecidos.

4.2.4.1 Análise dos ganhos de calor do edifício

O gráfico da Figura 8 representa uma previsão da máxima carga de arrefecimento de cada espaço, correspondendo às 17h30 do dia 15 de setembro. Cruzando a informação do gráfico com a informação da Tabela 4-1, percebe-se que os espaços com menor carga de arrefecimento correspondem aos espaços com menor área e com menores cargas térmicas internas, nomeadamente os elevadores, as circulações, os escritórios, o spa e a sauna. Por outro lado, os apartamentos são os espaços com maior carga de arrefecimento, apresentando uma ligeira variação entre aqueles que estão no mesmo piso. Percebe-se que a carga térmica dos apartamentos aumenta gradualmente com a altitude do piso, sendo o apartamento 13 o que apresenta a maior carga de arrefecimento, o que também se justifica pelo fato de a sua área ser maior.

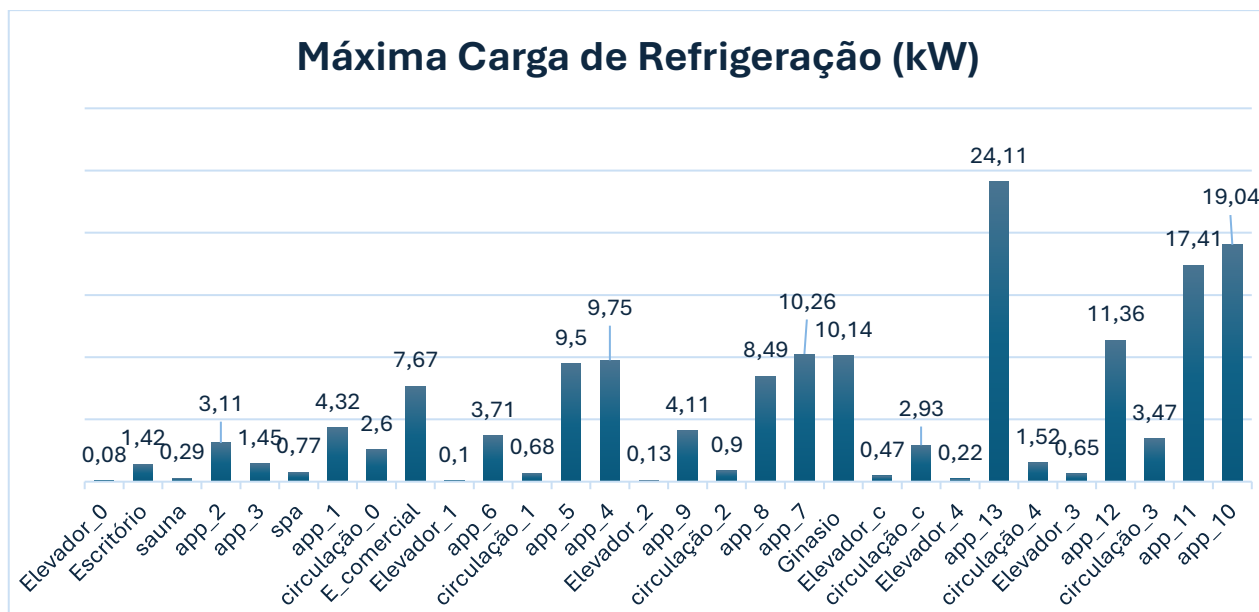


Figura 8: Ganhos de calor nos espaços a serem arrefecidos

4.2.4.2 Análise das perdas de calor do edifício

As perdas de calor em cada espaço a ser aquecido estão representadas no gráfico da Figura 9.

A semelhança da situação de arrefecimento, a maior perda de calor está no apartamento 13, e verifica-se também que os apartamentos 10 e 11 apresentam perdas maiores do que os seus homólogos nos pisos inferiores.

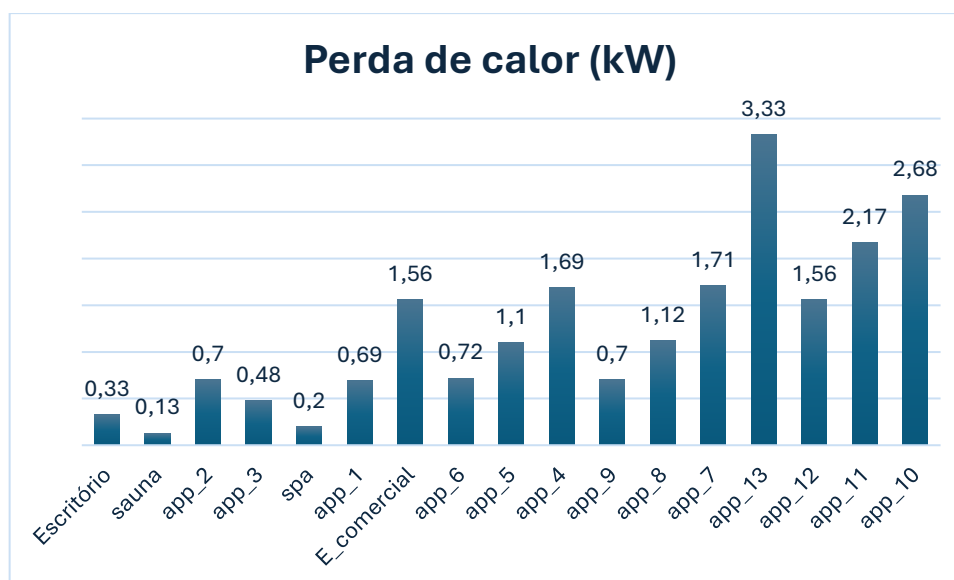


Figura 9: Perdas de calor nos espaços a serem aquecidos

Das 18 zonas térmicas consideradas, cada apartamento foi modelado como uma zona térmica independente com a exceção dos apartamentos 4 e 5 que foram fundidos em um único espaço dando origem a uma única zona térmica. Isto porque o próprio software interpretou os dois

apartamentos como uma única zona térmica, originando um erro na simulação energética. Entretanto, a fusão dos dois apartamentos não teve muita relevância nas necessidades energéticas dos espaços. As circulações e os elevadores foram agrupados em uma única zona térmica enquanto o escritório, a sauna, o spa e o centro comercial foram considerados zonas individuais.

Para suprimir as necessidades energéticas relativas à climatização do edifício, tendo em conta os perfis de utilização e as cargas térmicas internas definidas para cada espaço, a simulação previu uma necessidade máxima de arrefecimento de 161 kW e 20,83 kW de aquecimento. Esses resultados são apenas um ponto de partida para o dimensionamento dos equipamentos de climatização, uma vez que a simulação energética indicará valores mais acertados para as cargas térmicas e a potência dos equipamentos.

Para responder à demanda de arrefecimento foi selecionado, da base de dados do DesignBuilder, o *Chiller ElectricEIRChiller Scroll McQuay AGZ055D 181,5kW/2,93COP*. Corresponde a um *chiller* da MCQuay/Daikin, com uma potência de 181,5 kW e EER (Rácio de Eficiência Energética) igual a 2,93.

Os ventiloconectores e os radiadores foram mantidos em “*autosize*” (autodimensionamento), o que significa que o EnergyPlus calcula qual a melhor potência para responder às necessidades de climatização.

4.3 Análise da radiação solar e sombreamentos

O DesignBuilder dispõe de uma funcionalidade de visualização interativa do edifício que permite ao utilizador analisar cada elemento da envolvente através da atribuição de cores distintas. É também possível realizar cortes no edifício, de modo a observar em detalhe o seu interior.

Através da funcionalidade *rendered view*, é possível obter uma representação mais realística do edifício, que permite analisar a incidência da radiação solar e os respetivos sombreamentos, tanto no exterior como no interior, através da opção *Walk-through*.

Para analisar a incidência da radiação solar e os respetivos sombreamentos no edifício, realizou-se uma simulação para cada dia 22 dos meses de setembro, dezembro, março e junho. Para cada dia foram feitas duas simulações, uma às nove da manhã (09h00) e outra às cinco da tarde (17h00).

As figuras seguintes, Figura 10 e Figura 9, representam a simulação feita para o dia 22 de setembro. Percebe-se que às 09h00 as fachadas oeste e norte estão completamente sombreadas, enquanto as fachadas este e sul recebem radiação solar direta, porém, a fachada a sul está parcialmente sombreada devido ao edifício ao lado. Por outro lado, às 17h00 a fachada oeste recebe radiação solar direta enquanto as outras fachadas se encontram sombreadas.

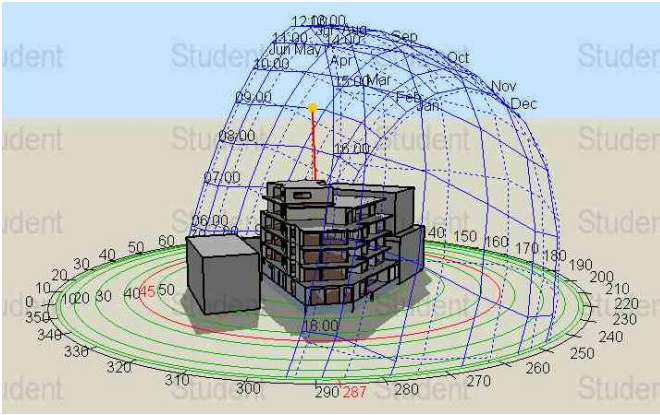


Figura 10: Sombreamentos 22 setembro, 09h

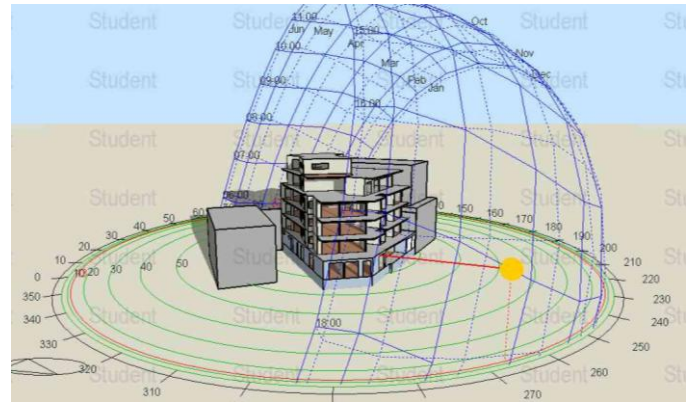


Figura 11: Sombreamentos 22 setembro, 17h

No dia 22 de dezembro às 09h00, Figura 12, apenas a fachada este recebe radiação solar direta, sendo que a fachada sul se encontra quase totalmente sombreada devido ao edifício adjacente. Às 17h00, Figura 13, apenas a fachada oeste recebe radiação solar direta enquanto as outras fachadas se encontram sombreadas.

