

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Maurício Arêas Rodrigues da Silveira

**Projeto de Climatização de um Ambiente Hospitalar
(Clínica Ortopédica Arêas)**

**Projeto de
Graduação**

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de
Engenharia Mecânica da PUC-Rio

Orientador: Prof. Marcos Sebastião de Paula Gomes

Rio de Janeiro
Dezembro de 2024

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a meu orientador, Marcos Sebastião por ter aceitado me auxiliar na elaboração deste projeto. Sua tutoria e paciência foram muito importantes para a realização do mesmo. Sou muito grato em ter tido a possibilidade de conhecê-lo e ter trabalhado em conjunto.

Agradeço a minha família, que sempre me apoiou em todas as minhas iniciativas e acreditou no meu potencial desde os meus primórdios acadêmicos, que sempre me motivaram e me proporcionaram a melhor qualidade de vida e estudo. Minha mãe, meu pai, meus tios tiveram um papel fundamental na concretização deste momento tão importante para nós e, sinceramente, não acredito que palavras seriam suficientes para demonstrar a minha gratidão a todos.

Meu pai, Edson Rodrigues da Silveira Filho, sempre foi minha inspiração, inclusive por ser engenheiro mecânico influenciou muito no meu sonho de também me tornar um e seguir os passos dele.

Minha mãe, Terezinha da Cruz Arêas, sempre foi muito importante na minha vida acadêmica, foi quem sempre estudou comigo e botou meus estudos na frente de tudo. Sem eles com certeza eu não estaria aqui hoje, então devo tudo a eles.

Gostaria de fazer um agradecimento especial aos meus falecidos avôs maternos, Edmar da Cruz Arêas e principalmente a Agrippina da Cruz Arêas, que infelizmente não puderam assistir à chegada desse momento tão especial. Tutores e amigos em diversos momentos da minha vida, eles sempre me apoiaram e se mostravam em extrema felicidade com minhas conquistas. Minha avó sempre foi literalmente uma segunda mãe, muito por conta de morar no mesmo prédio que o meu. Ela estava presente em toda minha caminhada e dia a dia e sempre me mostrou a importância de fazer o bem ao próximo.

À minha namorada, Luiza Alonso, que sempre me apoiou e me mostrou que dias e fases ruins são normais, mas que dias melhores virão e que tudo acontecerá e dará certo segundo a vontade de Deus. Diversos dias tiveram que serem dedicados aos estudos e ela sempre me apoiou.

Sou muito grato por a ter conhecido e pela sorte que tenho de tê-la ao meu lado. Poder vê-las e passar um tempo com ela aos finais de semana, mesmo que rápido, sempre foram um combustível a mais para me esforçar nos momentos de estudo.

Quero agradecer também a empresa Clima Top que estagiei e me auxiliou nesse projeto, seja com informações ou até mesmo algumas explicações, além de que contribuíram para a escolha do meu tema.

E não podia deixar de agradecer a empresa Argentera Oil & Gas a qual estou estagiando atualmente e aprendendo cada dia mais. Agradecer principalmente a meus chefes que sempre me apoiaram, incentivaram e me auxiliaram de todas as formas para que eu concluísse esse projeto.

Além das pessoas citadas, devo um enorme agradecimento aos meus amigos, principalmente os do Santo Inácio (escola que estudei minha vida toda e me formei). Estar com eles aos finais de semana sempre foi minha válvula de escape para aguentar semanas cansativas. Me sinto bem ao lado deles e até hoje não os ter na minha rotina diária como na época da escola me faz uma falta absurda.

Agradecer também a Pontifícia Universidade Católica, instituição ao qual tive o privilégio de estudar, onde pude a cada aula nova aprender mais durante todos esses anos, adquirindo conhecimento necessário para me tornar um bom profissional e dessa forma estar cada vez mais perto do meu sonho de se tornar engenheiro.

Por último, mas não menos importante, gostaria de agradecer a todas as pessoas que, de alguma maneira, me influenciaram e auxiliaram a chegar nesse momento tão especial. Sei que devo a todos e espero, com toda a sinceridade, ter a oportunidade de um dia retribuí-los.

RESUMO

Projeto de Climatização de um Ambiente Hospitalar (Clínica Ortopédica Arêas)

Este projeto consiste nos cálculos de carga térmica e posteriormente o dimensionamento e escolha de equipamentos de refrigeração e dutos para um ambiente hospitalar fictício, chamado de clínica ortopédica Arêas. Serão levando em conta todos os cuidados por se tratar de um local de combate às doenças e devido a isso apresentar requisitos mais rígidos de segurança.

Tendo como principal objetivo assegurar conforto térmico e segurança segundo as normas hospitalares específicas, principalmente a NBR 7256 e NBR 16401, voltadas para renovação e filtragem de ar. Também foram usados como referência livros e pesquisas voltados ao cálculo de carga térmica para ar-condicionado.

Ao final, foi determinado o dimensionamento adequado dos sistemas de refrigeração, resultando em aparelhos de split (aparentes e pito tetos), além de splits hospitalares e caixa ventiladora, todos escolhidos de forma atender todos os requisitos técnicos, de segurança e bem-estar. Dutos de chapa de aço com sessões retangulares também foram selecionados para o transporte do ar dentro da clínica.

Palavras-Chave

Carga térmica, refrigeração, dimensionamento, ambiente hospitalar.

ABSTRACT

Air conditioning project for a hospital environment (Clínica Ortopédica Arêas)

This project consists of thermal load calculations and then the sizing and choice of cooling equipment and ducts for a fictitious hospital environment, called the Arêas orthopedic clinic. All precautions will be taken into account as it is a place where diseases are fought and therefore has stricter safety requirements.

The main objective was to ensure thermal comfort and safety in accordance with specific hospital standards, especially NBR 7256 and NBR 16401, which deal with air renewal and filtration. Books and research on calculating the thermal load for air conditioning were also used as references.

In the end, the appropriate sizing of the cooling systems was determined, resulting in split units (exposed and ceiling-mounted), as well as hospital splits and ventilation boxes, all chosen to meet all the technical, safety and well-being requirements. Steel ducts with rectangular sections were also selected to transport the air inside the clinic.

Keyword

Thermal load, refrigeration, sizing, hospital environment.

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	22
1.1	Objetivos.....	22
1.1.1	Objetivo Geral.....	22
1.1.2	Objetivos Específicos.....	13
1.2	Justificativa da pesquisa.....	13
1.3	Organização do trabalho.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1	Conceitos de ar-condicionado.....	16
2.2	Importância do dimensionamento adequado.....	17
2.3	Normas e regulamentações aplicáveis.....	18
2.4	Requisitos específicos para ambientes hospitalares.....	19
3	Metodologia.....	21
4	MECANISMO DE TROCA DE CALOR.....	24
4.1	. Carga Térmica.....	24
4.2	Tipos de ganho de calor: sensíveis e latentes.....	25
4.3	Conforto Térmico.....	25
5	CICLO DE REFRIGERAÇÃO.....	26
5.1	Sistema de Ar-Condicionado.....	26
5.2	Filtros segundo a NBR 16101.....	27
5.3	Cuidados com Renovação de Ar em Ambientes Hospitalares.....	28
6	PROCEDIMENTOS DE CÁLCULOS.....	29
6.1	Cálculos iniciais.....	29
6.2	Cálculos de cargas térmicas.....	31
6.2.1	Cálculo do Coeficiente global.....	31
6.2.2	Cálculo da Carga térmica na Parede (condução e convecção): 36	
6.2.3	Cálculo de carga térmica por insolação:.....	38
6.2.3.1	Carga térmica de radiação seguindo Stefan Boltmann.....	38
6.2.3.2	Carga térmica de radiação simplificada.....	40
6.2.4	Cálculo do Calor de Iluminação e Equipamentos:.....	41
6.2.5	Cálculo do Calor de Pessoas:.....	42
6.2.6	Cálculo da Vazão de Ar Necessária pelas renovações:.....	43
6.2.7	Cálculo da carga pela entrada de Ar externo:.....	44

6.2.8	Cálculo da Carga térmica total:	46
6.3	Vazão Necessária para troca de Calor por equipamento	47
7	SELEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS.....	50
7.1	Escolha do Splits.....	50
7.1.1	Splits Aparentes.....	51
7.1.2	Splits Hospitalar.....	51
7.2	Seleção das Caixas Ventiladoras.....	52
7.3	Dimensionamento dos Dutos	52
7.4	Uso do software para validação dos resultados.....	56
7.5	Seleção dos Dutos	58
7.6	Seleção de Difusores, veneziana e válvula de disco	59
7.7	Seleção de Exaustores	60
7.8	Planta finalizada.....	60
8	INSTALAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E OS CUIDADOS PÓS	61
8.1	Manutenção e Monitoramento	61
8.2	Testes de Desempenho	62
8.3	Treinamento da Equipe	62
9	CONCLUSÃO.....	63

Lista de Figuras

Figura 1- Planta Baixa da Clínica	21
Figura 2 - Ciclo de refrigeração	26
Figura 3- Apresentação da parede de referência (imagem ilustrativa)	32
Figura 4 - Dimensões do tijolo em centímetros (imagem ilustrativa)	32
Figura 5 - Tabela de densidade, condutividade térmica e calor específico. Extraído da ABNT 135.07-001/2.....	33
Figura 6 - Tabela de Resistência superficial interna e externa. Extraído da ABNT 135.07-001/2.....	35
Figura 7- Esquema representativo transferência de calor em uma parede plana (extraído do Livro Incropera, página 72).....	36
Figura 8 - Circuito elétrico representativo para o esquema de condução e convecção	36
Figura 9 -Circuito elétrico representativo para o esquema de condução, convecção e radiação	38
Figura 10 - Processo de absorção, reflexão e transmissão associados a um meio semitransparente (Extraído do Incropera, página 511).....	40
Figura 11 - Tabela de acréscimo de temperatura. Extraído do livro do Hélio Creder	41
Figura 12 - Tabela de valores do calor sensível e latente em pessoas. Extraído da NBR-16401	42
Figura 13 - Exemplo de caixa Ventiladora com filtro G4 + M5.....	52
Figura 14 - Exemplificação da tabela de correlação entre porcentagem caudal e coeficiente de área conducto	55
Figura 15 - Interface do software DesingTools com os resultados obtidos	57
Figura 16 - Planta da clínica com todos os equipamentos	60

Lista de Tabelas

Tabela 1- Dados iniciais	29
Tabela 2 -Valores das áreas das paredes	30
Tabela 3 - Equipamentos e ocupação de pessoas para cada ambiente ..	31
Tabela 4 - Valores de vazão segundo as renovações	44
Tabela 5 - Carga térmica da entrada de ar exterior	46
Tabela 6 - Valores de carga térmica dos ambientes	47
Tabela 7 - Valores de vazão necessárias para troca de calor	48
Tabela 8 - Valores das constantes.....	48
Tabela 9 - Valores de vazão pela troca de calor balanceada	49
Tabela 10 - Dados iniciais do cálculo e seus resultados	53
Tabela 11 - Valores das vazões do ramal e porcentagem caudal.....	54
Tabela 12 - Valores das porcentagens calculada e seus respectivos coeficiente e área	55
Tabela 13 - Resultado do dimensionamento dos Dutos	56
Tabela 14 - Seleção dos dutos	58

Lista de Símbolos

R = Resistência ($\frac{m^2 K}{W}$)

e = Espessura (cm)

λ = Condutividade térmica ($\frac{W}{m \cdot K}$)

A = Área (m^2)

Q ou q = Quantidade de calor (W)

U = Coeficiente global ($\frac{W}{m^2 K}$)

T_{int} = Temperatura ambiente interno (°C)

T_{ext} = Temperatura ambiente externo (°C)

$T_{sup_{ext}}$ = Temperatura superficial externa (°C)

h_{ext} = Coeficiente de convecção externo

h_{int} = Coeficiente de convecção interno

I = Irradiação solar ($\frac{W}{m^2}$)

α = Coeficiente de absorção

ε = Emissividade do corpo

σ = Constante de Stefan-Boltzmann ($\frac{W}{m^2 K^4}$)

Δt = Acréscimo de temperatura pelo sol (°C)

$\rho = \text{Densidade do ar } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$

$c = \text{Calor específico } \left(\frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{C}^\circ}\right)$

$W = \text{Umidade específica do ar } (\%)$

$V = \text{Vazão } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \text{ ou } \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$

$\text{Vel} = \text{velocidade } \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$

$alt_{duto} = \text{Altura do duto (m)}$

$L_{duto} = \text{Largura do duto (m)}$

$Cv = \text{Coeficiente conducto}$

1 INTRODUÇÃO

O dimensionamento de sistemas de ar-condicionado para ambientes hospitalares é uma tarefa complexa e essencial para garantir o conforto térmico e a qualidade do ar, sendo esses fatores críticos para a saúde e bem-estar de pacientes, funcionários e visitantes. A climatização em hospitais deve atender não apenas às necessidades de conforto térmico, mas também cumprir rigorosos padrões de controle de contaminação, uma vez que sistemas inadequados podem se tornar fontes de disseminação de agentes patogênicos.

No Brasil, o clima quente e úmido de muitas regiões, como o Rio de Janeiro, aumenta a demanda por sistemas eficientes de refrigeração. Serão então projetados equipamentos e dutos para atender um hospital fictício (criado exclusivamente para o projeto com o nome de clínica Ortopédica Arêas), que usa como referência um já existente localizado na Taquara, Rio de Janeiro.

Para o desenvolvimento dele utilizaremos instruções e recomendações vinda de manuais de empresas mundialmente conhecidas como CARRIER e ASHRAE, além normas da ABNT.