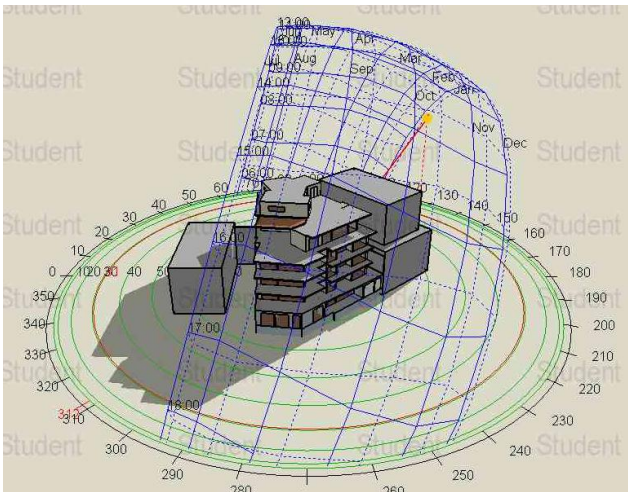


Figura 12: Sombreamentos 22 dezembro, 09h

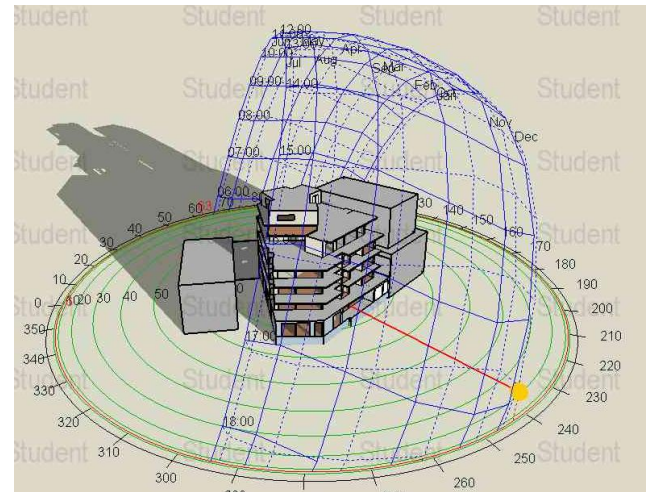


Figura 13: Sombreamentos 22 dezembro, 17h

A Figura 14 e a Figura 15 ilustram a simulação para o dia 22 de março às 09h00 e às 17h00, respectivamente. Enquanto às 09h00 apenas as fachadas este e sul recebem radiação solar direta, às 17h00 apenas a fachada oeste recebe.

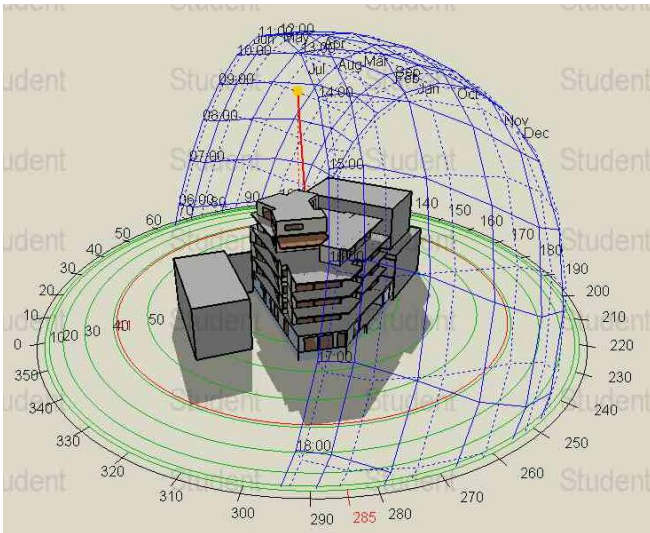


Figura 14: Sombreamentos 22 março, 09h

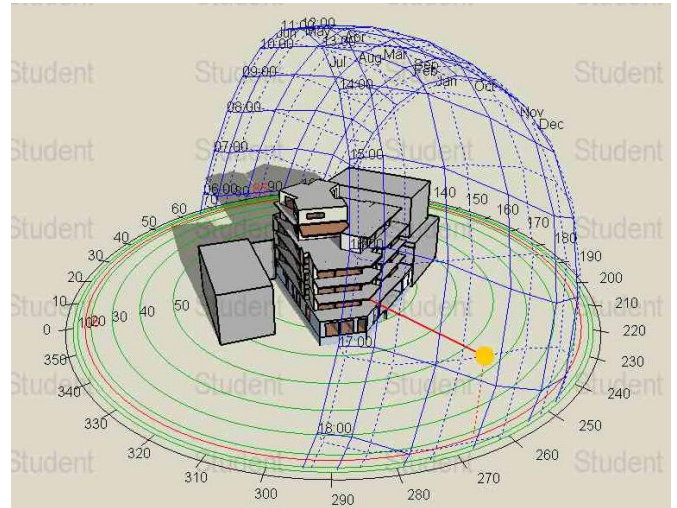


Figura 15: Sombreamentos 22 março, 17h

Para o dia 22 de junho às 9h00, as fachadas este e sul recebem radiação solar direta e a fachada norte também começa a apresentar maior incidência da radiação solar (Figura 16). Por outro lado, às 17h00, a radiação solar incide diretamente nas fachadas oeste e norte, resultando no sombreamento das outras fachadas (Figura 17).

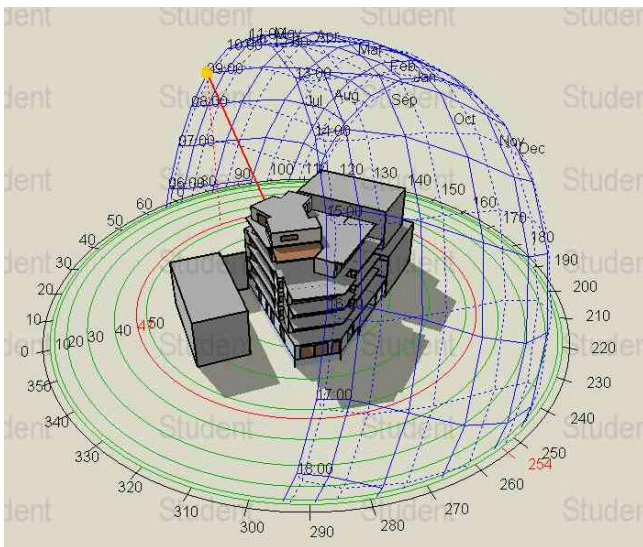


Figura 16: Sombreamentos 22 junho, 09h

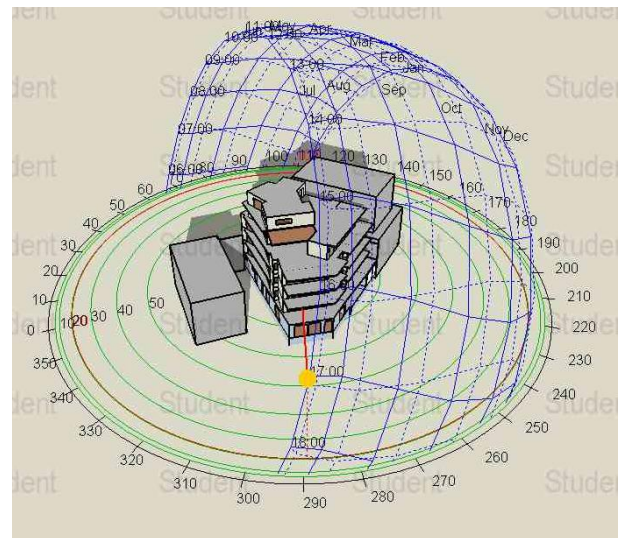


Figura 17: Sombreamentos 22 junho, 17h

Da análise feita concluiu-se que a fachada sul está sempre parcialmente sombreada pelo edifício adjacente durante o período outono-inverno e começa a ter maior incidência de radiação solar, no período da manhã, do início da primavera até ao final do verão. Por outro lado, a fachada principal do edifício, oeste, recebe sempre radiação solar direta no período da tarde.

É de realçar que o bloco correspondente à cobertura está constantemente sujeito a uma elevada exposição à radiação solar, não dispondo de dispositivos de sombreamento nem beneficiando

de sombra proveniente do edifício adjacente, o que reforça a necessidade de adotar soluções de proteção solar adequadas.

Outras simulações exploratórias mostraram que para horários de maior altura solar as fenestrações do edifício permanecem praticamente totalmente sombreadas devido à projeção da sua própria sombra e à dos edifícios adjacentes.

CAPÍTULO 5: APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados da simulação energética do edifício e de diferentes estudos paramétricos desenvolvidos contemplando diferentes cenários referentes à climatização, sombreamentos adjacentes e aproveitamento de energia solar fotovoltaica.

5.1 Simulação Energética do Edifício

A simulação energética do edifício teve como base o motor de simulação EnergyPlus, Versão 9.4.0-217a24fc09, e considerou um ano típico, isto é, simulou dados de um total de 8760 horas.

Na modelação do edifício foi considerado que a eletricidade é a única forma de energia utilizada no edifício. A simulação resultou em um consumo anual de 79839,46 kWh (79,84 MWh), correspondendo a:

- Energia por área total do edifício – 38,70 kWh/m²
- Área modelada – 2051 m²
- Energia primária (fator de conversão igual a 2,25²) – 179878,31 kWh

A desagregação do consumo anual por mês encontra-se representada na *Figura 18*. Conforme previsto na análise das cargas térmicas realizadas previamente, verifica-se que o mês de setembro apresenta o maior consumo energético. Por outro lado, o mês de fevereiro apresenta o menor consumo.

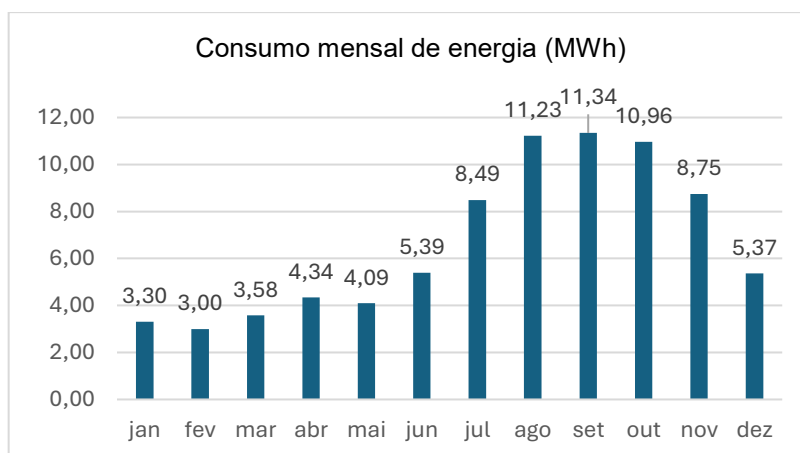


Figura 18: Consumo mensal de energia elétrica

O consumo anual de eletricidade está desagregado, na Tabela 5-1, conforme as categorias de uso final de energia no edifício.

Tabela 5-1: Desagregação do uso final anual de energia

Uso Final	Eletricidade [kWh]	%
Aquecimento	0,00	0,00
Arrefecimento	42033,15	52,65
Iluminação	7893,06	9,89
Equipamentos	15736,96	19,71

² Valor assumido. Não foi encontrado referências a este valor para o sistema elétrico de Cabo Verde

Ventiladores	14086,86	17,64
Bombas	90,26	0,11
Total	79839,46	100,00

Analisando os resultados, percebe-se que o sistema de arrefecimento é responsável por cerca de 70 % do consumo de energia anual do edifício. No entanto, deve-se realçar que nesta simulação se considerou que o sistema de arrefecimento funciona em modo contínuo, o que implica um maior consumo energético. Os equipamentos seguem como a segunda maior categoria de consumo, representando 17,64 % do consumo total.

A partir da desagregação dos consumos pode-se, ainda, extrair os seguintes indicadores energéticos:

- Iluminação – 3,85 kWh/m²
- AVAC – 27,41 kWh/m²
- Outros – 7,67 kWh/m²

5.1.1 Resultados relativos ao sistema AVAC

Embora tenha sido selecionado um *chiller* com capacidade de 181,47 kW, correspondente a um caudal de água fria de 0,007800 m³/s, a simulação realizada indicou que um *chiller* com capacidade de 120,054 kW seria suficiente para atender à demanda térmica do sistema. Nesta simulação foi considerado que a água sai do *chiller* a 6 °C.

As capacidades projetadas para as baterias de arrefecimento e ventiladores dos ventiloconvectores são apresentadas nos Anexos D e E, respetivamente. Em relação a bomba projetada para o *chiller*, essa possui as seguintes características:

- Tipo: velocidade variável
- Potência elétrica: 321 W
- Rendimento: 0,9
- Caudal de água: 0,011296 m³/s

Durante a situação de arrefecimento com o edifício ocupado houve apenas 35 horas em que o *setpoint* não foi atingido. Este valor demonstra que o sistema de arrefecimento está dimensionado corretamente, uma vez que a norma ASHRAE 90.1-2004 estabelece que as horas de carga não satisfeitas do edifício devem ser inferiores ou iguais a 300.

Como referido anteriormente, os radiadores elétricos foram simulados em modo de autodimensionamento de forma que o EnergyPlus calculasse as capacidades adequadas. O resultado da simulação a esse respeito está representado na Tabela 5-2.

Tabela 5-2: Capacidade simulada para os radiadores

Radiadores	Capacidade Projetada (W)
PISO0: ESCRITORIO ELECTRIC RADIATOR	193,04
PISO0: SAUNA ELECTRIC RADIATOR	92,93
PISO0:APPX2 ELECTRIC RADIATOR	1713,51
PISO0:APPX3 ELECTRIC RADIATOR	700,49
PISO0: SPA ELECTRIC RADIATOR	68,71
PISO0:APPX1 ELECTRIC RADIATOR	762,08
PISO0: EXCOMMERCIAL ELECTRIC RADIATOR	920,67

Radiadores	Capacidade Projetada (W)
PISO1:APPX6 ELECTRIC RADIATOR	1141,09
PISO1:APPX4X5 ELECTRIC RADIATOR	4076,81
PISO2:APPX9 ELECTRIC RADIATOR	1332,7
PISO2:APPX8 ELECTRIC RADIATOR	1063,5
PISO2:APPX7 ELECTRIC RADIATOR	3430,64
PISO4:APPX13 ELECTRIC RADIATOR	7194,93
PISO3:APPX12 ELECTRIC RADIATOR	2692,63
PISO3:APPX11 ELECTRIC RADIATOR	2620,05
PISO3:APPX10 ELECTRIC RADIATOR	4813,15

O dimensionamento dos radiadores é realizado com base nos picos de carga de aquecimento de cada espaço. Ou seja, as potências indicadas correspondem às necessidades máximas de aquecimento simuladas ao longo de um ano. Conforme apresentado na Secção 3.5, o cálculo das cargas de aquecimento assume condições exteriores constantes e normalmente ignora as cargas térmicas internas. No entanto, após essa determinação inicial, o EnergyPlus procede ao cálculo detalhado das cargas térmicas internas, passando estas a compensar praticamente todas as necessidades de aquecimento. Consequentemente, não foi necessário acionar os radiadores para atingir o *setpoint* definido.

5.1.2 Resultados relativos ao sistema de iluminação

Os resultados da simulação, ao que diz respeito ao sistema de iluminação, são apresentados na Tabela 5-3. Nesta simulação foram utilizadas informações de lâmpadas e luminárias extraídas da base de dados do DesignBuilder, em que, considerando iluminação fluorescente e luminária montada à superfície, a fração radiante é 0,72, a fração visível é 0,18 e a fração convectiva é igual a 1.

Tabela 5-3: Resultados da simulação relativo à iluminação

Zona	Densidade de potência [W/m ²]	Potência Total [W]	Horas/semana [h]	Consumo [kWh]
CAVE: ESTACIONAMENTO	6,30	2874,60	1,05	157,38
CAVE: ELEVADOR	6,30	17,70	0,00	0,00
PISO0: ESCRITORIO	7,50	146,05	27,53	209,66
PISO0: SAUNA	4,20	29,40	27,53	42,20
PISO0:APPX2	10,50	542,12	15,40	435,32
PISO0:APPX3	4,20	191,38	15,40	153,68
PISO0: SPA	6,30	142,29	8,30	61,59
PISO0: ARMAZEM	2,10	74,12	0,70	2,71
PISO0:APPX1	4,20	198,85	15,40	159,68
PISO0: CIRCULACAO	4,60	355,01	2,10	38,87
PISO0: EXCOMERCIAL	10,50	1616,93	14,41	1214,64
PISO1:APPX6	4,20	385,92	15,40	309,90
PISO1:APPX4X5	4,20	1233,82	15,40	990,75
PISO1: CIRCULACAO	2,30	56,97	2,10	6,24
PISO2:APPX9	4,20	385,92	15,40	309,90
PISO2: CIRCULACAO	2,30	56,91	2,10	6,23
PISO2:APPX8	4,20	510,54	15,40	409,96
PISO2:APPX7	4,20	751,46	15,40	603,43
COBERTURA: GINASIO1	6,90	499,87	23,03	600,14
COBERTURA: CIRCULACAO	2,10	43,78	2,10	4,79
PISO4:APPX13	4,20	1022,24	15,40	820,86
PISO4: CIRCULACAO	2,30	50,24	2,10	5,50
PISO3:APPX12	4,20	385,92	15,40	309,89
PISO3: CIRCULACAO	2,30	56,96	2,10	6,24
PISO3:APPX11	4,20	534,05	15,40	428,84
PISO3:APPX10	4,20	752,99	15,40	604,65
TOTAL	5,13	12986,28		7893,06

5.1.3 Balanço de carga térmica sensível anual

A Figura 19 apresenta um balanço de carga térmica sensível anual no edifício. O ganho de calor através das janelas representa a parcela mais significativa da carga térmica de arrefecimento do edifício, facto que reforça a importância do uso de dispositivos de proteção solar e sombreamento local dos envidraçados. Por outro lado, as infiltrações é a categoria que mais contribui para a remoção de calor do edifício.

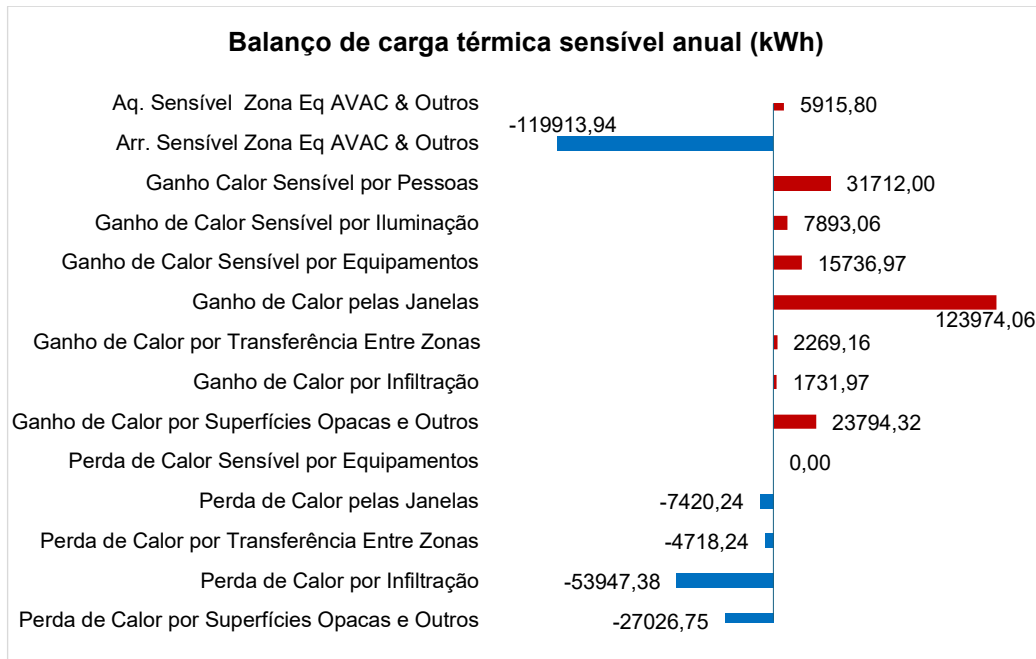


Figura 19: Balanço de carga térmica sensível anual no edifício

Observa-se que a ocupação do edifício também tem um contributo significativo nos ganhos de calor do edifício, o que justifica a importância da sua consideração no dimensionamento AVAC.