A planta baixa do hospital fornecida servirá como base para a estimativa das dimensões das janelas, portas e paredes, facilitando a realização dos cálculos necessários.

Assim, esse projeto inclui a análise da carga térmica baseada em fatores como a orientação solar, materiais de construção, ocupação dos ambientes e equipamentos lá presentes, entre outros aspectos. A partir dessa análise e de cálculos, selecionaremos os equipamentos de refrigeração mais adequados. Dimensionaremos também os dutos de ar para garantir a distribuição eficiente e equilibrada do ar-condicionado em todo o hospital.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é calcular a carga térmica levando em conta a localização, pessoas, horário de funcionamento, iluminação, equipamentos,

condução, convecção e radiação e respeitando as normas de saúde e ambientais de circulação de ar e assim dimensionar e selecionar os devidos ares-condicionados que atendam as solicitações técnicas, garantam o conforto e segurança dos pacientes e profissionais de saúde e visitantes e que sejam economicamente viáveis para um ambiente hospitalar.

1.1.2 Objetivos Específicos

Avaliar as necessidades térmicas específicas de diferentes áreas hospitalares, identificando as variações na demanda térmica causadas por equipamentos médicos, presença de pacientes e outras atividades realizadas em cada setor do hospital.

Examinar as normas e regulamentações vigentes, analisando as diretrizes estabelecidas por órgãos competentes, como ANVISA e ABNT, para garantir a conformidade dos sistemas de climatização com os requisitos de segurança e qualidade do ar interior.

Desenvolver um plano de manutenção preventiva, propondo um plano detalhado de manutenção para sistemas de ar-condicionado em ambientes hospitalares, visando garantir o bom funcionamento dos equipamentos e a qualidade do ar interior.

1.2 Justificativa da pesquisa

A falta de um sistema de ar-condicionado eficiente em um ambiente hospitalar pode acarretar diversos impactos negativos, como o aumento do risco de proliferação de bactérias e fungos. Já a falta de controle da temperatura e umidade favorecem a multiplicação desses agentes patogênicos, colocando em risco a saúde dos pacientes e profissionais de saúde (TEIXEIRA, 2021).

No dimensionamento do sistema de ar-condicionado em ambientes hospitalares, é essencial seguir normas e regulamentações específicas que visam garantir a segurança e o bem-estar de todos os envolvidos. Normas como a NBR 16401 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelecem requisitos mínimos para o funcionamento dos sistemas de climatização em

estabelecimentos assistenciais de saúde, visando prevenir riscos à saúde dos ocupantes (VALVERDE, 2016).

Equipamentos com filtros com seus respectivos graus são recomendados para garantir a qualidade do ar interno, retendo partículas finas e micro-organismos nocivos. Dessa forma, investir em um sistema de climatização eficiente não apenas promove o conforto térmico no ambiente hospitalar, mas também contribui para a segurança dos indivíduos ali presentes (GUTERRES, 2019).

Quando se trata de um ambiente hospitalar que deve ser refrigerado, diversos desafios precisam ser enfrentados. É necessário considerar variáveis como o número de leitos existentes no local, o fluxo constante de pessoas circulando pelo ambiente e os equipamentos médicos presentes nas instalações. Aspectos como isolamento térmico das paredes e janelas devem ser levados em conta para garantir uma climatização eficaz e uniforme em todo o espaço hospitalar (GOMES, 2021).

Assim, o projeto reunirá todas as informações importantes e necessárias para a escolha dos devidos equipamentos de refrigeração, identificando e explicando as normas a serem exigidas, além de demonstração de cada etapa dos cálculos tanto de carga térmica quanto do dimensionamento dos dutos, de forma a se adequar as condições reais e necessárias para operação de um ambiente hospitalar. Esse estudo poderá gerar um exemplo prático e orientações claras para projetos futuros, reduzindo o risco de falhas nos sistemas de climatização hospitalar.

1.3 Organização do trabalho

O desenvolvimento do projeto de dimensionamento de ar-condicionado para a Clínica fictícia “Arêas” seguiu uma metodologia rigorosa e estruturada, fundamentada nas normas técnicas vigentes e em manuais de referência da indústria de climatização.

O presente trabalho será constituído por capítulos que visam detalhar todo o processo de desenvolvimento dos cálculos de carga térmica e no dimensionamento e escolha dos equipamentos. Nos parágrafos adiante, o escopo de cada capítulo será brevemente apresentado.

O capítulo 1 se resume à descrição do que este projeto propõe e o motivo para a escolha deste tema. Pretende-se nesta seção, apresentar ao leitor os objetivos e as razões que me levaram a explorar esse assunto.

No capítulo 3 será feito uma revisão de conceitos necessários para o entendimento e desenvolvimento do projeto. Abordando assuntos tanto ligados a refrigeração e as normas que serão necessárias atender. Estas revisões teóricas vão fornecer a base necessária para compreender os aspectos técnicos e normativos envolvidos no dimensionamento de um sistema de ar-condicionado eficiente e seguro para ambientes hospitalares.

Durante o capítulo 4 aborda-se sobre troca de calor, citando e explicando os mecanismos de trocas, os tipos de calor além de discursar sobre carga térmica e o que influência na hora de calculá-la.

O capítulo 5 irá contextualizar como é um ciclo de refrigeração e abordar mais sobre os equipamentos de refrigeração e suas renovações e filtrações a serem seguidas segundo as normas.

No capítulo 6 será exposto os dados iniciais para os cálculos e apontado todas as normas técnicas importantes para a realização do projeto.

No capítulo 7 será passado todas as etapas que foram realizadas para o cálculo da carga térmica e quais foram seus respectivos resultados.

O capítulo 8 terá como objetivo indicar e esclarecer as escolhas dos equipamentos após o término e resultado de todos os cálculos do capítulo anterior. Além de explicar como foi feito o dimensionamento e escolha dos dutos a serem utilizados.

No 9, e penúltimo capítulo, será apresentado as medidas e cuidados que devem ser tomados na instalação e os procedimentos adotados posteriormente para o bom funcionamento dos equipamentos.

Por fim, no capítulo 10, uma conclusão será escrita com o intuito de ressaltar os principais pontos abordados durante a elaboração deste projeto e os resultados obtidos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No contexto hospitalar, existem diferentes tecnologias disponíveis para o sistema de ar-condicionado, como os splits, os sistemas VRF (Volume de Refrigerante Variável), os chillers e fancoils. Cada uma dessas tecnologias apresenta vantagens e desvantagens específicas, devendo ser escolhida com base nas necessidades e características do ambiente hospitalar. A seleção adequada da tecnologia contribui para a eficiência energética do sistema, reduzindo os custos operacionais e garantindo o conforto térmico dos ocupantes (PEREIRA, MACHADO, MOREIRA, CANÇADO, 2023).

A manutenção preventiva do sistema de ar-condicionado em hospitais é essencial para assegurar o bom funcionamento dos equipamentos e a qualidade do ar interno. A falta de manutenção adequada pode resultar em problemas como falhas no sistema, aumento nos custos operacionais e riscos à saúde dos ocupantes. É essencial realizar inspeções periódicas e intervenções corretivas quando necessário, visando garantir a eficiência operacional e a segurança do ambiente hospitalar (MORENO, 2017).

Por isso, é essencial realizar um dimensionamento correto do sistema levando em consideração as necessidades específicas do ambiente hospitalar, visando evitar problemas futuros que possam comprometer o bem-estar dos usuários (SANTOS, 2017).

Estudos de caso e pesquisas têm demonstrado a importância do dimensionamento correto do sistema de ar-condicionado em ambientes hospitalares na melhoria da qualidade do atendimento aos pacientes e na redução dos riscos à saúde. Essas evidências reforçam a necessidade de investir em sistemas eficientes que sejam capazes de proporcionar condições ideais de conforto térmico e qualidade do ar no ambiente hospitalar.

2.1 Conceitos de ar-condicionado

Atualmente existe diversos tipos e modelos de ar-condicionado cada um atendendo para uma específica ocasião e necessidade, seja ela para uso industrial ou doméstico. São 7 tipos predominantes sendo eles: Piso Teto, Split Hi-Wall, Split

Inverter, Split Cassete, ACJ (ar-condicionado de janela), Dutados, Chiller, VRF (multi split). A escolha do modelo para determinada situação ocorre perante a alguns cálculos e de acordo com os requisitos e especificidades do local que será instalado.

"Dentre as tecnologias mais indicadas para o sistema de ar-condicionado em hospitais estão os filtros especiais para purificação do ar. Esses filtros são capazes de reter partículas nocivas presentes no ar, contribuindo para a melhoria da qualidade do ar interior. Além disso, sistemas automatizados de controle da temperatura e umidade são fundamentais para garantir condições ideais no ambiente hospitalar, proporcionando conforto aos ocupantes e facilitando a manutenção das condições climáticas adequadas" (Teixeira, 2021, p. 45).

2.2 Importância do dimensionamento adequado

Realizar um estudo detalhado das demandas térmicas e de ventilação antes de dimensionar o sistema de ar-condicionado em um ambiente hospitalar é uma etapa essencial para garantir sua eficiência e adequação às necessidades específicas desse tipo de espaço

A escolha correta dos equipamentos e materiais utilizados no sistema de ar-condicionado é essencial para garantir sua eficiência energética e durabilidade em um ambiente hospitalar. Optar por tecnologias sustentáveis e equipamentos com alto desempenho contribui não apenas para reduzir os custos operacionais, mas também para promover a sustentabilidade ambiental da instituição. Além disso, materiais resistentes à corrosão e ao desgaste são fundamentais para garantir a durabilidade do sistema ao longo do tempo, evitando falhas prematuras e custos adicionais com manutenção (PAJOLLA, 2023).

Os benefícios proporcionados por um dimensionamento adequado do sistema de ar-condicionado em um ambiente hospitalar são significativos e impactam diretamente na qualidade do atendimento aos pacientes e na produtividade dos profissionais de saúde. Um ambiente climatizado adequadamente contribui para o conforto dos pacientes durante sua estadia no hospital, favorecendo sua recuperação e bem-estar. Além disso, profissionais que trabalham em ambientes climatizados tendem a ser mais produtivos e apresentam

menor índice de fadiga, resultando em uma melhoria significativa na qualidade dos serviços prestados.

As normas técnicas e legislações vigentes que regulamentam o dimensionamento do sistema de ar-condicionado em ambientes hospitalares são essenciais para garantir a segurança e o bem-estar de todos os envolvidos nesse tipo de espaço. O cumprimento dessas diretrizes é essencial para assegurar que as instalações estejam em conformidade com padrões estabelecidos pela legislação vigente, visando proteger a saúde pública e prevenir riscos à segurança dos usuários. Portanto, seguir as normas técnicas pertinentes ao dimensionamento do sistema de ar-condicionado é uma medida indispensável para garantir a qualidade ambiental nos hospitais e promover ambientes saudáveis para os todos que estarão ali presentes.

2.3 Normas e regulamentações aplicáveis

As normas da ABNT que regulamentam o dimensionamento de sistemas de ar-condicionado em ambientes hospitalares são fundamentais para garantir a qualidade do ar e o conforto térmico dos pacientes e profissionais de saúde. A norma ABNT NBR 16401-3 estabelece os requisitos mínimos para sistemas de climatização em hospitais, considerando aspectos como temperatura, umidade, renovação do ar e filtragem. É essencial que os projetos de ar-condicionado sigam as diretrizes dessa norma para assegurar um ambiente saudável e seguro.

O não cumprimento das normas pode acarretar problemas de saúde, como proliferação de bactérias e fungos, além de comprometer a eficiência do sistema de ar-condicionado. É imprescindível que os profissionais responsáveis pelo dimensionamento dos sistemas estejam atualizados e em conformidade com as normas estabelecidas.

Normas específicas para controle de temperatura, umidade e renovação do ar em ambientes hospitalares são determinantes para garantir a qualidade do ar interior. A temperatura deve ser mantida dentro dos limites estabelecidos pela ABNT, evitando variações bruscas que possam prejudicar os pacientes. A umidade relativa do ar deve ser controlada para prevenir a proliferação de microrganismos

nocivos à saúde. A renovação do ar também é importante para manter a qualidade do ambiente hospitalar.

As diretrizes da ANVISA relacionadas à qualidade do ar em hospitais são cruciais para garantir a segurança dos pacientes e profissionais de saúde. A qualidade do ar interior está diretamente ligada à prevenção de infecções hospitalar.

O engenheiro responsável pelo projeto tem a responsabilidade de garantir que todas as normas e regulamentações aplicáveis sejam seguidas durante o dimensionamento do sistema de ar-condicionado. Ele deve estar ciente das exigências legais e técnicas relacionadas à climatização em ambientes hospitalares, buscando sempre atender aos padrões estabelecidos pelas entidades reguladoras.

2.4 Requisitos específicos para ambientes hospitalares

A variação excessiva de temperatura pode influenciar na proliferação de micro-organismos patogênicos. Da mesma forma, a umidade inadequada pode causar desconforto respiratório e irritação nos olhos, prejudicando a qualidade do ar interior. É essencial que os sistemas de ar-condicionado sejam dimensionados de forma a manter esses parâmetros dentro dos níveis recomendados pela literatura especializada.

As normas e regulamentações específicas que devem ser seguidas no dimensionamento do sistema de ar-condicionado em hospitais têm como objetivo principal garantir a segurança e saúde dos pacientes e profissionais de saúde. Diversos órgãos reguladores estabelecem diretrizes para a climatização de ambientes hospitalares, incluindo requisitos mínimos de renovação do ar, controle da qualidade do ar interior e manutenção preventiva dos equipamentos. O não cumprimento dessas normas pode acarretar penalidades legais para as instituições responsáveis.