A transferência de calor através da envolvente opaca apresenta valores de perdas e ganhos de calor bastante equilibrados.

A carga térmica de arrefecimento sensível (-119 913,94 kWh) equivale ao somatório dos ganhos sensíveis (207 111,55 kWh), das perdas (-93 112,61 kWh) e da carga de aquecimento sensível (5916 kWh). O ganho de calor sensível derivado da ocupação, da iluminação e dos equipamentos (55 342,03 kWh) corresponde a 26,7% dos ganhos externos, ou seja, a carga externa é superior à carga interna. No total, perdas sensíveis de energia representam aproximadamente 44% dos ganhos sensíveis totais. Este facto explica por que razão os radiadores não entraram em funcionamento, isto é, as perdas de energia são totalmente compensadas pelos ganhos.

De acordo com a simulação, a carga máxima de arrefecimento sensível ocorre no dia 11 de outubro para um valor de 99,94 kW, o que justifica o facto da potência dimensionada para o *chiller* ser 120,054 kW. Por outro lado, o pico de carga de aquecimento ocorre no dia 3 de março para um valor de 4,72 kW.

5.1.4 Custos Energéticos

Tendo em conta as condições estabelecidas na simulação, o edifício tem um custo anual com energia de 24 365 €, o que equivale a 2 680 150 ECV (Escudos de Cabo Verde) considerando uma tarifa elétrica de 0,30 €/kWh (34,2 ECV/kWh). Como pode ser previsto, o custo máximo equivale ao mês de setembro e o mínimo ao mês de fevereiro. Informação mais detalhada pode ser consultada na Tabela 5-4.

Tabela 5-4: Custo anual com energia

	Total anual	Média mensal	Máximo	Mínimo
Custo da Energia (€)	23893,45	1991,122	3459,8	913,62
Custo da Energia (ECV)	2679056,6	223254,8	380578	100498,2
Custo do Serviço (€)	11,65	0,9705	0,9705	0,9705
Custo do Serviço (ECV)	1281,5	106,755	106,755	106,755
Base (€)	24 366,71	2030,559	3460,77	914,59
Base (ECV)	2680338	223361,5	380684,7	100604,9
Taxas (€)	0	0	0	0
Total (€)	24366,71	2030,559	3460,77	914,59
Total (ECV)	2680338	223361,5	380684,7	100604,9

5.2 Estudos Paramétricos

5.2.1 Estudo I: Análise da influência dos *setpoints* de climatização no consumo energético do edifício

Como verificado na secção anterior, o arrefecimento é a categoria de consumo com maior parcela do consumo total anual do edifício. Portanto, é oportuno investigar medidas estratégicas de economia energética, como por exemplo a alteração dos *setpoints* de temperatura interior e *setpoint* de temperatura de saída da água do *Chiller*.

Em um primeiro estudo foi analisado o efeito que uma diferença de 1 °C na temperatura interior de cada espaço tem no consumo energético do edifício. Para essa análise procedeu-se com uma alteração do *setpoint* da temperatura no interior dos espaços de 25°C para 24°C, o que resultou em um aumento de 308,74 kWh no consumo anual do edifício.

Os principais resultados podem ser observados na Tabela 5-5.

Tabela 5-5: Influência da diminuição de 1°C no *setpoint* temperatura no interior

<i>Setpoint</i> dos espaços interiores	25°C	24°C
Consumo total kWh	79839,46	80148,2
Consumo de arrefecimento kWh	42033,15	42060,32
Ventiladores kWh	14086,03	14368,15

Observa-se que a maior parte do aumento de consumo é derivado do aumento do consumo dos ventiladores (282,12 kWh) e não necessariamente do consumo do *chiller*. Isto porque os ventiladores são mais sensíveis à alteração de temperatura interior dos espaços, enquanto o *Chiller* continua a trabalhar quase igual.

No segundo estudo, cujos resultados estão apresentados na

Tabela 5-6, foi analisado o efeito que uma diferença de 1 °C na temperatura de saída da água do *chiller* tem no seu consumo energético e conseqüentemente no consumo do edifício.

Tabela 5-6: Impacto do aumento do *setpoint* temperatura de saída da água do *chiller*

<i>Setpoint</i> de saída da água	6°C	7°C	8°C	9°C
Consumo total kWh	79839,46	79519,77	78789,00	78306,93
Consumo de arrefecimento kWh	42033,15	41724,39	40991,61	40444,12
Percentagem de redução		0,7%	4,5%	3,8%

A alteração da temperatura de saída da água tem impacto direto no consumo elétrico do *chiller*. A redução máxima observada é de 3,8% do consumo do *chiller*, obtida quando a temperatura de saída da água do *chiller* é aumentada para 9°C. Embora esta percentagem seja relativamente baixa, apresenta-se como uma medida interessante por não implicar custos adicionais de implementação. É importante realçar que esta medida só é válida se não colocar em causa a satisfação do conforto térmico principalmente no que diz respeito ao controlo de humidade no ambiente interior.

5.2.2 Estudo I: Análise da influência dos sombreamentos externos no consumo energético do edifício

Como analisado na secção 4.3, o edifício adjacente a sul do edifício de estudo garante que a fachada na mesma orientação esteja fortemente sombreada durante o período da manhã em grande parte do ano, além de diminuir a radiação solar direta que incide na fachada.

Nesta secção são apresentados os resultados da simulação do edifício sem a presença dos edifícios adjacentes. O objetivo é analisar a influência desses edifícios nos consumos energéticos da instalação, principalmente nos consumos referentes à climatização.

Os principais resultados da simulação podem ser analisados na Tabela 5-7.

Tabela 5-7: Comparação do consumo de eletricidade do edifício com e sem edifícios adjacentes

	Com sombreamentos	Sem sombreamentos
Consumo total kWh	79839,46	82532,28
Consumo de arrefecimento kWh	42033,15	44379,46
Ventiladores kWh	14086,03	14425,31
Bombas kWh	90,26	97,5

Ao analisar os resultados, percebe-se que a presença dos edifícios adjacentes evita um consumo adicional de 2695,82 kWh correspondente a 3,3% do consumo energético anual do edifício, decorrente exclusivamente da diminuição da carga térmica promovida pelo sombreamento e proteção que esses edifícios oferecem.

5.2.3 Estudo II: Análise do impacto de um sistema fotovoltaico na redução dos consumos energéticos do edifício

Para possibilitar esta análise, foi projetado um sistema fotovoltaico que ocupasse a área disponível na cobertura. Para este propósito, não foi realizada uma análise rigorosa do sistema no que diz respeito à garantia do espaçamento mínimo entre as fileiras de módulo nem à área disponível.

A simulação considerou o módulo AC-350M / 156-72S da Axitec, 1,83 m² de área útil. Seus dados principais foram obtidos na sua ficha técnica, disponibilizada pelo fabricante, e poderão ser observados na Tabela 5-8.

Tabela 5-8: Características do módulo, AC-350M / 156-72S, utilizado na simulação

Caraterísticas Elétricas: STC³ (1000 W/m², 1.5 AM, 25°C)	
Potência nominal (PMPP)	350 W
Tensão nominal (UMPP)	38.2 V
Corrente nominal (IMPP)	9.16 A
Tensão de circuito aberto (Uoc)	46.7 V
Corrente de curto-circuito (Isc)	9.56 A
Corrente inversa (IR)	16.0 A
Eficiência do módulo	18.04 %
Temperatura operacional	45°C
Tensão máxima do sistema	1000 V
Coefficientes de Temperatura	
Tensão Uoc	-0.3 % / K
Corrente Isc	+0.04 % / K
Potência PMPP	-0.4 % / K

No total, o sistema foi composto por 48 módulos de 350 Wp, correspondendo a 16,8 kWp, na seguinte distribuição:

- Sete fileiras com cinco módulos em série cada um;
- Uma fileira com seis módulos em série;
- Uma fileira com sete módulos em série.

Para efeitos de simulação, foi considerado que o painel fotovoltaico está conectado a um inversor central com uma eficiência de 96%. Para este propósito, não foi seguido nenhum critério de dimensionamento do inversor.

O resultado visual da modelação do sistema fotovoltaico está representado na Figura 20.

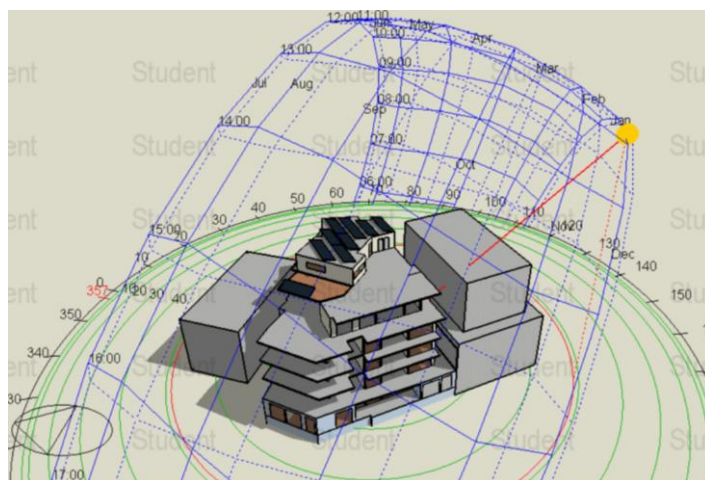


Figura 20: Modelação 3D do sistema fotovoltaico (janeiro, 22, 12:00)

³ STC – *Standart Test Conditions*, condições padrões de teste de um módulo fotovoltaico (irradiação solar de 1000 W/m², 25°C de temperatura da célula, 1,5 de massa de ar)

A simulação do sistema fotovoltaico (SFV) pelo EnergyPlus indicou uma capacidade de fornecimento de 27 879,26 kWh de eletricidade por ano, o que equivale a 36,4% do consumo total. Em relação ao excedente de produção, 9,08%, em Cabo Verde não existe a opção de venda de energia à rede pelos microprodutores, mas sim uma compensação da energia injetada na rede, isto é, o produtor pode injetar o excesso de energia na rede e ir buscá-lo nas horas necessárias.

Os resultados da simulação podem ser consultados com detalhes na Tabela 5-9.