Dentro de um hospital, diferentes áreas podem apresentar requisitos específicos de climatização, como salas cirúrgicas, UTIs, centros de imagem e farmácias. Cada uma dessas áreas possui demandas térmicas distintas, que devem ser atendidas pelo sistema de ar-condicionado para garantir o conforto dos ocupantes e a eficácia das atividades realizadas. É importante considerar as taxas

de renovação do ar em cada ambiente, visando à prevenção da contaminação cruzada entre os espaços.

No mercado há diversas tecnologias que são diretamente aplicáveis em ambientes hospitalares tais como sistemas de ventilação mecânica controlada, unidades com recuperação de calor e sistemas de monitoramento da qualidade do ar. Essas tecnologias visam melhorar o desempenho energético dos sistemas, reduzir os custos operacionais e garantir um ambiente saudável para pacientes e profissionais de saúde. A escolha da tecnologia mais adequada deve levar em consideração as características específicas do ambiente e as necessidades dos usuários.

O dimensionamento do sistema de ar-condicionado em hospitais apresenta desafios únicos, como a necessidade de equilibrar o conforto térmico com a eficiência energética e os custos operacionais. É preciso considerar não apenas as demandas térmicas das diferentes áreas do hospital, mas também as restrições orçamentárias e ambientais na escolha dos equipamentos mais adequados. É essencial realizar estudos detalhados sobre o perfil de uso das instalações hospitalares para garantir que o sistema atenda às necessidades reais dos ocupantes sem desperdício energético ou comprometimento da qualidade do ar interior.

- **Manuais da Carrier e ASHRAE:** Fornecem diretrizes detalhadas para o cálculo da carga térmica e a seleção dos equipamentos.
- **GEM (Gerência de engenharia mecânica) 2002**
- **Resolução da Anvisa N° 9 2003**

A primeira etapa do projeto envolveu a coleta de dados essenciais para o dimensionamento do sistema de ar-condicionado. Esses dados incluem a localização geográfica do hospital, as condições climáticas da região (no verão e inverno), e as características específicas dos ambientes internos a serem climatizados, densidade e calor específico do ar.

Foi usado como referência para criação de nossa clínica fictícia o Hospital AMEP Jacarepaguá que está localizado na Estrada Marechal Miguel Salazar Mendes de Moraes, 254 - Taquara, Rio de Janeiro - RJ, com coordenadas geográficas aproximadas de latitude -22.9519 e longitude -43.3419.

A temperatura média anual da região é um dado crítico para os cálculos de carga térmica, sendo obtida através de registros meteorológicos locais. No verão a temperatura máxima foi de 38°C e no inverno de 22,3°C, segundo o Instituto de Meteorologia (INMET).

Através desses dados foi possível avançar nos cálculos e identificar a quantidade total de calor que precisa ser removida de cada ambiente. Foram seguidos os seguintes passos para análises e cálculos:

- **Calor de Condução** A condução de calor através das paredes, teto e janelas é influenciada pelas propriedades dos materiais de construção e pela diferença de temperatura entre o interior e o exterior do edifício. Utilizamos as equações de transferência de calor para calcular a carga de condução, levando em consideração os coeficientes de transferência de calor específicos para cada material envolvido.
- **Calor de Insolação** A radiação solar é uma fonte significativa de calor, especialmente em regiões com alta exposição solar como o Rio de Janeiro. Analisa-se a orientação do edifício, suas janelas e paredes para calcular o ganho de calor devido à insolação.
- **Calor de Iluminação** A iluminação interna contribui para a carga térmica de um ambiente. Foi calculado a carga térmica gerada pelas lâmpadas

fluorescentes e incandescentes presentes no hospital, incluindo o calor adicional gerado pelos reatores das lâmpadas fluorescentes.

- **Calor de Equipamentos** Os equipamentos eletrônicos e médicos são fontes importantes de calor. Identificado todos os equipamentos presentes em cada ambiente do hospital, obtendo suas especificações de potência foi possível calcular a carga térmica gerada por cada um.
- **Calor de Ocupantes** Os ocupantes de um ambiente também geram calor sensível e latente. Dados normativos sobre a quantidade de calor gerado por cada pessoa, dependendo do nível de atividade e do tempo de permanência no ambiente, foram utilizados para calcular a contribuição total dos ocupantes para a carga térmica.
- **Calor de Infiltração** Embora tenhamos considerado a criação de uma pressão positiva dentro do ambiente para assim podermos desconsiderar a infiltração de ar externo nos cálculos, é importante citar que na prática também há uma contribuição da parte dela para carga térmica, tendo a função de garantir que qualquer variação na pressão interna seja adequadamente compensada.
- **Calor de Renovação** A renovação de ar é crucial para manter a qualidade do ar interno, especialmente em ambientes hospitalares. Calcula-se a carga térmica associada à renovação de ar, assegurando que os sistemas de ar-condicionado sejam capazes de fornecer a quantidade necessária de ar externo para diluir e remover contaminantes.

Ao final com todos os resultados obtidos foi possível selecionar os equipamentos e dutos que atendessem através de informações contidas em seus manuais para que assim fosse possível a escolha de cada um de modo a atender o conforto térmica e preocupações quanto a renovações e filtrações.

4 MECANISMO DE TROCA DE CALOR

Existem 3 formas de troca de calor, sendo elas: condução, convecção e radiação.

- Condução é o processo de transferência de energia através de um meio material, sem transporte de matéria. A energia térmica se propaga de partícula para partícula do meio, sendo moléculas quando se trata de fluidos e de elétrons quando se trata de sólidos. Essa propagação vai sempre ocorrer da maior temperatura para menor.

- Convecção é a transferência de calor em um fluido (líquido ou gás) devido ao movimento do próprio fluido, seja induzido convecção natural (por diferenças de densidade) ou por convecção forçada (meios mecânicos como ventiladores e bombas).

- Radiação essa transferência de calor não precisa ter contato, é por meio de ondas eletromagnéticas que são capazes de propagar-se no vácuo, sendo ela um dos principais processos de transferência uma vez que todos os corpos que se encontrem em temperaturas acima do zero absoluto emitem radiação térmica.

4.1 . Carga Térmica

A carga térmica é a quantidade de calor sensível e latente, que deve ser retirada (resfriamento) ou colocada (aquecimento) no recinto a fim de proporcionar as condições de conforto desejada ou manter as condições ambientes adequadas para a conservação de um produto ou para realização de um processo de fabricação.

A carga térmica, normalmente, varia com o tempo, pois os fatores que nela influem (temperatura externa, insolação, número de pessoas, iluminação) irão variar ao longo do dia.

O ganho de calor que é transmitido para o ambiente é devido aos seguintes fatores:

- Radiação solar através de superfícies transparentes tais como vidros das janelas
- Condução de calor através das paredes externas e telhados
- Condução de calor através das paredes internas, divisórias, tetos e pisos

- Calor gerado dentro do ambiente pelos ocupantes, luzes, equipamentos, desenvolvimento de processos ou qualquer outra fonte geradora de calor
- Calor proveniente da ventilação (ar exterior) e infiltração de ar exterior

4.2 Tipos de ganho de calor: sensíveis e latentes.

O ganho de calor de um determinado ambiente devido a transmissão por radiação, condução ou convecção pode ser considerados sensível ou latente. A principal diferença entre eles é que no calor latente, o estado físico da substância é modificado, enquanto no calor sensível ele permanece o mesmo.

- **Calor Sensível:** Refere-se à quantidade de calor necessária para alterar a temperatura do ar sem alterar sua umidade. É influenciado por fatores como a condução de calor através das paredes, tetos e janelas, radiação solar, equipamentos elétricos, iluminação, e ocupação humana.

- **Calor Latente:** Refere-se à quantidade de calor necessária para alterar a umidade do ar sem alterar sua temperatura. Este componente é influenciado principalmente pela presença de pessoas e pela infiltração de ar úmido do ambiente externo.

4.3 Conforto Térmico

O conforto térmico é a condição na qual uma pessoa sente satisfação com o ambiente térmico. Segundo a ASHRAE Standard 55, ele é definido como "a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico". Vários fatores influenciam o conforto térmico, incluindo a temperatura do ar, a umidade relativa, a velocidade do ar, a radiação térmica, além de aspectos pessoais como a vestimenta e o nível de atividade física. Em ambientes hospitalares, garantir o conforto térmico é crucial para o bem-estar dos pacientes e a eficiência dos profissionais de saúde.

5 CICLO DE REFRIGERAÇÃO

O ciclo de refrigeração ou ciclo frigorífico é um ciclo termodinâmico que constitui o modelo matemático que define o funcionamento das máquinas frigoríficas. Ele pode ser dividido em 4 etapas: condensador, válvula de expansão, evaporadora e um compressor.

Basicamente o Compressor transforma o vapor que está em baixa pressão e temperatura em vapor quente em alta pressão. Ele está ligado ao condensador que irá rejeitar o calor para o ambiente e irá transformar o fluido de estado vapor em líquido. Após isso passará pela válvula de expansão onde as temperaturas baixas são alcançadas, transformando o fluido líquido que está em alta pressão e temperatura em baixa pressão e temperatura. Por último a evaporadora é onde ocorre a troca de calor entre o fluido e o ambiente, sendo responsável pelo resfriamento do ar. O calor absorvido nessa troca irá mudar o estado físico do fluido de líquido para vapor novamente.

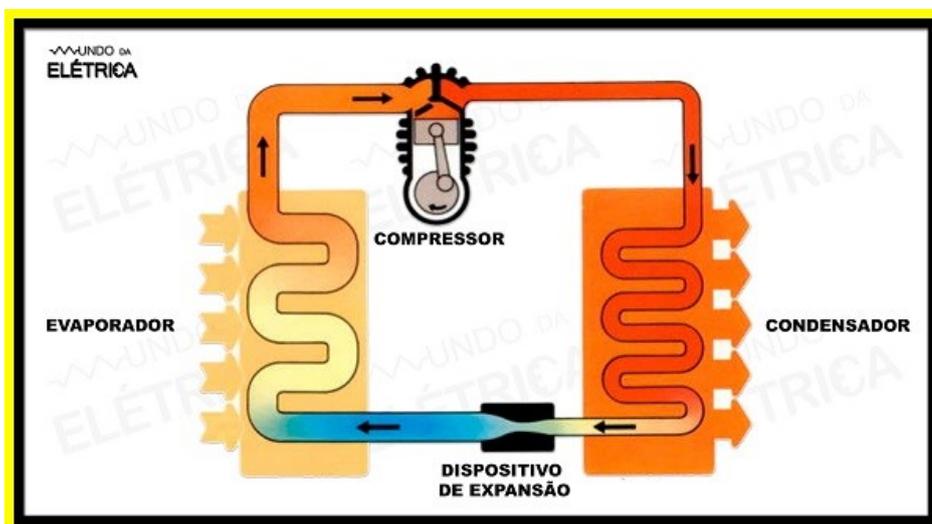


Figura 2 - Ciclo de refrigeração

5.1 Sistema de Ar-Condicionado

Os sistemas de ar-condicionado podem ser classificados em dois tipos principais: sistemas de expansão direta e sistemas de expansão indireta.

Nos sistemas de expansão direta, o próprio fluido refrigerante circula pelo ambiente para retirar o calor. Exemplos incluem aparelhos de janela e sistemas split.

Já nos sistemas de expansão indireta, um fluido intermediário, geralmente água, é utilizado para transferir o calor. Este tipo é comum em grandes edificações e utiliza chillers para resfriar a água, que é então circulada através de unidades de tratamento de ar (fan coils) distribuídas pelo edifício (CREDER, 2004).

5.2 Filtros segundo a NBR 16101

Classe Filtros grossos G1 G2, G3 e G4:

Os filtros de ar-condicionado da classe G são voltados a atingir partículas mais grossas de poeira, 1,0 ~ 3,0 μ eficiência média em função da faixa de partículas < 50% (um micron é um milionésimo de metro). A produção desse tipo de filtro ocorre a partir de arames metálicos, fibra de vidro ou fibras sintéticas.

Esse tipo de produto conta com diversas formas de uso, seja do tipo manta, emoldurado (plano ou plissado) ou multi-bolsas. Assim, é o equipamento mais adequado para sistemas nos quais existem trocadores de calor ou serpentinas. Ele reforça a proteção contra o ingresso de sujeiras que podem comprometer o desempenho do sistema como um todo.

Classe Filtros médios M5 e M6:

Os filtros de ar-condicionado da classe M abrangem os equipamentos que conseguem bloquear partículas acima de um micron. Essa classe de filtro possui um grau de eficiência na chamada faixa sub-micrômica, utilizados em centrais de ar-condicionado HVAC. Esse tipo de produto é ideal para a instalação após o ventilador de insuflamento. Ou seja, de modo intermediário dentro do sistema.

Classe Filtros F7, F8 e F9.

Essas classes de filtros para ar-condicionado filtram partículas muito pequenas. Assim, podem ser inseridos em sistemas de ar-condicionado ou caixas terminais. Apesar do seu elevado desempenho, são compostos de microfibras de

vidro, e por isso, são mais frágeis. Os filtros de ar-condicionado dessa categoria possuem eficiência de 85 ~ 95% para partículas 0,3 ~ 1,0 μ . Normalmente, esses filtros têm a proteção de um pré-filtro da classe G, que consegue capturar partículas mais grossas de poeira.

5.3 Cuidados com Renovação de Ar em Ambientes Hospitalares

A renovação de ar em ambientes hospitalares é uma medida crítica para a manutenção da qualidade do ar interno. A ventilação adequada ajuda a diluir e remover contaminantes, incluindo patógenos transportados pelo ar, produtos químicos e partículas. Normas como a NBR 7256 da ABNT estabelecem requisitos mínimos para a renovação de ar, garantindo que os sistemas de ar-condicionado forneçam ar limpo e suficiente para manter a saúde e segurança dos ocupantes.

A falta de renovação adequada pode levar à concentração de contaminantes, aumentando o risco de infecções e outros problemas de saúde (NBR 7256 – Tratamento de ar na saúde).

6 PROCEDIMENTOS DE CÁLCULOS

6.1 Cálculos iniciais

Foram feitos alguns cálculos iniciais que serão primordiais para os demais.

A área de cada ambiente foi um deles. A partir das dimensões da planta do edifício, determinou-se a área de cada ambiente.

Logo em seguida pode ser calculado o volume multiplicando a área de cada região por 3 metros (altura adotada com base ao padrão arquitetônico comum).

Tabela 1- Dados iniciais

Ambientes	Área (m ²)	Volume (m ³)	Temperatura Ambientes (°C)
Recepção	80,32	240,96	22
Área de registro de pacientes	25,95	77,85	22
Laudó	5,51	16,53	22
Comando	5,55	16,65	22
Circulação de Pacientes	53,5	160,5	22
Comando Raio X	1,73	5,19	22
Digital Raio X	1,62	4,86	22
Banheiro Raio X	1,5	4,5	22
Enfermaria Pediátrica	8,38	25,14	22
Repouso da emergência	25,41	76,23	22
Copa	13,97	41,91	22
Lavagem de Louças	5,25	15,75	22
Circulação de Serviço 1	14,82	44,46	22
Depósito de alimentos	7,18	21,54	22
Consultório 02	9,27	27,81	22
Banheiro consultório 02	2,69	8,07	22
Posto de coleta	9,36	28,08	22
Ortopedia	12,35	37,05	22
Sala do Gesso	7,49	22,47	22
Consultorio de Pediatria	9,56	28,68	22
Banheiro Pediatria	2,63	7,89	22
Circulação de Serviço 2	5,91	17,73	22
Banheiro Circulação de Serviço	1,97	5,91	22
Banheiro repouso da emergência	2,4	7,2	22
Nutricionista	4,9	14,7	22
Raio X	16,4	49,2	22
Circulação 3	11,07	33,21	22
Banheiro Circulação 3	2,21	6,63	22
Refeitório	13,84	41,52	22
Banheiro M Recepção	1,97	5,91	22
Banheiro F Recepção	1,82	5,46	22
Depósito	2,96	8,88	22
Banheiro Registro de Pacientes	3,12	9,36	22
Telefonista	2,86	8,58	22
Amostra	2,67	8,01	22
Expurgo	2,16	6,48	22

Calculamos também a área de cada parede externa, sendo ela localizada no Sul, Leste, Oeste ou Norte.

Tabela 2 -Valores das áreas das paredes

Ambientes	Área parede (m ²) Face Sul	Área parede (m ²) Face Leste	Área parede (m ²) Face Oeste	Área parede (m ²) Face Norte
Recepção	28,83	2,28	29,88	
Área de registro de pacientes	16,35			
Laudó	6,93			
Comando	6,93	7,2		
Circulação de Pacientes	32,01	5,7		
Comando Raio X	3,9	3,75		
Digital Raio X	3,9			
Banheiro Raio X	3,6		3,75	
Enfermaria Pediátrica	7,29	9,75		
Repouso da emergência	7,2	5,1		20,22
Copa			7,35	16,8
Lavagem de Louças				6,3
Circulação de Serviço 1		7,35		4,5
Depósito de alimentos				8,61
Consultório 02				7,71
Banheiro consultório 02				4,35
Posto de coleta				7,8
Ortopedia				10,35
Sala do Gesso				4,05
Consultório de Pediatria				8,1
Banheiro Pediatria				4,5
Circulação de Serviço 2				4,8
Banheiro Circulação de Serviço				3,6
Banheiro repouso da emergência		5,25		6,75
Nutricionista		7,35		
4 Raio X		4,65	12	
2 Circulação 3		5,1		
Banheiro Circulação 3		3,15		
Refeitório				
Banheiro M Recepção				
Banheiro F Recepção				
Depósito				
Banheiro Registro de Pacientes				
Telefonista				
Amostra				
Expurgo				

Foi feita uma consideração média de pessoas em cada ambiente. Através dessa quantidade de pessoas e a área de cada ambiente foi calculado a ocupação média de pessoas por metro quadrado.

Considerou-se a temperatura interna nos ambientes como 22°C, pois atenderia as normais exigentes da RDC50 da ANVISA e NRB 10507 e ao mesmo tempo ao conforto térmico.

Tabela 3 - Equipamentos e ocupação de pessoas para cada ambiente

Ambientes	Equipamentos presentes	25W x m ²		Ocupação	pessoas x m ²
			Iluminação (W)		
Recepção	4 televisões + 3 alto falante		2008	25	0,31125498
Área de registro de pacientes	3 computadores + 3 impressoras		648,75	12	0,462427746
Laudo	1 computador + 1 impressora		137,75	2	0,362976407
Comando	1 computador		138,75	2	0,36036036
Circulação de Pacientes		0	1337,5	12	0,224299065
Comando Raio X	1 computador		43,25	0,5	0,289017341
Digital Raio X		0	40,5	0,2	0,12345679
Banheiro Raio X		0	37,5	1	0,666666667
Enfermaria Pediátrica	2 Macas + Aparelhos 2 (?)		209,5	2	0,238663484
Repouso da emergência	1 computadores e 1 televisão		635,25	5	0,196772924
Copa	2 geladeira + 3 microndas		349,25	3	0,214745884
Lavagem de Louças		0	131,25	1	0,19047619
Circulação de Serviço 1		0	370,5	1	0,067476383
Depósito de alimentos	1 tv + 2 alto falante		179,5	2,5	0,348189415
Consultório 02	1 Televisão		231,75	3	0,323624595
Banheiro consultório 02		0	67,25	1	0,371747212
Posto de coleta	1 computadores + 1 impressoras		234	3	0,320512821
Ortopedia	1 computador		308,75	3	0,24291498
Sala do Gesso		0	187,25	2	0,267022697
Consultorio de Pediatria	1 computadores + 1 impressoras		239	3	0,313807531
Banheiro Pediatria		0	65,75	1	0,380228137
Circulação de Serviço 2		0	147,75	2,5	0,423011844
Banheiro Circulação de Serviço		0	49,25	2,5	1,269035533
Banheiro repouso da emergência		0	60	1	0,416666667
Nutricionista	1 computadores + 1 impressoras		122,5	2	0,408163265
Raio X	1 máquina		410	2	0,12195122
Circulação 3		0	276,75	5	0,451671183
Banheiro Circulação 3		0	55,25	1	0,452488688
Refeitório	1 tv		346	13	0,939306358
Banheiro M Recepção		0	49,25	1	0,507614213
Banheiro F Recepção		0	45,5	1	0,549450549
Depósito		0	74	1,2	0,405405405
Banheiro Registro de Pacientes		0	78	1	0,320512821
Telefonista	1 computador mãe		71,5	1	0,34965035
Amostra		0	66,75	0,5	0,187265918
Expurgo		0	54	2,5	1,157407407

Para facilitar a compreensão e a visualização correta dos resultados foi considerado algumas conversões:

$$1\text{kcal/h} = 1,163 \text{ W}$$

$$1 \text{ W} = 3,412 \text{ BTU/h}$$

$$12.000 \text{ BTU/h} = 1 \text{ TR}$$

6.2 Cálculos de cargas térmicas

6.2.1 Cálculo do Coeficiente global

Foi considerado que a parede da clínica é constituída de tijolos cerâmicos de 6 furos rebocados em ambas as faces. A largura do tijolo é de 19 cm, a altura de 14cm e a espessura 9cm. Ele pode ser representado pelas figuras abaixo:

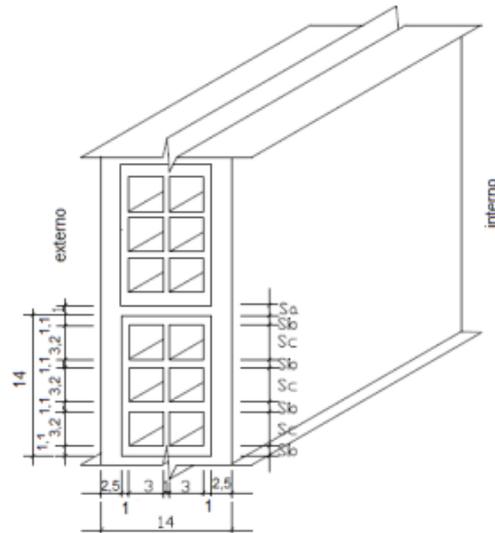


Figura 3- Apresentação da parede de referência (imagem ilustrativa)

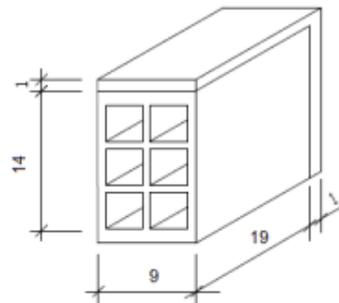


Figura 4 - Dimensões do tijolo em centímetros (imagem ilustrativa)

Fórmula da resistência térmica, onde λ é a condutividade térmica do material e e a espessura da parede:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Tabela B.3 — Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	C (kJ/(kg.K))
Argamassas			
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,70	0,84
argamassa celular	600-1000	0,40	1,00
Cerâmica			
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92
	1300-1600	0,90	0,92
	1600-1800	1,00	0,92
	1800-2000	1,05	0,92

Figura 5 - Tabela de densidade, condutividade térmica e calor específico. Extraído da ABNT 135.07-001/2

Usamos como valores para as condutividades de tijolos de cerâmica e argamassas comum, referenciados respectivamente abaixo:

$$\lambda = 0,9 \text{ e } \lambda = 1,15$$

Calculando a área e a resistência das sessões:

Sessão 1 – Tijolo (parte maciça horizontal)

$$R1 = \frac{0,09}{0,9} = 0,1$$

$$A1 = 0,011 * 0,19 = 0,00209$$

$$R1 = 0,1 \frac{m^2 K}{W}$$

$$A1 = 0,00209 m^2$$

Sessão 2 – Tijolo + Ar + Tijolo + Ar + Tijolo (parte maciça vertical)

$$R2 = R_{tijolo} + R_{ar} + R_{tijolo} + R_{ar} + R_{tijolo}$$

Sendo a resistência térmica do ar (R_{ar}) para um fluxo de calor horizontal igual a 0,16 seguindo a referência da ABNT 135.07-011.

$$R2 = \frac{0,09}{0,9} + 0,16 + \frac{0,09}{0,9} + 0,16 + \frac{0,09}{0,9} = 0,353$$

$$A2 = 0,032 * 0,19 = 0,0061$$

$$R2 = 0,353 \frac{m^2 K}{W}$$

$$A2 = 0,0061 m^2$$

Para calcularmos a resistência total do tijolo (Sessão 1 e 2 juntas) usamos a equação de resistência térmica para camadas não homogêneas e substituímos por esses valores encontrados:

$$Rt = \frac{4 * A1 + 3 * A2}{\frac{4 * A1}{R1} + \frac{3 * A2}{R2}} = 0,1968$$

$$\mathbf{Rt= 0,1968 \frac{m^2K}{w}}$$

Resistência sessão “a” (reboco + argamassa + reboco):

$$Ra = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,09}{0,9} + \frac{0,025}{1,15} = 0,1217$$

$$Aa = 0,01 * 0,19 + 0,01 * 0,15 = 0,0034$$

$$\mathbf{Aa= 0,0034 m^2}$$

$$\mathbf{Ra= 0,1217 \frac{m^2K}{w}}$$

Resistência sessão “b” (argamassa + tijolo + argamassa)

$$Rb = \frac{0,025}{1,15} + 0,1968 + \frac{0,025}{1,15} = 0,24$$

$$Ab = 0,14 * 0,19 = 0,0266$$

$$\mathbf{Rb= 0,24 \frac{m^2K}{w}}$$

$$\mathbf{Ab= 0,0266 m^2}$$

Para calcular a resistência total (a + b) usei novamente a equação de resistência térmica para camadas não homogêneas e os valores das novas sessões:

$$RT = \frac{4 * Aa + 3 * Ab}{\frac{4 * Aa}{Ra} + \frac{3 * Ab}{Rb}}$$

Então, substituindo os valores e realizando a conta chegamos a:

$$RT = \frac{4 * 0,0034 + 3 * 0,0266}{\frac{4 * 0,0034}{0,1217} + \frac{3 * 0,0266}{0,24}}$$

$$\mathbf{RT= 0,2162 \frac{m^2K}{w}}$$

No entanto, para calcularmos a resistência total na parede ainda precisamos incluir os valores das resistências térmica superficiais externas e internas. Esses valores podemos encontrar na ABNT 135.07-001/2, onde há uma tabela com valores médios recomendados já considerando fatores como emissividade, velocidade do ar sobre a superfície e temperaturas da superfície, do ar e superfícies próximas.