Tabela 5-9: Balanço da energia elétrica consumida no edifício

	Eletricidade [kWh]	Porcentagem [%]
Energia Fotovoltaica Produzida	29346,589	38,32
Perdas de Conversão	-1467,33	-1,9
Energia Fotovoltaica Fornecida	27879,26	36,4
Eletricidade Proveniente da Concessionária	55661,007	72,68
Excedente de Eletricidade do SFV	6954,51	9,08
Eletricidade Líquida da Concessionária	48706,497	63,6
Consumo Total (Local + Concessionária)	76585,757	100

Na tabela anterior, observa-se que o consumo total de energia do edifício diminuiu aproximadamente 4% em relação à situação inicial (79 839,46 kWh). Essa diminuição do consumo justifica-se pelo fato dos módulos interceptarem a radiação solar direta que atingiria a cobertura e cumulativamente fornecerem sombreamento, o que resulta na diminuição das cargas térmicas do edifício.

Para o sistema de arrefecimento representou uma redução de 2 627,53 kWh no consumo do *chiller* e 620 kWh no consumo dos ventiladores dos ventiloconvectores.

CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES

Nos últimos anos Cabo Verde desenvolveu importantes instrumentos legais de eficiência energética que poderão impulsionar o desempenho energético dos edifícios. No entanto, não foram encontradas referências aos temas modelação e simulação energética em Cabo Verde, o que deixa em aberto um espaço para o desenvolvimento de diretrizes e ferramentas de simulação energética com vista à certificação energética dos edifícios.

Este projeto obteve valores de U para as paredes inferiores ao valor de U ótimo indicado pelo CEEE em mais de 40%. Em relação à cobertura, pode ser necessário o uso de isolamento térmico para atingir o valor de U ótimo.

Foi simulado um consumo anual do edifício de 79839,46 kWh. Em relação ao sistema de climatização, com a simulação conclui-se que as perdas de energia do edifício são inteiramente cobertas pelos ganhos, dispensando um investimento em um sistema de aquecimento. Por outro lado, arrefecimento do edifício é a maior categoria de consumo do edifício, correspondendo a 53% do seu consumo total.

Medidas como o aumento da temperatura de *setpoint* de saída da água do *chiller* e de arrefecimento dos espaços possibilitam uma oportunidade de redução de consumo sem custos adicionais.

O sombreamento proveniente dos edifícios adjacentes evita um consumo adicional na ordem de 3,3% do consumo do edifício, o que reafirma a importância de sombreamentos locais e dispositivos de proteção nos envidraçados, principalmente na fachada sul do edifício.

A simulação demonstrou que um sistema de energia fotovoltaica de 16,8 kWp é capaz de fornecer 36,4 % da energia consumida anualmente pelo edifício e ainda gerar um excedente de produção de 9,1 %. A presença do painel fotovoltaico na cobertura permitiu reduzir a carga térmica do edifício, resultando em uma diminuição de aproximadamente 4% do consumo anual do edifício.

CAPÍTULO 7: DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Em futuras abordagens ao tema desenvolveria os seguintes tópicos:

- Analisar o comportamento do edifício em diferentes condições climáticas;
- Estudar o comportamento de diferentes composições da envolvente térmica nos ganhos de carga térmica do edifício;
- Estudar um modelo de edifício NZEB adequado às condições climáticas de Cabo Verde.

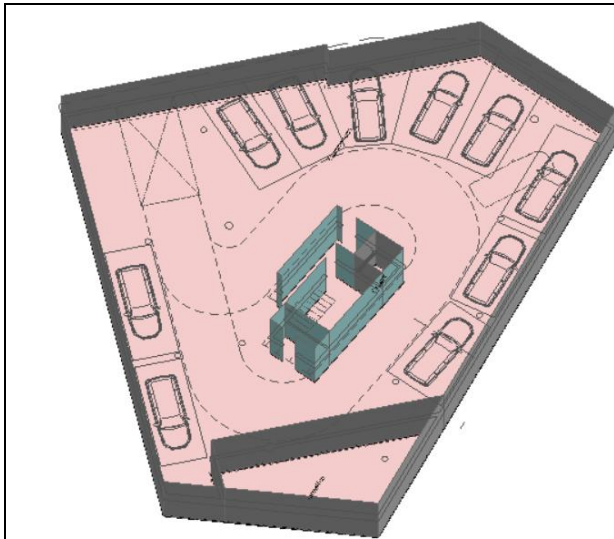
BIBLIOGRAFIA

- ARME. (03 de novembro de 2025). *ARME*. Obtido de Agência Reguladora Multissetorial da Economia:
https://www.arme.cv/index.php?option=com_content&view=article&id=565&Itemid=775
- ARME. (3 de novembro de 2025). *ARME*. Obtido de ARME- Agência Reguladora Multissetorial da Economia:
https://www.arme.cv/index.php?option=com_content&view=article&id=432&Itemid=732
- ASHRAE. (2001). *HVAC Fundamentals Hand Book*.
- Barbour, C., Zogg, R., Cross, E., & Clark, D. (2016). *Research & Development Roadmap for Building Energy Modeling—Draft*. US Department of Energy, Building Technologies Offices. USA: Navigant Consulting, Inc.
- Cabeólica. (03 de novembro de 2025). *projeto de expansão*. Obtido de Cabeolica:
<https://cabeolica.com/projeto-de-expansao/>
- Ciccozzi, A., Santavicca, A., de Rubeis, T., & Ambrosini, D. (2025). BIM-BEM interoperability for energy analysis: A comparative study of. *ELSEVIER*.
- Código de Eficiência Energética nos Edifícios. (3 de julho de 2020). *Portaria conjunta nº 24/2020, Isérie nº 77*, pp. 1574-1596.
- Conselho de Ministros. (8 de abril de 2019). Resolução nº39/2019, I Série nº 40. *Boletim Oficial da República de Cabo Verde*, 704-711.
- Conselho de Ministros. (1 de dezembro de 2021). Resolução nº 107/2021, I Série — nº 118. *Boletim Oficial da Republica de Cabo Verde*, 2996-300.
- DesignBuilder. (04 de 11 de 2025). *product overview*. Obtido de Design Builder:
<https://designbuilder.co.uk/software/product-overview>
- ELECTRA S.A. (2023). *Relatório e contas*. Cabo Verde.
- ENACOL. (2023). *Relatório e contas*. Cabo Verde.
- Gao, H., Koch, C., & Wu, Y. (2019). Building information modelling based building energy modelling: A review. *Applied Energy*, 320-343.
- Gonzalo, F. D., Santamaría, B. M., & Burgos, M. J. (2023). Assessment of Building Energy Simulation Tools to Predict Heating and Cooling Energy Consumption at Early Design Stages. *Sustainability*.
- Governo de Cabo Verde. (2015). *Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética Período [2015-2020/2030]*. Cabo Verde.
- Governo de Cabo Verde. (2021). *PEDS II - Plano Estratégico de Desenvolvimento Sustentável 2022 -2026*. Cabo Verde.

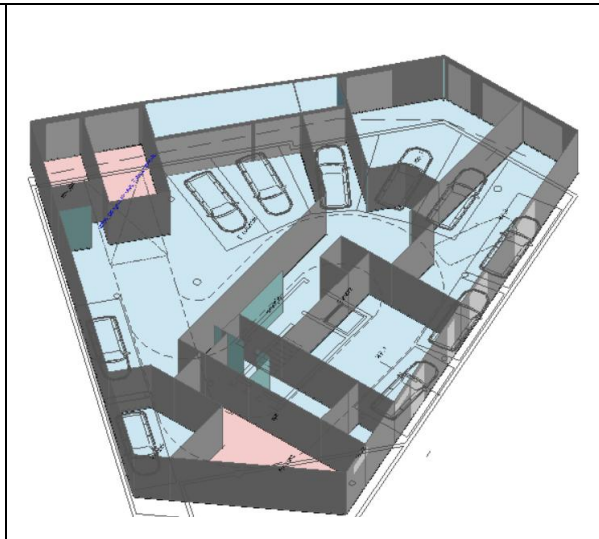
- Miettinen, R., & Paavola, S. (2014). Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling. *Automation in Construction*, 84-91.
- Ministério da Indústria, Comércio e Energia. (2025). *Eficiência Energética*. Obtido em 20 de outubro de 2025, de Portal da Energia Cabo Verde: <https://www.portalenergia.cv/eficiencia-energetica>
- Ministério da Indústria, Comércio e Energia. (30 de maio de 2025). *Reforma do Setor Elétrico em Cabo Verde*. Obtido em 15 de setembro de 2025, de Portal de Energia Cabo Verde: <https://caboverdeelectricitypsp.com/pt/>
- Obuka, N., Onyechi, P. C., & Okoli, N. C. (2015). Determination of a Nonresidential Space Cooling Load: Vb Program Application Determination Of A Nonresidential Space Cooling Load: Vb Program Application. *Article in International Journal of Scientific & Technology Research*. Obtido de www.ijstr.org
- Portaria conjunta nº 4/2011, Série — nº 2. (12 de janeiro de 2012). *Boletim Oficial da Republica de Cabo Verde*, 37-75.
- Sengar, N., & Sharma, A. (2019). Heat Gain Study of a Residential Building in Hot-Dry Climatic Zone on Basis of Three Cooling Load Methods. *European Journal of Engineering Research and Science*, 186-194. Obtido em 09 de novembro de 2025
- U.S. Department of Energy. (17 de julho de 2021). *Building Technologies Office*. Obtido em 6 de novembro de 2025, de U.S. Department of Energy: <https://www.energy.gov/eere/buildings/articles/energyplus-turns-20>
- U.S. Department of Energy. (2022). *EnergyPlus™ engineering reference (Version 22.1.0)*. National Renewable Energy Laboratory. Obtido em 6 de novembro de 2025, de https://energyplus.net/assets/nrel_custom/pdfs/pdfs_v22.1.0/EngineeringReference.pdf
- US Department of Energy. (04 de 11 de 2025). *About Building Energy Modeling*. Obtido de US Department of Energy: <https://www.energy.gov/eere/buildings/about-building-energy-modeling>
- Wang, L., Glazer, J., Witte, M. J., Muehleisen, R. T., Kim, J.-H., & Zeng, Z. (2025). *ASHRAE Standard 140 Resource Files*. Obtido em 07 de novembro de 2025, de ASHRAE Standards and Research Project Data Repository: [https://data.ashrae.org/standard140/140UsersManual-PartI-Final%20\(050825\).pdf](https://data.ashrae.org/standard140/140UsersManual-PartI-Final%20(050825).pdf)