Tabela A.1 — Resistência térmica superficial interna e externa

R_{si} ($m^2.K$)/W			R_{se} ($m^2.K$)/W		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
⇒	— ↑	↓ —	⇒	— ↑	↓ —
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Figura 6 - Tabela de Resistência superficial interna e externa. Extraído da ABNT 135.07-001/2

Usaremos os valores para fluxos horizontais:

$$R_{sup_{ext}} = 0,04 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{sup_{int}} = 0,13 \frac{m^2 K}{W}$$

Como essas resistências térmicas expressam a troca de calor considerando convecção e radiação nas superfícies da parede, podemos calcular a resistência total na parede somando-os com a resistência (RT) calculada no passo anterior:

$$RT_{parede} = R_{sup_{ext}} + RT + R_{sup_{int}}$$

$$RT_{parede} = 0,13 + 0,2162 + 0,04 = 0,3862$$

$$RT_{parede} = 0,3862 \frac{m^2 K}{W}$$

Logo, conseguiremos calcular o coeficiente global de trocar de calor pela fórmula:

$$U = \frac{1}{RT_{parede}} = \frac{1}{0,3862} = 2,6$$

$$U = 2,6 \frac{W}{m^2K}$$

6.2.2 Cálculo da Carga térmica na Parede (condução e convecção):

Considerando uma parede plana como a do esquema representativo abaixo.

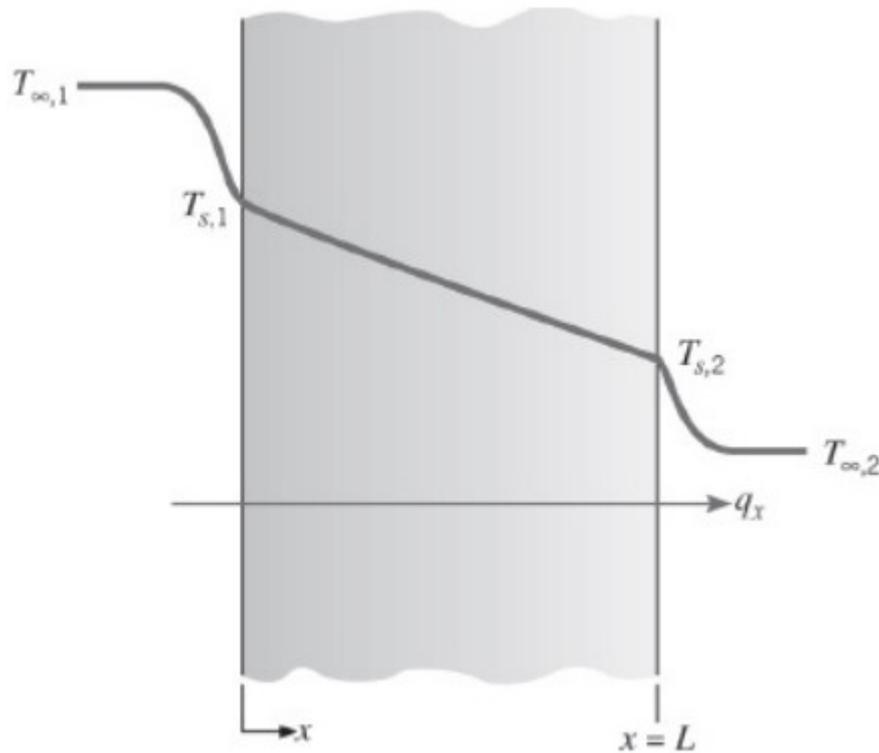


Figura 7- Esquema representativo transferência de calor em uma parede plana (extraído do Livro Incropera, página 72)

Para facilitar o entendimento e a solução dos cálculos, podemos interpretá-la como um circuito elétrico, representando abaixo:

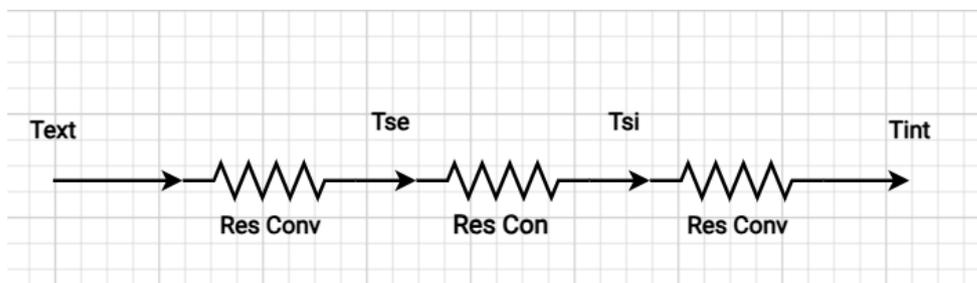


Figura 8 - Circuito elétrico representativo para o esquema de condução e convecção

No meio externo (T_1) haverá troca de calor por convecção, assim como no meio interno (T_2). Enquanto na parede haverá apenas condução.

Portanto, podemos escrever as trocas como:

$$q1 = h_{externo} * A * (Text - Ts1)$$

$$q2 = \frac{\lambda}{e} * A * (Ts1 - Ts2)$$

$$q3 = h_{interno} * A * (Ts2 - T2)$$

Onde $h_{externo}$ e $h_{interno}$ são os coeficientes de condutância térmica superficial externo e interno, respectivamente. Sendo:

$$R_{sup} = \frac{1}{h} \rightarrow h = \frac{1}{R_{sup}}$$

Além disso sabemos pelo passo anterior que:

$$R = \frac{\lambda}{e} \rightarrow \frac{e}{\lambda} = R$$

Por se tratar de um regime permanente sabe-se que:

$$Q = q1 = q2 = q3$$

Assim, fazendo a substituição dos coeficientes (nas equações de fluxo) pelas devidas resistências e considerando os pontos extremos da representação do circuito elétrico para fazermos os cálculos, chegamos a:

$$Q = \frac{1}{R_{sup_{ext}} + R + R_{sup_{int}}} * A * (T1 - T2)$$

Como:

$$RT_{parede} = R_{sup_{ext}} + RT + R_{sup_{int}}$$

E como vimos anteriormente:

$$U = \frac{1}{RT_{parede}}$$

Então, substituindo a soma do inverso das resistências por U e renomeando as temperaturas T1 e T2 como $Text$ e $Tint$, finalmente chegamos à:

$$Q = U * A * (Text - Tint)$$

$$Q = 2,6 * A * (38 - 22)$$

Onde a área (A) que foi usada nesse cálculo é referente a cada parede.

Obs: Como todos os ambientes internos estarão a 22° C, foi desconsiderada o calor de condução entre os meios internos já que não há um gradiente térmico significativo entre eles para resultar em fluxo de calor. Sendo assim, calculado apenas nas paredes com contato para o meio externo.

6.2.3 Cálculo de carga térmica por insolação:

Inclui a avaliação do ganho de calor através das janelas e superfícies opacas, utilizando fatores de insolação específicos para a localização e orientação do hospital. Para o nosso projeto, não há janelas, então sua influência será desconsiderada.

Devemos lembrar que essa carga térmica será aplicada apenas nas paredes sujeitas a insolação (leste, oeste e norte). Logo, nessas paredes a carga térmica será a soma da carga de radiação com a carga já calculada anteriormente de condução e convecção.

Serão demonstradas a seguir duas formas de cálculo de carga térmica de radiação. No nosso projeto iremos utilizar a primeira maneira, calculando através da equação de Stefan Boltzmann.

6.2.3.1 Carga térmica de radiação seguindo Stefan Boltzmann

Por essa forma, para facilitar dividi o cálculo em duas etapas: primeiro iremos encontrar a temperatura superficial externa para depois de fato encontramos o valor de carga térmica por radiação.

1. Cálculo da temperatura superficial:

Podemos usar o mesmo esquema de circuito elétrico usado anteriormente, porém acrescentando uma irradiação provinda do efeito do sol.

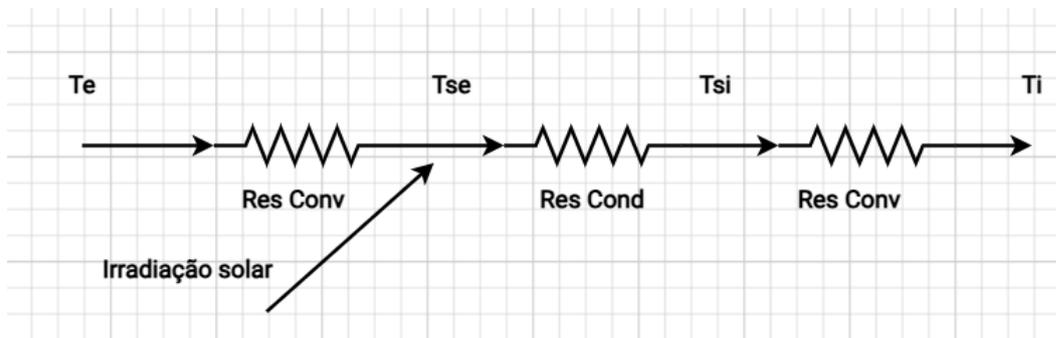


Figura 9 -Circuito elétrico representativo para o esquema de condução, convecção e radiação

Seguindo os mesmos princípios do cálculo anterior para convecção e condução, agora teremos uma interferência do sol.

Sendo também um regime permanente podemos comparar o fluxo de calor no ponto logo após a entrada da irradiação solar (q_1) e o fluxo de calor restante (q_2), dessa forma o balanço de energia fica:

$$q_1 = q_2$$

$$q_{convecção\ externa} + q_{radiação} = q_{condução} + q_{convecção\ interna}$$

$$\frac{T_e - T_{se}}{\frac{1}{h_e}} + q_{radiação} = \frac{T_{se} - T_i}{\frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_i}}$$

É possível substituir a carga térmica de radiação pela multiplicação da irradiação solar (I) pelo coeficiente de absorção (α).

$$q_{radiação} = I * \alpha$$

Além disso podemos substituir $\frac{1}{h_e}$ e $\frac{e}{\lambda}$ por R (como visto no passo 7.2.2), então, a equação com essas substituições ficará:

$$\frac{T - T_{se}}{R_{sup_{ext}}} + I * \alpha = \frac{T_{se} - T_i}{R_{parede} + R_{sup_{int}}}$$

Considerando a irradiação solar como $1000 \frac{W}{m^2}$, a fim de obtermos os valores para o pior cenário e o coeficiente de absorção do material (argamassa de cor intermediária, por exemplo cinza) como 0,6, temos todos os valores dessa equação, menos o da temperatura superficial externa (T_{se}), portanto resolvendo, descobriremos ela.

$$\frac{38 - T_{se}}{0,04} + 0,6 * 1000 = \frac{T_{se} - 22}{0,2162 + 0,13}$$

$$T_{se} = 57,86$$

Portanto esse será o valor da temperatura superficial externa em graus na condição mais desfavorável.

2. Cálculo da carga térmica por radiação:

Após isso, podemos passar para o cálculo da carga térmica de radiação. Faremos através da equação de Stefan Boltzmann, representado pela seguinte fórmula:

$$Q = \varepsilon * \sigma * A * (T_{sup_{ext}}^4 - T_{ext}^4)$$

Nessa equação, ε é a emissividade, σ é a constante de Stefan boltzmann ($5,6697 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$) e A a área da parede.

A temperatura $T_{sup_{ext}}$ será de 57,86°C, referente a superfície externa. e T_{ext} será 38°C, referente a temperatura do ambiente externo. É importante ressaltar que para aplicação na fórmula ambas as temperaturas precisam estar em Kelvin, sendo assim, é necessário a conversão (somando-se 273,15 ao valor).

No entanto, através desses cálculos chegaremos a uma carga térmica de radiação total, sendo ela uma soma da carga absorvida, com a refletida e a transmitida.

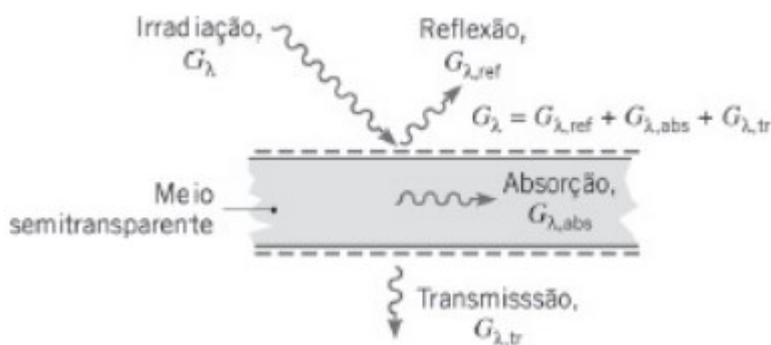


Figura 10 - Processo de absorção, reflexão e transmissão associados a um meio semitransparente (Extraído do Incropera, página 511)

É muito importante destacar que no nosso projeto devido à ausência de janelas não haverá transmissão, ou seja, parte da carga total será absorvida e parte refletida para o ambiente.

Como estamos buscando a que contribuirá para o aquecimento interno, logo, iremos considerar apenas a que será absorvida. Então, é necessário multiplicar essa equação pelo coeficiente de absorção (α).

$$Q = \alpha * \varepsilon * \sigma * A * (T_{sup_{ext}}^4 - T_{ext}^4)$$

Assim, considerando a emissividade da parede de 0,8 e o coeficiente de absorção o mesmo valor do passo anterior (0,6), conseguiremos calcular essa carga térmica:

$$Q = 0,6 * 0,8 * 5,6697 * 10^{-8} * A * (331,01^4 - 311,15^4)$$

6.2.3.2 Carga térmica de radiação simplificada

A abordagem de cálculo de carga térmica anterior pode ser substituída por uma abordagem mais simplificada e prática, que usa valores tabelados. Abordagem essa adotada em livros de referência como “*CREDER, Hélio. Instalações de Ar-Condicionado*” e de “*BARROS, Anésia - Manual de Conforto térmica*”:

$$Q = U * A * (\Delta t)$$

$$Q = 2,6 * A * (\Delta t)$$

Onde a área (A) é a área de cada parede, U já calculamos anteriormente e o acréscimo de temperatura pelo sol (Δt) é obtido através da tabela a seguir:

Tabela 3.6 Acréscimo ao Diferencial de Temperatura – Δt em °F e em °C

Superfície	Cor Escura		Cor Média		Cor Clara	
	°F	°C	°F	°C	°F	°C
Telhado	45	25,0	30	16,6	15	8,3
Parede E ou O	30	16,6	20	11,1	10	5,5
Parede N	15	8,3	10	5,5	5	2,7
Parede S	0	0	0	0	0	0

Figura 11 - Tabela de acréscimo de temperatura. Extraído do livro do Hélio Creder

Por essa tabela é possível observar que as paredes com face ao Sul não haverá interferência da atuação do sol, sendo o acréscimo de temperatura igual a 0.