ANEXOS

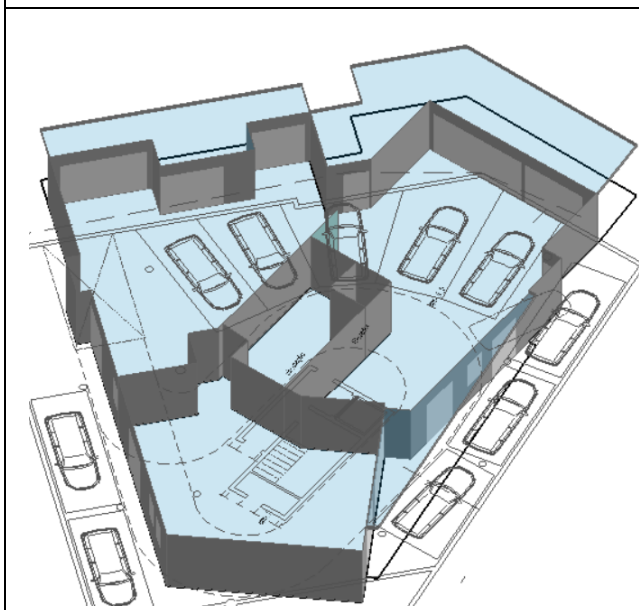
Anexo A: Blocos do edificio



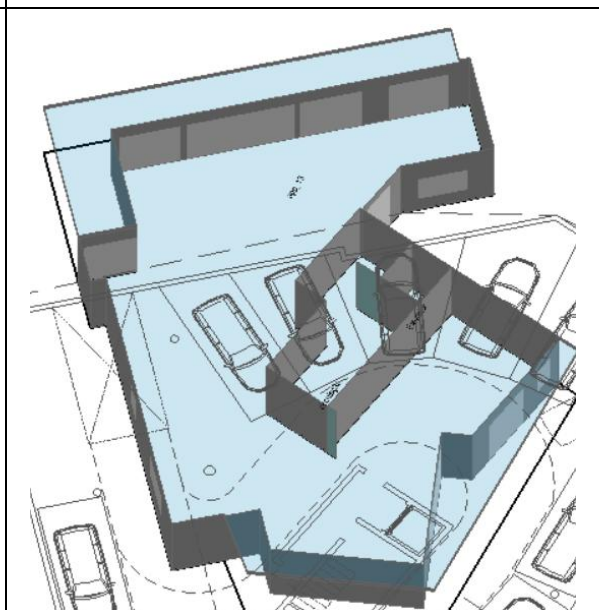
Cave



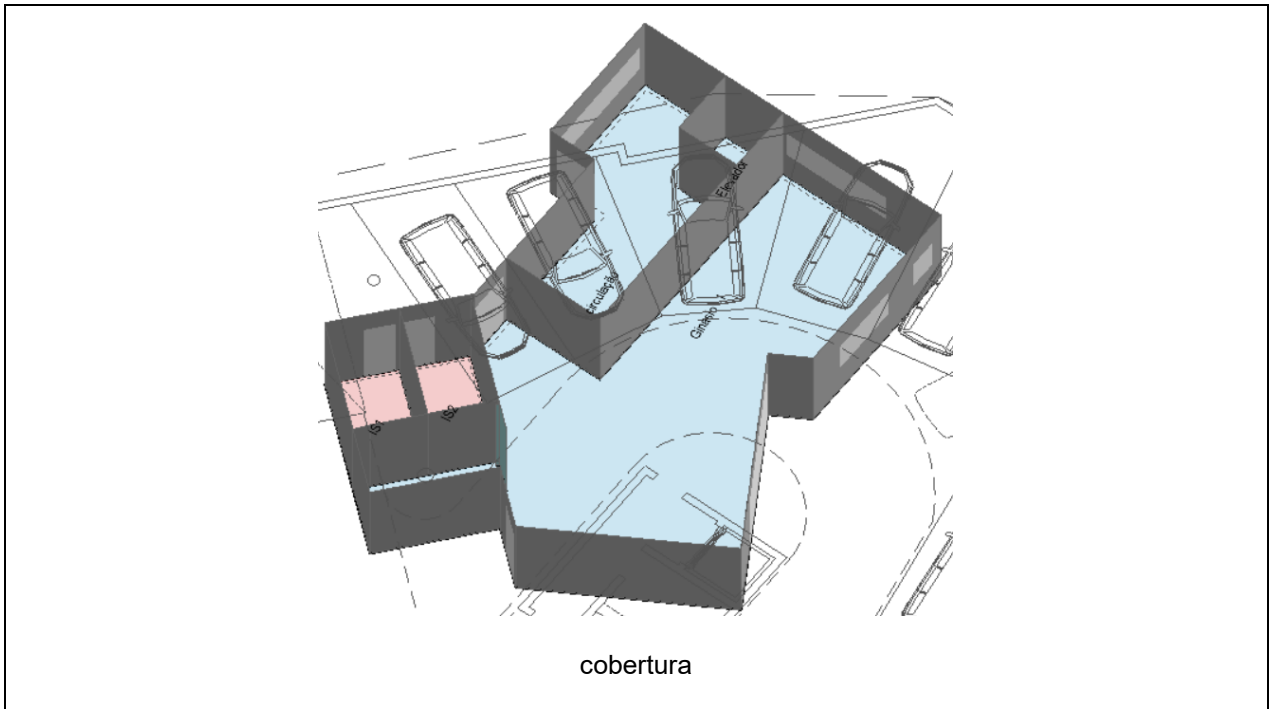
Piso 0



Piso 1/2/3



Piso 4



Anexo B: Perfis utilizados no projeto

Perfis do sistema de climatização			
<p>cool_ginasio</p> <p>Source Category Region Schedule type</p> <p>Profiles</p> <p>Schedule: Compact cool_ginásio, Fraction, Through: 31 Dec, For: WinterDesignDay, Until: 24:00, 0, For: Sunday, Until: 24:00, 0, For: SummerDesignDay, Until: 24:00, 1, For: Weekdays, Until: 24:00, 1, For: Holidays, Until: 24:00, 0, For: AllOtherDays, Until: 24:00, 1;</p>	<p>Apartamentos_outros_cooli</p> <p>Source Category Region Schedule type</p> <p>Profiles</p> <p>Schedule: Compact Apartamentos_outros_cooling, Temperature, Through: 31 Dec, For: WinterDesignDay, Until: 24:00, 0, For: Weekdays, Until: 24:00, 1, For: SummerDesignDay, Until: 24:00, 1, For: AllOtherDays, Until: 24:00, 1;</p>	<p>cool_escritorio_outros</p> <p>Source Category Region Schedule type</p> <p>Profiles</p> <p>SCHEDULE: COMPACT, perfil equipamentos_escritorio, Fraction, Through: 31 Dec, For: WinterDesignDay, Until: 24:00, 0, For: Weekdays, Until: 08:00, 0, Until: 19:00, 1, Until: 24:00, 0, For: Weekends, Until: 24:00, 0, For: Holidays, Until: 24:00, 0, For: AllOtherDays, Until: 08:00, 0, Until: 19:00, 1, Until: 24:00, 0;</p>	<p>heat_escritorio_outros</p> <p>Source Category Region Schedule type</p> <p>Profiles</p> <p>SCHEDULE: COMPACT, heat_escritorio_outros, Fraction, Through: 31 Dec, For: SummerDesignDay, Until: 24:00, 0, For: Weekdays, Until: 16:00, 0, Until: 19:00, 1, Until: 24:00, 0, For: Weekends, Until: 24:00, 0, For: Holidays, Until: 24:00, 0, For: AllOtherDays, Until: 16:00, 0, Until: 19:00, 1, Until: 24:00, 0;</p>

<p>cool_circulações</p> <p>Source Category Region Schedule type</p> <p>Profiles</p> <p>SCHEDULE:COMPACT, cool_circulações, Fraction, Through: 31 Dec, For: WinterDesignDay, Until: 24:00, 0, For: AllOtherDays, Until: 14:00, 0, Until: 22:00, 1, Until: 24:00, 0;</p>	<p>Apartamentos_outros_Heat</p> <p>Source Category Region Schedule type</p> <p>Profiles</p> <p>Schedule:Compact, Apartamentos_outros_Heat, Temperature, Through: 31 Dec, For: SummerDesignDay, Until: 24:00, 0, For: WinterDesignDay, Until: 24:00, 1, For: Weekdays, Until: 24:00, 1, For: AllOtherDays, Until: 24:00, 1;</p>	<p>Heat_Espaço comercial</p> <p>Source Category Region Schedule type</p> <p>Profiles</p> <p>SCHEDULE:COMPACT, Heat_Espaço comercial, Fraction, Through: 31 Dec, For: Sunday, Until: 24:00, 0, For: Holidays, Until: 24:00, 0, For: SummerDesignDay, Until: 24:00, 0, For: AllOtherDays, Until: 18:00, 0, Until: 21:00, 1, Until: 24:00, 0;</p>	<p>cool_Espaço comercial</p> <p>Source Category Region Schedule type</p> <p>Profiles</p> <p>SCHEDULE:COMPACT, cool_Espaço comercial, Fraction, Through: 31 Dec, For: WinterDesignDay, Until: 24:00, 0, For: Sunday, Until: 24:00, 0, For: Holidays, Until: 24:00, 0, For: SummerDesignDay, Until: 24:00, 1, For: AllOtherDays, Until: 24:00, 1;</p>
--	--	--	---