6.2.4 Cálculo do Calor de Iluminação e Equipamentos:

Para os equipamentos foi listado todos que estariam em cada ambiente (identificados pela tabela da figura 5) e pesquisado a potência referente a cada um. O valor dessa potência total dos dispositivos elétricos instalados foi multiplicado pela quantidade que há desses equipamentos.

$$Q = qntd(\text{equipamentos}) * \text{Potência}$$

Já o cálculo das lâmpadas é feito seguindo a seguinte equação

$$Q = qntd(\text{lâmpadas}) * \text{Potência}$$

No entanto, para facilitar, foi considerado o valor de 25 w x m^2 , logo multiplicou-se 25 pela área de cada ambiente.

$$Q = 25 * A$$

6.2.5 Cálculo do Calor de Pessoas:

Esse cálculo considera o número de ocupantes e a atividade realizada, utilizando dados normativos para calor sensível e latente gerado por cada indivíduo.

$$Q = qntd(pessoas) * calor liberado pela pessoa$$

Tabela C.1 — Taxas típicas de calor liberado por pessoas

Nível de atividade	Local	Calor total (W)		Calor Sensível (W)	Calor latente (W)	% Radiante do calor sensível	
		Homem adulto	Ajustado M/F ^a			Baixa velocidade do ar	Alta velocidade do ar
Sentado no teatro	Teatro matinê	115	95	65	30		
Sentado no teatro, noite	Teatro noite	115	105	70	35	60	27
Sentado, trabalho leve	Escritórios, hotéis, apartamentos	130	115	70	45		
Atividade moderada em trabalhos de escritório	Escritórios, hotéis, apartamentos	140	130	75	55		
Parado em pé, trabalho moderado; caminhando	Loja de varejo ou de departamentos	160	130	75	55	58	38
Caminhando, parado em pé	Farmácia, agência bancária	160	145	75	70		
Trabalho sedentário	Restaurante ^b	145	160	80	80		
Trabalho leve em bancada	Fábrica	235	220	80	140		
Dançando moderadamente	Salão de baile	265	250	90	160	49	35
Caminhando 4,8 km/h; trabalho leve em máquina operatriz	Fábrica	295	295	110	185		
Jogando boliche ^c	Boliche	440	425	170	255		
Trabalho pesado	Fábrica	440	425	170	255	54	19
Trabalho pesado em máquina operatriz; carregando carga	Fábrica	470	470	185	285		
Praticando esportes	Ginásio, academia	585	525	210	315		

NOTA 1 Valores baseados em temperatura de bulbo seco ambiente de 24 °C. Para uma temperatura de bulbo seco ambiente de 27 °C, o calor total permanece o mesmo, porém o calor sensível deve ser reduzido em aproximadamente 20 %, e o calor latente aumentado correspondentemente. Para uma temperatura de bulbo seco ambiente de 21 °C, também o calor total permanece o mesmo, porém o calor sensível deve ser aumentado em aproximadamente 20 %, e o calor latente reduzido correspondentemente.

NOTA 2 Valores arredondados em 5 W.

Figura 12 - Tabela de valores do calor sensível e latente em pessoas. Extraído da NBR-16401

Esses valores dados pela NBR-16401 são referentes ao calor sensível e latente em função do metabolismo em diversos locais.

O calor liberado por cada pessoa na tabela é dado de acordo com a atividade física que a pessoa está realizando e a temperatura do ambiente. Considerei uma média entre o valor de “sentado, trabalho leve” (115W) com “trabalho leve em bancada” (220W).

Assim, a equação será:

$$Q = qntd(pessoas) * 167,5$$

Onde foi estipulado uma quantidade máxima de pessoas no mesmo ambiente simultaneamente.

6.2.6 Cálculo da Vazão de Ar Necessária pelas renovações:

A vazão de ar é geralmente expressa em metros cúbicos por hora ($\frac{m^3}{h}$).

Trocas de Ar por Hora: Para cada tipo de ambiente hospitalar, há um número recomendado de trocas de ar por hora que deve ser seguido.

Seguindo as orientações das normas conseguiremos calcular a vazão de cada ambiente.

Os ambientes **“recepção, área de registro de pacientes, laudo, comando, circulação de pacientes, nutricionista, as circulações (normal e de serviço), refeitório”** terão 16CFM/pessoa. Para chegar nesse valor de renovação foi comparado a NBR-16401 com a Anvisa e adotado o maior valor.

Para os ambientes como **“raio X, comando raio X, digital raio X, enfermaria pediátrica, repouso de emergência, consultório, posto de coleta, ortopedia, pediatria, sala de gesso, e amostra”** foram considerados 2 renovações por hora como é orientado na NBR-7256. Portanto, a vazão nesses ambientes foi calculada multiplicando-se 2 pelo valor do volume do ambiente

Já para **“banheiros e expurgo”** foram considerados 15 renovações por hora, atendendo as normas da GEM. Assim, a vazão nesses ambientes foi calculada multiplicando-se 15 pelo valor do volume do ambiente.

Tabela 4 - Valores de vazão segundo as renovações

Ambientes	Renovações	Vazão renovação (m ³ /h)
Recepção	16 CFM // pessoa	679,6
Área de registro de pacientes	16 CFM // pessoa	326,208
Laudo	16 CFM // pessoa	54,368
Comando	16 CFM // pessoa	54,368
Circulação de Pacientes	16 CFM // pessoa	326,208
Comando Raio X	2 renov / hora	10,38
Digital Raio X	2 renov / hora	9,72
Banheiro Raio X	15 renov / hora	67,5
Enfermaria Pediátrica	2 renov / hora	50,28
Repouso da emergência	2 renov / hora	152,46

Copa	16 CFM // pessoa	81,552
Lavagem de Louças	16 CFM // pessoa	27,184
Circulação de Serviço 1	16 CFM // pessoa	27,184
Depósito de alimentos	16 CFM // pessoa	67,96
Consultório 02	2 renov / hora	55,62
Banheiro consultório 02	15 renov / hora	121,05
Posto de coleta	2 renov / hora	56,16
Ortopedia	2 renov / hora	74,1
Sala do Gesso	2 renov / hora	44,94
Consultorio de Pediatria	2 renov / hora	57,36
Banheiro Pediatria	15 renov / hora	118,35
Circulação de Serviço 2	16 CFM // pessoa	67,96
Banheiro Circulação de Serviço	15 renov / hora	88,65
Banheiro repouso da emergência	15 renov / hora	108

Nutricionista	16 CFM // pessoa	54,368
4 Raio X	2 renov / hora	98,4

2 Circulação 3	16 CFM // pessoa	135,92
Banheiro Circulação 3	15 renov / hora	99,45

Refeitório	16 CFM // pessoa	353,392
Banheiro M Recepção	15 renov / hora	88,65
Banheiro F Recepção	15 renov / hora	81,9
Depósito	16 CFM // pessoa	32,6208
Banheiro Registro de Pacientes	15 renov / hora	140,4
Telefonista	16 CFM // pessoa	27,184
Amostra	2 renov / hora	16,02
Expurgo	15 renov / hora	97,2

Nos ambientes que requerem 16 CFM//pessoa transformamos 16 CFM para $27,184 \frac{m^3}{h}$ e multiplicamos pela quantidade de pessoas no respectivo ambiente.

Já nos ambientes que requerem 2 e 15 renovações/hora, foi multiplicado esses valores pelo volume de cada ambiente.

6.2.7 Cálculo da carga pela entrada de Ar externo:

Determinada para manter as condições de conforto térmico, levando em as renovações necessárias. Essa carga será uma soma do calor sensível com o calor latente.

O calor sensível é calculado por:

$$Q_{sensível} = \rho * c * V * (T_{ext} - T_{int})$$

$$Q_{sensível} = 1,2754 * 1 * V * (38 - 22)$$

A densidade do ar (ρ) considerada foi de $1,2754 \frac{kg}{m^3}$ e o calor específico (c) de $1005 \frac{J}{Kg * C}$. Já a vazão de ar externo (V) é o valor calculado no item anterior, porém transformada de $\frac{m^3}{h}$ para $\frac{m^3}{s}$, para assim obtermos nosso Q já em Watts.

Já o calor latente será:

$$Q_{latente} = \rho * c * V * (W_{externo} - W_{interno})$$

$$Q_{latente} = \rho * c * V * (70 - 40)$$

Sendo o W o valor da umidade específica do ar (em %). Consideramos 70% o externo e 40% o interno. A OMS recomenda que em um hospital a umidade relativa interna seja entre 30 e 60%. E o Rio de Janeiro tem uma faixa de umidade relativa entre 60% e 80%, por isso foram escolhidos estes valores.

Logo a carga térmica de ar exterior será a soma do calor latente com o calor sensível.

$$Q_{total \ de \ ar \ exterior} = Q_{latente} + Q_{sensível}$$

É muito importante destacar que devido a escolha futura de determinados equipamentos que já fazem a renovação de ar dentro do próprio maquinário, alguns ambientes não irão sofrer interferência dessa carga térmica pelo ar exterior, portanto esse cálculo é feito apenas para os ambientes que necessitam. Foi desconsiderado também a atuação dos banheiros nesse cálculo.

Tabela 5 - Carga térmica da entrada de ar exterior

Ambientes	Calor sensível Ar Exterior (W)	Calor latente Ar Exterior (W)	Carga térmica Ar Exterior (W)
Recepção	3871,536219	72,5913041	3944,127523
Área de registro de pacientes	1858,337385	34,84382597	1893,181211
Laudó	309,7228975	5,807304328	315,5302018
Comando	309,7228975	5,807304328	315,5302018
Circulação de Pacientes	1858,337385	34,84382597	1893,181211
Comando Raio X			
Digital Raio X			
Banheiro Raio X			
Enfermaria Pediátrica			
Repouso da emergência			
Copa	464,5843462	8,710956492	473,2953027
Lavagem de Louças	154,8614487	2,903652164	157,7651009
Circulação de Serviço 1	154,8614487	2,903652164	157,7651009
Depósito de alimentos			
Consultório 02			
Banheiro consultório 02			
Posto de coleta			
Ortopedia			
Sala do Gesso			
Consultorio de Pediatria			
Banheiro Pediatría			
Circulação de Serviço 2			
Banheiro Circulação de Serviço			
Banheiro repouso da emergência			
Nutricionista	309,7228975	5,807304328	315,5302018
Raio X			
Circulação 3	774,3072437	14,51826082	788,8255046
Banheiro Circulação 3			
Refeitório	2013,198834	37,74747813	2050,946312
Banheiro M Recepção			
Banheiro F Recepção			
Depósito			
Banheiro Registro de Pacientes			
Telefonista			
Amostra			
Expurgo			

6.2.8 Cálculo da Carga térmica total:

A carga térmica total será a soma de todas as cargas térmicas anteriormente calculadas.

$$Q_{total} = Q_{pessoas} + Q_{equipamentos} + Q_{iluminação} + Q_{parede} + Q_{radiação} + Q_{radiação} + Q_{ar exterior}$$

Abaixo podemos visualizar na planilha os resultados em Watts, BTU/h e TR (toneladas de refrigeração). Também é possível visualizar o valor de carga térmica de todos os ambientes somados.

Tabela 6 - Valores de carga térmica dos ambientes

Ambientes	Carga térmica Total (W)	Carga térmica Total (BTU/h)	Carga térmica Total (TR)	Soma todos ambientes (BTU/h)
Recepção	16379,33825	55886,30211	4,657191843	354021,2726
Área de registro de pacientes	7632,091211	26040,69521	2,170057934	
Laudó	1876,568202	6402,850705	0,533570892	
Comando	2292,57926	7822,280436	0,651856703	
Circulação de Pacientes	7217,514299	24626,15879	2,052179899	
Comando Raio X	1113,724926	3800,029449	0,316669121	
Digital Raio X	236,24	806,05088	0,067170907	
Banheiro Raio X	510,76	1742,71312	0,145226093	
Enfermaria Pediátrica	5751,424808	19623,86145	1,635321787	
Reposou da emergência	5438,392222	18555,79426	1,546316189	
Copa	8659,728228	29543,58071	2,46196506	
Lavagem de Louças	1169,649777	3990,845039	0,33257042	
Circulação de Serviço 1	2037,137468	6950,713041	0,579226087	
Depósito de alimentos	2372,867391	8096,223537	0,674685295	
Consultório 02	2006,991008	6847,853321	0,570654443	
Banheiro consultório 02	727,1525145	2481,044379	0,206753698	
Posto de coleta	2319,428647	7913,890543	0,659490879	
Ortopedia	2382,828397	8130,210489	0,677517541	
Sala do Gesso	980,6937204	3346,126974	0,278843914	
Consultorio de Pediatria	2358,387441	8046,817948	0,670568162	
Banheiro Pediatria	742,6319116	2533,860082	0,211155007	
Circulação de Serviço 2	1109,840706	3786,776488	0,315564707	
Banheiro Circulação de Serviço	875,5055292	2987,224866	0,248935405	
Banheiro repouso da emergência	1585,851764	5410,926219	0,450910518	
Nutricionista	2305,020657	7864,730483	0,655394207	
1 Raio X	12629,71307	43092,581	3,591048417	
2 Circulação 3	2480,375004	8463,039515	0,705253293	
Banheiro Circulação 3	579,3173381	1976,630758	0,16471923	
Refeitório	4974,446312	16972,81082	1,414400901	
Banheiro M Recepção	216,75	739,551	0,06162925	
Banheiro F Recepção	213	726,756	0,060563	
Depósito	275	938,3	0,078191667	
Banheiro Registro de Pacientes	245,5	837,646	0,069803833	
Telefonista	1439	4909,888	0,409155667	
Amostra	150,5	513,506	0,042792167	
Expurgo	472,75	1613,023	0,134418583	

6.3 Vazão Necessária para troca de Calor por equipamento

Para os ambientes que serão atendidos pelo split hospitalar é necessário calcular a vazão de entrada de ar requerida pelo recinto para fazer a troca de calor (remoção da carga térmica). Essa vazão deverá ser sempre igual ou superior a renovação requerida pela norma.