<p>Perfis do sistema de iluminação</p>		
<p>iluminação ginásio</p> <p>Source Category Region Schedule type</p> <p>Profiles</p> <p>Schedule:Compact, iluminação ginásio, Fraction, Through: 31 Dec, For: Weekends, Until: 24:00, 0, For: Weekdays, Until: 07:00, 0, Until: 09:00, 0.30, Until: 16:00, 0, Until: 18:00, 0, Until: 22:00, 1, Until: 24:00, 0, For: Holidays, Until: 24:00, 0, For: AllOtherDays, Until: 07:00, 0, Until: 09:00, 0.3, Until: 16:00, 0, Until: 18:00, 0, Until: 22:00, 1, Until: 24:00, 0;</p>	<p>Perfil iluminação Espaço comercial</p> <p>Source Category Region Schedule type</p> <p>Profiles</p> <p>SCHEDULE:COMPACT, perfil ocupação Espaço comercial, Fraction, Through: 31 Dec, For: Sunday, Until: 24:00, 0, For: Holidays, Until: 24:00, 0, For: WinterDesignDay, Until: 07:00, 0, Until: 11:00, 0.3, Until: 16:00, 0, Until: 21:00, 0.5, Until: 24:00, 0, For: AllOtherDays, Until: 07:00, 0, Until: 10:00, 0.3, Until: 18:00, 0, Until: 21:00, 0.5, Until: 24:00, 0;</p>	<p>perfil iluminação_escritorio_o</p> <p>Source Category Region Schedule type</p> <p>Profiles</p> <p>SCHEDULE:COMPACT, perfil equipamentos_escritorio_outro, Fraction, Through: 31 Dec, For: Weekdays, Until: 08:00, 0, Until: 19:00, 0.5, Until: 24:00, 0, For: Weekends, Until: 24:00, 0, For: Holidays, Until: 24:00, 0, For: AllOtherDays, Until: 08:00, 0, Until: 19:00, 0.5, Until: 24:00, 0;</p>

<p>perfil iluminação app</p> <p>Source Category Region Schedule type</p> <p>Profiles</p> <p>SCHEDULE:COMPACT, perfil ocupação T2_generico, Fraction, Through: 31 Dec, For: WinterDesignDay, Until: 07:00, 0, Until: 09:00, 0.05, Until: 17:00, 0, Until: 22:00, 0.5, Until: 24:00, 0.05, For: AllOtherDays, Until: 07:00, 0, Until: 09:00, 0.05, Until: 18:00, 0, Until: 22:00, 0.5, Until: 24:00, 0.05;</p>	<p>perfil iluminação circulações</p> <p>Source Category Region Schedule type</p> <p>Profiles</p> <p>SCHEDULE:COMPACT, perfil ocupação circulações, Fraction, Through: 31 Dec, For: AllDays, Until: 07:00, 0, Until: 10:00, 0.05, Until: 19:00, 0, Until: 22:00, 0.05, Until: 24:00, 0;</p>
--	--

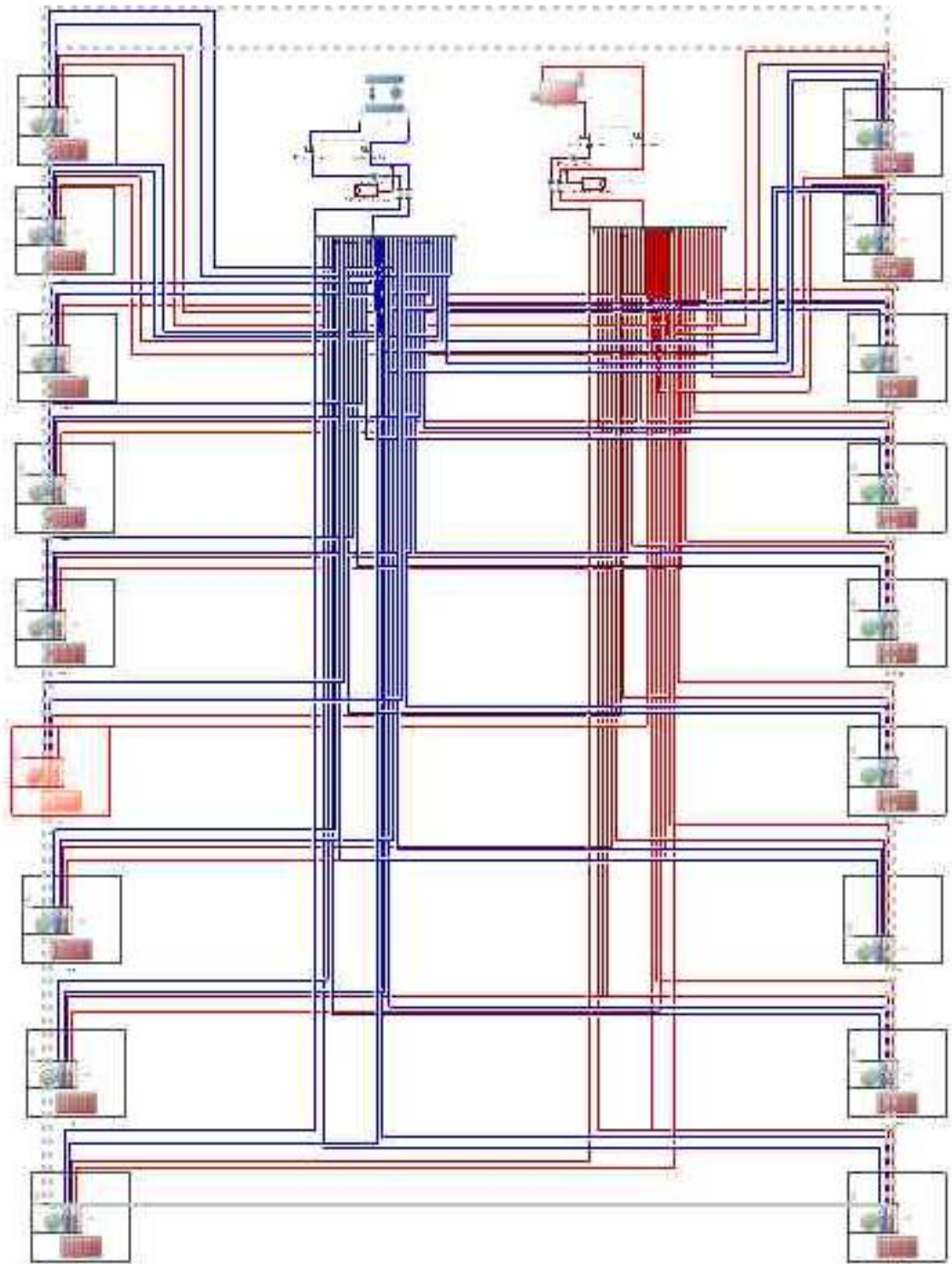
Perfis de uso de equipamentos

<p>equipamentos app_cozinna</p> <p>Source Category Region Schedule type</p> <p>Profiles</p> <p>SCHEDULE:COMPACT, perfil equipamentos app_generico, Fraction, Through: 31 Dec, For: AllDays, Until: 07:00, 0.01, Until: 20:00, 0.017, Until: 24:00, 0.01;</p>	<p>perfil de uso de computadores</p> <p>Source Category Region Schedule type</p> <p>Profiles</p> <p>SCHEDULE:COMPACT, perfil equipamentos app_generico, Fraction, Through: 31 Dec, For: AllDays, Until: 17:00, 0, Until: 20:00, 0.01, Until: 24:00, 0;</p>	<p>perfil equipamentos giné</p> <p>Source Category Region Schedule type</p> <p>Profiles</p> <p>Schedule:Compact, ocupação ginásio, Fraction, Through: 31 Dec, For: Weekends, Until: 24:00, 0.002, For: Weekdays, Until: 07:00, 0.002, Until: 22:00, 0.022, Until: 24:00, 0.002, For: Holidays, Until: 24:00, 0.002, For: AllOtherDays, Until: 07:00, 0.002, Until: 22:00, 0.022, Until: 24:00, 0.002;</p>
--	--	---

<p>perfil equipamentos app_gem</p> <p>Source Category Region Schedule type</p> <p>Profiles SCHEDULE:COMPACT, perfil equipamentos app_generico, Fraction, Through: 31 Dec, For: AllDays, Until: 10:00, 0.005, Until: 23:00, 0.013, Until: 24:00, 0.005;</p>	<p>perfil equipamentos Espaço com</p> <p>Source Category Region Schedule type</p> <p>Profiles SCHEDULE:COMPACT, perfil equipamentos Espaço comercial, Fraction, Through: 31 Dec, For: Sunday, Until: 24:00, 0.03, For: Holidays, Until: 24:00, 0.03, For: AllOtherDays, Until: 07:00, 0.025, Until: 21:00, 0.03, Until: 24:00, 0.025;</p>	<p>perfil equipamentos_escritorio_o</p> <p>Source Category Region Schedule type</p> <p>Profiles SCHEDULE:COMPACT, perfil equipamentos_escritorio_outros, Fraction, Through: 31 Dec, For: Weekdays, Until: 08:00, 0.015, Until: 19:00, 0.12, Until: 24:00, 0.015, For: Weekends, Until: 24:00, 0.015, For: Holidays, Until: 24:00, 0.015, For: AllOtherDays, Until: 08:00, 0.015, Until: 19:00, 0.12, Until: 24:00, 0.015;</p>
--	---	---

Perfis de ocupação do edifício			
<p>perfil ocupação generico_escr</p> <p>Source Category Region Schedule type</p> <p>Profiles SCHEDULE:COMPACT, perfil ocupação generico_escritorio_ Fraction, Through: 31 Dec, For: AllDays, Until: 08:00, 0, Until: 10:00, 1, Until: 11:00, 0, Until: 13:00, 1, Until: 14:00, 0, Until: 17:00, 1, Until: 24:00, 0;</p>	<p>perfil ocupação apartamen</p> <p>Source Category Region Schedule type</p> <p>Profiles SCHEDULE:COMPACT, perfil ocupação apartamentos, Fraction, Through: 31 Dec, For: AllDays, Until: 10:00, 1, Until: 22:00, 0.5, Until: 24:00, 1;</p>	<p>perfil ocupação Espaço come</p> <p>Source Category Region Schedule type</p> <p>Profiles SCHEDULE:COMPACT, perfil ocupação Espaço comercial, Fraction, Through: 31 Dec, For: Sunday, Until: 24:00, 0, For: Holidays, Until: 24:00, 0, For: AllOtherDays, Until: 07:00, 0, Until: 13:00, 1, Until: 14:00, 0, Until: 21:00, 1, Until: 24:00, 0;</p>	<p>ocupação ginásio</p> <p>Source Category Region Schedule type</p> <p>Profiles Schedule:Compact, ocupação ginásio, Fraction, Through: 31 Dec, For: Weekends, Until: 24:00, 0, For: Weekdays, Until: 07:00, 0, Until: 09:00, 1, Until: 12:00, 0.8, Until: 18:00, 0.5, Until: 21:00, 1, Until: 22:00, 0.8, Until: 24:00, 0, For: Holidays, Until: 24:00, 0, For: AllOtherDays, Until: 07:00, 0, Until: 09:00, 1, Until: 12:00, 0.8, Until: 18:00, 0.5, Until: 21:00, 1, Until: 22:00, 0.8, Until: 24:00, 0;</p>