Cada equipamento apresenta sua respectiva capacidade e vazão para troca de calor.

Usando um equipamento (futuramente escolhido) para exemplificação, no manual da Tosi os splits hospitalares em média precisam de uma vazão de $680 \frac{m^3}{h}$ para remoção de 1 TR. Assim, é necessário a entrada dessa vazão para se realizar a troca requerida.

Portanto, com a carga térmica calculada para cada ambiente, em TR, calculamos a vazão necessária para que haja a devida troca de calor.

Tabela 7 - Valores de vazão necessárias para troca de calor

Ambientes	Vazão troca de calor split maior (m ³ /h)	Vazão troca de calor split hospitalar raio x (m ³ /h)
Recepção		
Área de registro de pacientes		
Laudo		
Comando		
Circulação de Pacientes		
Comando Raio X		215,3350021
Digital Raio X		45,67621653
Banheiro Raio X		
Enfermaria Pediátrica	1112,018815	
Repouso da emergência	1051,495008	
Copa		
Lavagem de Louças		
Circulação de Serviço 1		
Depósito de alimentos		
Consultório 02	388,0450215	
Banheiro Banheiro 02		
Posto de coleta	448,4537974	
Ortopedia	460,7119277	
Sala do Gesso	189,6138619	
Consultorio de Pediatria	455,9863504	
Banheiro Pediatria		
Circulação de Serviço 2	214,584001	
Banheiro Circulação de Serviço		
Banheiro repouso da emergência		
Nutricionista		
4 Raio X		2441,912924
2 Circulação 3		
Banheiro Circulação 3		
Refeitório		
Banheiro M Recepção		
Banheiro F Recepção		
Depósito		
Banheiro Registro de Pacientes		
Telefonista	278,2258533	
Amostra	29,09867333	
Expurgo		

Devido ao fato de termos que usar toda a vazão que sai do equipamento, tivemos que redistribuir o valor sobrando pelos ambientes. Para isso fizemos a vazão total do equipamento dividido pela vazão necessária para a troca (a soma das vazões dos ambientes). O valor encontrado multiplicamos pela vazão de cada ambiente, assim chegando a uma nova vazão para cada um já balanceada.

Tabela 8 - Valores das constantes

Split hospitalar maior	Split hospitalar Raio X
Vazão necessária	Vazão necessária
4628,23331	2702,924142
Vazão Total do equipamento (5100) dividida pela n	Vazão Total do equipamento (3400) dividida pela necessária
1,101932348	1,257896937

Tabela 9 - Valores de vazão pela troca de calor balanceada

Ambientes	Vazão de troca * 1,101932348		Vazão de troca * 1,257896937	
	Vazão troca de calor redistribuída split hospitalar maior (m ³ /h)		Vazão troca de calor redistribuído split hospitalar raio x (m ³ /h)	
Recepção				
Área de registro de pacientes				
Laudó				
Comando				
Circulação de Pacientes				
Comando Raio X				270,8692396
Digital Raio X				57,45597288
Banheiro Raio X				
Enfermaria Pediátrica		1225,369505		
Repouso da emergência		1158,676364		
Copa				
Lavagem de Louças				
Circulação de Serviço 1				
Depósito de alimentos				
Consultório 02		427,5993618		
Banheiro Banheiro 02				
Posto de coleta		494,1657461		
Ortopedia		507,6733764		
Sala do Cesso		208,9416481		
Consultorio de Pediatria		502,4661099		
Banheiro Pediatría				
Circulação de Serviço 2		236,4570521		
Banheiro Circulação de Serviço				
Banheiro repouso da emergência				
Nutricionista				
4 Raio X				3071,674788
2 Circulação 3				
Banheiro Circulação 3				
Refeitório				
Banheiro M Recepção				
Banheiro F Recepção				
Depósito				
Banheiro Registro de Pacientes				
Telefonista		306,5860679		
Amostra		32,06476944		
Expurgo				

Assim, no projeto teremos duas vazões: a vazão do ambiente calculada pelas renovações necessárias segundo a norma (passo 7.2.6) e a vazão para a realização da retirada de calor. Sendo a primeira inferior a segunda, por conta disso, na entrada para os ambientes é usada a vazão necessária para que haja a troca.

7 SELEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Com base nos cálculos de carga térmica, a próxima etapa envolveu a seleção dos equipamentos de ar-condicionado mais adequados para atender às necessidades do hospital, levando em conta filtros necessários para cada ambientes, garantindo assim alta eficiência na remoção de partículas e contaminantes. Além dessa seleção, também haverá a dos dutos, difusores, venezianas, válvulas a disco e exaustores.

Esta seleção incluiu splits (Hi-wall, pisto teto e hospitalar) difusores, e dutos de ar.

7.1 Escolha do Splits

Adotado sistema tipo expansão direta utilizando condicionadores de ar tipo split, com condensação a ar e condensadores remotos,

Para essa escolha foi levado em conta não apenas a carga térmica referentes aos seus respectivos ambientes, mas também os filtros que seriam necessários para atender os mesmos

Após tomar esse cuidado em relação a filtragem foram selecionados os equipamentos a partir de suas capacidades de forma atender a carga térmica.

Splits Hi-wall são ideais para áreas menores ($20-150m^2$), atendendo de 2.000 a 18.000 BTU/H, é vantajoso visando a economia de energia.

Splits Piso Teto são ideais para áreas médias/grandes ($5-300m^2$), atendendo de a cargas maiores, (por volta de 36.000 BTU/H).

Já os splits hospitalares tem o funcionamento muito semelhante aos centrais, aos quais são ideais para áreas grandes ($300-1000m^2$), porém, os hospitalares atendem cargas mais específicas (1TR, 2TR, 3TR, 5TR, 7.TR) e são destinados para esses tipos de ambientes devido ao controle de temperatura mais preciso que oferecem, atenderem a filtragens mais específicas e rigorosas, controlarem a umidade relativa ficando entre 40 e 60% atendendo as normais.

7.1.1 Splits Aparentes

Seguindo as normais, muitos ambientes não serão necessários uma filtragem tão específica, logo filtros com classificações menores atenderiam. Assim, para esses recintos splits aparentes eram o suficiente para atender todos os requisitos.

Foram selecionados Splits Hi-Wall da marca *Midea* de 9.000 e 18.000 BTU/h com vazões respectivas de 497 e 871 $\frac{m^3}{h}$.

Além de Splits Teto da marca *Carrier* de 30.000 e 36.000 BTU/h com vazões respectivas de 1260 e 1360 $\frac{m^3}{h}$.

Esses equipamentos serão dotados da filtragem tipo G3 (atendendo a norma NBR-7256).

Suas unidades condensadoras serão localizadas na parte de fora do prédio de forma a instalá-las mais próximo possível.

7.1.2 Splits Hospitalar

Nos ambientes que necessitam de filtros mais específicos usaremos splits hospitalares, aos quais garantirão que atenderemos todas as normas. Esse sistema de refrigeração se divide em duas etapas: uma evaporadora interna e uma unidade externa. Ambas as partes são interligadas por tubos, tendo atenção a distância entre elas visando evitar perdas. Esse equipamento nos permitirá controlar a temperatura de cada evaporadora de forma independente.

Foram selecionados 2 Splits Hospitalares da marca Tosi, dotados de filtragem do tipo G4 + F8 (atendendo a norma NBR-7256), um de 60.000 BTU/h com vazão de 3400 $\frac{m^3}{h}$ e outro de 90.000 BTU/h com vazão de 5100 $\frac{m^3}{h}$.

A máquina será instalada no entreferro do ambiente e terá o insuflamento de ar feito através de rede de dutos com difusores, isolados termicamente, montados acima do forro falso.

Neles estarão presentes dampers corta fogo (dispositivos de segurança para interromper a propagação de incêndios em sistema de ventilação e dutos) e dampers de regulação de vazão (usados para controlar a quantidade de ar que flui através do sistema de ventilação ou duto) conforme requisitado na NBR 7256.

Haverá venezianas de retorno, para que o ar dos ambientes volte por pressão para o equipamento e seja reutilizado. A taxa média de uso do ar de retorno é de 80%, os outros 20% serão do ar vindo do exterior (seguindo a normas NBR 16401), havendo uma mistura e uma nova filtragem desse ar e posteriormente mandando para os ambientes.

7.2 Seleção das Caixas Ventiladoras

A renovação de ar dos ambientes atendidos por splits aparentes será feita através de caixa ventiladora com vazão de $2128 \frac{m^3}{h}$ (selecionada com base no cálculo de renovação de ar do capítulo anterior) com filtragem G4 + M5 (atendendo a norma NBR-7256). Esse equipamento será o responsável por insuflar o ar externo para que possa ser feito a renovação. O transporte desse ar será feito através de rede de dutos de chapa galvanizada e dutos flexíveis, sem isolamento térmico, com grelhas tipo válvula à disco. Essa caixa ventiladora terá a proteção dos dampers corta fogo e dampers para regulagem de vazão também conforme NBR 7256. Esses dampers estarão presentes antes da entrada da caixa ventiladora.



Figura 13 - Exemplo de caixa Ventiladora com filtro G4 + M5

7.3 Dimensionamento dos Dutos

Esse processo envolve determinar o tamanho e o layout dos dutos para distribuir esse ar de maneira eficiente e uniforme. Para auxílio usamos novamente o software Excel.

Para calcular a linha inicial da planilha entramos com o valor da vazão inicial e uma velocidade inicial estipulada em $6,0 \frac{m}{s}$ (escolhida para balancear entre ruído, perda de carga e custo, pois velocidades mais altas geram mais ruído e perdas, enquanto velocidades muito baixas exigem dutos maiores e mais caros) e assim conseguimos calcular a área dos dutos.

$$\frac{Vaz_{duto}}{vel} = A_{duto}$$

OBS: Esse dimensionamento foi realizado com base nas vazões de ar calculadas considerando as renovações corretas mencionadas nas normas NBR 7265, 16401, Anvisa e GEM e nos cálculos feitos anteriormente. Para os ambientes que o ar exterior será insuflado usaremos como vazão inicial a soma vazão calculada segundo as renovações, já nos demais ambientes a vazão utilizada é a própria do equipamento.

Definimos então como a altura do duto (alt_{duto}) de 0,3 metros. Por consequência, dividindo a área pela altura chegamos ao valor da largura.

$$\frac{A_{duto}}{alt_{duto}} = L_{duto}$$

Assim, teremos os valores da Largura e altura dos dutos. Os resultados desses passos iniciais estão abaixo:

Tabela 10 - Dados iniciais do cálculo e seus resultados

IDENTIFICAÇÃO	VAZÃO DO RAMAL (m³/h)	VAZÃO DO RAMAL (m³/s)	VELOCIDADE (m/s)	PORCENTAGEM (CAUDAL)	COEFICIENTE (ÁREA CONDUCTO)	ÁREA DO DUTO (m²)	ALTURA (m) (DEFINIDA)	LARGURA (m)	Dutos (cm)
ENF/REPOUSO/CIRC/CONS	5.100	1.417	6	1,00	1	0,2361	0,30	0,79	80x30
RETORNO	980	0,272	4	1,00	1	0,0681	0,30	0,23	25x30
AR EXTERIOR	2.128	0,591	4	1,00	1	0,1478	0,30	0,49	50x30
RAIO X	3.400	0,944	4	1,00	1	0,2361	0,30	0,79	80x30

Para os dutos das sessões subsequentes, calcularemos a partir da nova vazão. Essa será o valor da subtração da vazão anterior com a vazão necessária, seja essa para haver a troca de calor (nos casos dos ambientes com splits hospitalares) ou então para fazer as renovações (nos casos dos splits Hi-wall e Piso teto). Ambas já

calculadas anteriormente nas sessões 7.2.6 e 7.3, conseguiremos calcular a porcentagem caudal dividindo a vazão “nova” pela vazão do ramal anterior.

$$\frac{Vaz_{duto\ 2}}{Vaz_{duto\ 1}} = \% \text{ caudal}$$

Tabela 11 - Valores das vazões do ramal e porcentagem caudal

IDENTIFICAÇÃO	VAZÃO DO RAMAL (m ³ /h)	VAZÃO DO RAMAL (m ³ /s)	PORCENTAGEM (CAUDAL)
ENF/REPOUSO/CIRC/CONS ULTORIOS/COLETA/TELEFO NISTA/AMOSTRA/ENF.PEDI ATRICA	5.100	1,417	1,00
	1.225	0,340	0,25
	2.716	0,754	0,54
	1.768	0,491	0,66
	766	0,213	0,44
RETORNO	980	0,272	1,00
AR EXTERIOR	2.128	0,591	1,00
	1.227	0,341	0,58
	57	0,016	0,05
	818	0,227	0,67
	137	0,038	0,17
	680	0,189	0,84
	340	0,094	0,42
	901	0,250	0,43
	583	0,162	0,65
	244	0,068	0,42
	339	0,094	0,59
RAIO X	3.400	0,944	1,00
	3.072	0,853	0,91
	1.536	0,427	0,46

Com essa porcentagem conseguimos através de uma tabela de referência para perda de carga da *Carrier* encontrar o coeficiente de área conducto (uma medida da resistência ao fluxo de ar em dutos). Essa tabela correlaciona diretamente a porcentagem caudal (indo de 1% a 100%) com o coeficiente conducto que deve ser usado, então entramos com a porcentagem que calculamos e encontramos o coeficiente que usaremos.