Anexo C: Representação esquemática do sistema de climatização



Anexo D: Dimensionamento das baterias de arrefecimento

Cooling Coils

	Type	Design Coil Load [W]	Nominal Total Capacity [W]	Nominal Sensible Capacity [W]	Nominal Latent Capacity [W]	Nominal Sensible Heat Ratio	N
PISO0:ELEVADOR FAN COIL UNIT COOLING COIL	Coil-Cooling-Water	46.23	56.17	41.92	14.25	0.75	
PISO0:ESCRITORIO FAN COIL UNIT COOLING COIL	Coil-Cooling-Water	1557.38	1812.15	1330.36	481.79	0.73	
PISO0:SAUNA FAN COIL UNIT COOLING COIL	Coil-Cooling-Water	376.25	457.10	341.08	116.02	0.75	
PISO0:APPX2 FAN COIL UNIT COOLING COIL	Coil-Cooling-Water	3736.70	4517.20	3364.01	1153.19	0.74	
PISO0:APPX3 FAN COIL UNIT COOLING COIL	Coil-Cooling-Water	1595.55	1912.31	1419.35	492.96	0.74	
PISO0:SPA FAN COIL UNIT COOLING COIL	Coil-Cooling-Water	630.46	718.26	523.46	194.80	0.73	
PISO0:APPX1 FAN COIL UNIT COOLING COIL	Coil-Cooling-Water	4207.23	5089.54	3791.28	1298.26	0.74	
PISO0:CIRCULACAO FAN COIL UNIT COOLING COIL	Coil-Cooling-Water	1982.26	2359.92	1747.10	612.81	0.74	
PISO0:EXCOMERCIAL FAN COIL UNIT COOLING COIL	Coil-Cooling-Water	6612.16	7889.21	5845.43	2043.78	0.74	
PISO1:ELEVADOR FAN COIL UNIT COOLING COIL	Coil-Cooling-Water	71.53	86.65	64.58	22.07	0.75	
PISO1:APPX6 FAN COIL UNIT COOLING COIL	Coil-Cooling-Water	3322.73	3985.73	2959.24	1026.48	0.74	
PISO1:APPX4X5 FAN COIL UNIT COOLING COIL	Coil-Cooling-Water	17303.32	20917.11	15577.10	5340.01	0.74	
PISO1:CIRCULACAO FAN COIL UNIT COOLING COIL	Coil-Cooling-Water	347.43	421.78	314.64	107.15	0.75	
PISO2:ELEVADOR FAN COIL UNIT COOLING COIL	Coil-Cooling-Water	90.87	109.09	81.02	28.07	0.74	
PISO2:APPX9 FAN COIL UNIT COOLING COIL	Coil-Cooling-Water	3784.45	4526.19	3356.70	1169.49	0.74	
PISO2:CIRCULACAO FAN COIL UNIT COOLING COIL	Coil-Cooling-Water	435.26	527.81	393.56	134.26	0.75	
PISO2:APPX8 FAN COIL UNIT COOLING COIL	Coil-Cooling-Water	8546.64	10273.93	7634.30	2639.63	0.74	
PISO2:APPX7 FAN COIL UNIT COOLING COIL	Coil-Cooling-Water	10581.93	12659.44	9389.44	3270.00	0.74	
COBERTURA:GINASIO1 FAN COIL UNIT COOLING COIL	Coil-Cooling-Water	13474.10	15617.61	11449.55	4168.06	0.73	
COBERTURA:ELEVADOR FAN COIL UNIT COOLING COIL	Coil-Cooling-Water	613.08	734.39	544.96	189.43	0.74	
COBERTURA:CIRCULACAO FAN COIL UNIT COOLING COIL	Coil-Cooling-Water	3375.01	4012.31	2968.80	1043.51	0.74	
PISO4:ELEVADOR FAN COIL UNIT COOLING COIL	Coil-Cooling-Water	207.45	248.71	184.62	64.09	0.74	
PISO4:APPX13 FAN COIL UNIT COOLING COIL	Coil-Cooling-Water	29766.89	34999.52	25791.05	9208.46	0.74	
PISO4:CIRCULACAO FAN COIL UNIT COOLING COIL	Coil-Cooling-Water	1267.00	1466.72	1074.82	391.90	0.73	
PISO3:ELEVADOR FAN COIL UNIT COOLING COIL	Coil-Cooling-Water	880.89	945.37	676.16	269.21	0.72	
PISO3:APPX12 FAN COIL UNIT COOLING COIL	Coil-Cooling-Water	12534.02	15034.11	11161.95	3872.16	0.74	
PISO3:CIRCULACAO FAN COIL UNIT COOLING COIL	Coil-Cooling-Water	3140.44	3785.91	2816.34	969.57	0.74	
PISO3:APPX11 FAN COIL UNIT COOLING COIL	Coil-Cooling-Water	20281.11	24217.93	17949.55	6268.38	0.74	
PISO3:APPX10 FAN COIL UNIT COOLING COIL	Coil-Cooling-Water	23092.45	27331.95	20190.06	7141.89	0.74	

Nominal values are gross at rated conditions, i.e., the supply air fan heat and electric power NOT accounted for.

Anexo E: Dimensionamento dos ventiladores dos ventiloconvectores

Fans

	Type	Total Efficiency [W/W]	Delta Pressure [pa]	Max Air Flow Rate [m3/s]	Rated Electricity Rate [W]	Rated Power Per Max Air Flow Rate [W-s/m3]	Motor Heat In Air Fraction	Fan Energy Index
PISO0:ELEVADOR FAN COIL UNIT SUPPLY FAN	Fan:OnOff	0.70	100.00	0.00	0.53	142.86	1.00	182.43
PISO0:ESCRITORIO FAN COIL UNIT SUPPLY FAN	Fan:OnOff	0.70	100.00	0.11	15.69	142.86	1.00	9.05
PISO0:SAUNA FAN COIL UNIT SUPPLY FAN	Fan:OnOff	0.70	100.00	0.03	4.31	142.86	1.00	25.03
PISO0:APPX2 FAN COIL UNIT SUPPLY FAN	Fan:OnOff	0.70	100.00	0.30	42.16	142.86	1.00	5.19
PISO0:APPX3 FAN COIL UNIT SUPPLY FAN	Fan:OnOff	0.70	100.00	0.12	17.54	142.86	1.00	8.41
PISO0:SPA FAN COIL UNIT SUPPLY FAN	Fan:ConstantVolume	0.70	100.00	0.04	5.99	142.86	1.00	18.86
PISO0:APPX1 FAN COIL UNIT SUPPLY FAN	Fan:OnOff	0.70	100.00	0.33	47.57	142.86	1.00	4.92
PISO0:CIRCULACAO FAN COIL UNIT SUPPLY FAN	Fan:OnOff	0.70	100.00	0.15	21.35	142.86	1.00	7.43
PISO0:EXCOMERCIAL FAN COIL UNIT SUPPLY FAN	Fan:OnOff	0.70	100.00	0.50	71.69	142.86	1.00	4.20
PISO1:ELEVADOR FAN COIL UNIT SUPPLY FAN	Fan:OnOff	0.70	100.00	0.01	0.81	142.86	1.00	120.04
PISO1:APPX6 FAN COIL UNIT SUPPLY FAN	Fan:OnOff	0.70	100.00	0.26	36.61	142.86	1.00	5.54
PISO1:APPX4X5 FAN COIL UNIT SUPPLY FAN	Fan:ConstantVolume	0.70	100.00	1.37	195.22	142.86	1.00	3.22
PISO1:CIRCULACAO FAN COIL UNIT SUPPLY FAN	Fan:OnOff	0.70	100.00	0.03	3.97	142.86	1.00	26.91
PISO2:ELEVADOR FAN COIL UNIT SUPPLY FAN	Fan:OnOff	0.70	100.00	0.01	1.00	142.86	1.00	97.72
PISO2:APPX9 FAN COIL UNIT SUPPLY FAN	Fan:OnOff	0.70	100.00	0.29	41.33	142.86	1.00	5.24
PISO2:CIRCULACAO FAN COIL UNIT SUPPLY FAN	Fan:OnOff	0.70	100.00	0.03	4.96	142.86	1.00	22.15
PISO2:APPX8 FAN COIL UNIT SUPPLY FAN	Fan:OnOff	0.70	100.00	0.66	94.78	142.86	1.00	3.84
PISO2:APPX7 FAN COIL UNIT SUPPLY FAN	Fan:OnOff	0.70	100.00	0.81	115.65	142.86	1.00	3.63
COBERTURA:GINASIO1 FAN COIL UNIT SUPPLY FAN	Fan:OnOff	0.70	100.00	0.94	134.25	142.86	1.00	3.49
COBERTURA:ELEVADOR FAN COIL UNIT SUPPLY FAN	Fan:OnOff	0.70	100.00	0.05	6.73	142.86	1.00	17.12
COBERTURA:CIRCULACAO FAN COIL UNIT SUPPLY FAN	Fan:OnOff	0.70	100.00	0.25	36.20	142.86	1.00	5.57
PISO4:ELEVADOR FAN COIL UNIT SUPPLY FAN	Fan:OnOff	0.70	100.00	0.02	2.28	142.86	1.00	44.64
PISO4:APPX13 FAN COIL UNIT SUPPLY FAN	Fan:OnOff	0.70	100.00	2.16	309.04	142.86	1.00	2.97
PISO4:CIRCULACAO FAN COIL UNIT SUPPLY FAN	Fan:OnOff	0.70	100.00	0.09	12.58	142.86	1.00	10.55
PISO3:ELEVADOR FAN COIL UNIT SUPPLY FAN	Fan:OnOff	0.70	100.00	0.05	7.16	142.86	1.00	16.27
PISO3:APPX12 FAN COIL UNIT SUPPLY FAN	Fan:OnOff	0.70	100.00	0.97	138.08	142.86	1.00	3.47
PISO3:CIRCULACAO FAN COIL UNIT SUPPLY FAN	Fan:OnOff	0.70	100.00	0.25	35.13	142.86	1.00	5.66
PISO3:APPX11 FAN COIL UNIT SUPPLY FAN	Fan:OnOff	0.70	100.00	1.54	220.42	142.86	1.00	3.14
PISO3:APPX10 FAN COIL UNIT SUPPLY FAN	Fan:OnOff	0.70	100.00	1.71	244.44	142.86	1.00	3.08