Porcentagem x Coeficiente							
0,01	0,032	0,26	0,365	0,51	0,604	0,76	0,814
0,02	0,053	0,27	0,375	0,52	0,613	0,77	0,822
0,03	0,072	0,28	0,385	0,53	0,622	0,78	0,83
0,04	0,09	0,29	0,396	0,54	0,63	0,79	0,38
0,05	0,106	0,3	0,406	0,55	0,639	0,8	0,846
0,06	0,122	0,31	0,416	0,56	0,648	0,81	0,854
0,07	0,136	0,32	0,426	0,57	0,656	0,82	0,862
0,08	0,151	0,33	0,436	0,58	0,665	0,83	0,87
0,09	0,165	0,34	0,446	0,59	0,674	0,84	0,878
0,1	0,178	0,35	0,456	0,6	0,682	0,85	0,885
0,11	0,191	0,36	0,465	0,61	0,691	0,86	0,893
0,12	0,204	0,37	0,475	0,62	0,699	0,87	0,901
0,13	0,217	0,38	0,484	0,63	0,707	0,88	0,909
0,14	0,229	0,39	0,494	0,64	0,716	0,89	0,916
0,15	0,241	0,4	0,503	0,65	0,724	0,9	0,924
0,16	0,253	0,41	0,513	0,66	0,733	0,91	0,932
0,17	0,265	0,42	0,522	0,67	0,741	0,92	0,939
0,18	0,277	0,43	0,531	0,68	0,749	0,93	0,947
0,19	0,288	0,44	0,541	0,69	0,757	0,94	0,955
0,2	0,3	0,45	0,55	0,7	0,766	0,95	0,962
0,21	0,311	0,46	0,559	0,71	0,774	0,96	0,97
0,22	0,322	0,47	0,568	0,72	0,782	0,97	0,977
0,23	0,333	0,48	0,577	0,73	0,79	0,98	0,985
0,24	0,343	0,49	0,586	0,74	0,798	0,99	0,993
0,25	0,354	0,5	0,595	0,75	0,806	1	1

Figura 14 - Exemplificação da tabela de correlação entre percentagem caudal e coeficiente de área conducto

Assim, para calcular a área da sessão atual do duto, multiplica-se esse coeficiente tabelado pela área da sessão anterior.

$$A_{duto 1} * Cv = A_{duto 2}$$

Chegando aos resultados da tabela em sequência:

Tabela 12 - Valores das percentagens calculada e seus respectivos coeficiente e área

IDENTIFICAÇÃO	VAZÃO DO RAMAL (m³/h)	VAZÃO DO RAMAL (m³/s)	PORCENTAGEM (CAUDAL)	COEFICIENTE (ÁREA CONDUCTO)	ÁREA DO DUTO (m²)
ENF/REPOUSO/CIRC/CONSULTORIOS/COLETA/TELEFONISTA/AMOSTRA/ENF.PEDIATRICA	5.100	1,417	1,00	1	0,2361
	1.225	0,340	0,25	0,354	0,0836
	2.716	0,754	0,54	0,63	0,1488
	1.768	0,491	0,66	0,733	0,1090
	766	0,213	0,44	0,541	0,0590
RETORNO	980	0,272	1,00	1	0,0681
AR EXTERIOR	2.128	0,591	1,00	1	0,1478
	1.227	0,341	0,58	0,665	0,0983
	57	0,016	0,05	0,106	0,0104
	818	0,227	0,67	0,741	0,0728
	137	0,038	0,17	0,265	0,0193
	680	0,189	0,84	0,878	0,0639
	340	0,094	0,42	0,522	0,0334
	901	0,250	0,43	0,878	0,1297
	583	0,162	0,65	0,724	0,0939
	244	0,068	0,42	0,724	0,0680
	339	0,094	0,59	0,522	0,0490
RAIO X	3.400	0,944	1,00	1	0,2361
	3.072	0,853	0,91	0,932	0,2201
	1.536	0,427	0,46	0,559	0,1320

Como definimos o valor da altura do duto chegamos ao valor da largura dele. E pelo caminho contrário a primeira parte, calculamos a velocidade da sessão, pois possuímos a vazão e a área.

$$\frac{Vaz_{duto}}{A_{duto}} = vel$$

Faremos esses cálculos para cada nova sessão chegando aos seus respectivos resultados:

Tabela 13 - Resultado do dimensionamento dos Dutos

IDENTIFICAÇÃO	VAZÃO DO RAMAL (m³/h)	VELOCIDADE (m/s)	ÁREA DO DUTO (m²)	ALTURA (m) (DEFINIDA)	LARGURA (m)
ENF/REPOUSO/CIRC/CONSULTORIOS/COLETA/TELEFONISTA/AMOSTRA/ENF.PEDIATRICA	5.100	6	0,2361	0,30	0,79
	1.225	4,07	0,0836	0,30	0,28
	2.716	5,07	0,1488	0,30	0,50
	1.768	4,50	0,1090	0,30	0,36
	766	3,61	0,0590	0,30	0,20
RETORNO	980	4	0,0681	0,30	0,23
AR EXTERIOR	2.128	4	0,1478	0,30	0,49
	1.227	3,47	0,0983	0,30	0,33
	57	1,52	0,0104	0,10	0,10
	818	3,12	0,0728	0,30	0,24
	137	1,97	0,0193	0,15	0,13
	680	2,95	0,0639	0,30	0,21
	340	2,83	0,0334	0,20	0,17
	901	1,93	0,1297	0,30	0,43
	583	1,72	0,0939	0,30	0,31
	244	1,00	0,0680	0,25	0,27
	339	1,92	0,0490	0,20	0,25
RAIO X	3.400	4	0,2361	0,30	0,79
	3.072	3,88	0,2201	0,30	0,73
	1.536	3,23	0,1320	0,30	0,44

7.4 Uso do software para validação dos resultados

Para confirmar se esses valores estão coerentes usamos um software denominado “*DesingTools DuctSize*”.

Primeiramente nesse software teremos que mudar as unidades de trabalho, já que ele vem como padrão com unidades americanas, passaremos então para unidades métricas.

Usaremos um insuflamento de 20°C que é o padrão do software.

Nele então entramos com 2 dados, um deles será a vazão (flow rate) em Litros por segundo (portanto teremos antes que fazer a conversão de $\frac{m^3}{h}$ para $\frac{L}{s}$) e o outro escolhemos entre velocidade ou então perda de carga. Usaremos o valor da velocidade. Como escolhemos fornecer a velocidade, então ele nos retornará o valor da perda de carga e o diâmetro equivalente para o duto em milímetros. Como em nosso projeto serão tubos retangulares podemos estabelecer um dos parâmetros (a altura) ao software e ele nos retornará o valor que seria referente a largura e a área. Dessa forma chegamos as dimensões dos dutos e conseguiremos comparar e confirmar os valores obtidos na planilha Excel.

Além disso ele também irá nos retornar alguns valores como o coeficiente de fricção, a velocidade de pressão, o número de Reynolds, no entanto esses dados não serão úteis para o nosso projeto.

Usando como exemplo o dimensionamento para ar exterior, ao entrarmos com os dados da 2ª linha da tabela Excel, ou seja, com a vazão de $1225 \frac{m^3}{h}$ (que em $\frac{L}{s}$ fica igual a 340,3), com a velocidade de $4,07 \frac{m}{s}$ e altura de 0,3m, o software nos dará a largura de 0,3m, assim como o valor encontrado na tabela.

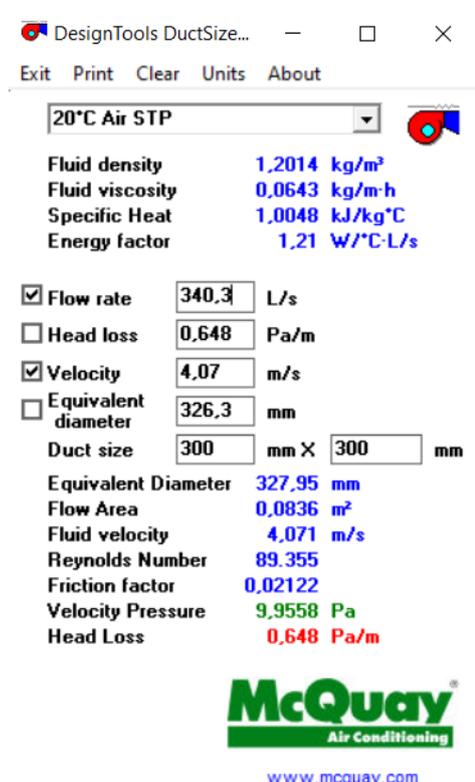


Figura 15 - Interface do software DesingTools com os resultados obtidos

Nem sempre o software fornecerá o valor exato ao calculado na tabela, mas sempre será bem próximo, assim, considere o uso da tabela.

7.5 Seleção dos Dutos

Configuração dos Dutos: A configuração dos dutos foi traçada visando ser mais curto e retilínea possível de forma a minimizar a perda de carga e maximizar a eficiência do sistema. Isso envolveu planejar a disposição dos dutos principais e secundários, bem como a localização das grelhas de difusão e retorno de ar.

Foram especificados dutos de chapa de aço galvanizado (comum devido à durabilidade e resistência a corrosão) com seção transversal retangular, que facilitam a instalação em espaços reduzidos, podem apresentar menores custos e apresentam menor resistência ao fluxo de ar e facilitam a instalação dos difusores. A configuração dos dutos foi projetada para proporcionar independência aos ambientes críticos, permitindo a manutenção sem interromper os procedimentos hospitalares.

Tabela 14 - Seleção dos dutos

IDENTIFICAÇÃO	VAZÃO DO RAMAL (m³/h)	ÁREA DO DUTO (m²)	ALTURA (m) (DEFINIDA)	LARGURA (m)	Dutos (cm)
ENF/REPOUSO/CIRC/CONSULTORIOS/COLETA/TELEFONISTA/AMOSTRA/ENF.PEDIATRICA	5.100	0,2361	0,30	0,79	80x30
	1.225	0,0836	0,30	0,28	30x30
	2.716	0,1488	0,30	0,50	50x30
	1.768	0,1090	0,30	0,36	40x30
	766	0,0590	0,30	0,20	20x30
RETORNO	980	0,0681	0,30	0,23	25x30
AR EXTERIOR	2.128	0,1478	0,30	0,49	50x30
	1.227	0,0983	0,30	0,33	35x30
	57	0,0104	0,10	0,10	10x10
	818	0,0728	0,30	0,24	25x30
	137	0,0193	0,15	0,13	15x15
	680	0,0639	0,30	0,21	25x30
	340	0,0334	0,20	0,17	20x20
	901	0,1297	0,30	0,43	45x30
	583	0,0939	0,30	0,31	35x30
	244	0,0680	0,25	0,27	30x25
	339	0,0490	0,20	0,25	25x20
RAIO X	3.400	0,2361	0,30	0,79	80x30
	3.072	0,2201	0,30	0,73	75x30
	1.536	0,1320	0,30	0,44	45x30

Usando os valores calculados e demonstrados acima, foram selecionados desde dutos menores (10X10cm) nas ramificações até dutos maiores (50X30cm e

80X30cm) nas entradas. Haverá tanto dutos para levar o ar exterior (para os ambientes com splits aparentes) como dutos para levar o ar já refrigerado pelos splits hospitalares.

O isolamento térmico dos dutos é necessário para evitar perdas de energia e condensação. Materiais isolantes como espuma de poliuretano e lã de vidro (seguido a NBR 16401) foram utilizados para revestir os dutos, mantendo a temperatura do ar conforme o projetado.

É importante ressaltar que o layout dos dutos foi escolhido de forma a permitir fácil acesso para manutenção e limpeza, já que falta de acessibilidade pode dificultar a manutenção regular, comprometendo a qualidade do ar e a eficiência do sistema.

7.6 Seleção de Difusores, veneziana e válvula de disco

Os difusores foram selecionados por sua capacidade de ajustar manualmente a vazão de ar, garantindo a distribuição uniforme e o conforto térmico. Através desses difusores conseguimos controlar as vazões de cada ambiente. Foram escolhidos difusores da marca **“Tropical”** de 4 saídas e 1 saída conforme a necessidade de cada ambiente.

As venezianas serão para retorno do ar (antigo) dos ambientes para o equipamento e esse fluxo ocorrerá por pressão. Elas também serão da marca **“Tropical”** e irão variar entre 500X300mm, 800X600mm, 400X300mm e 300X200mm.

Já as válvulas de disco serão por onde o ar externo entrará nos ambientes que têm os equipamentos que precisam desse tipo de renovação. Haverá duas, uma de 100mm (que atende vazões até $100\frac{m^3}{h}$) e outra de 150mm (que atende de 101 a $200\frac{m^3}{h}$), ambas da marca **“Sicflux.”** Esse ar exterior terá saída para o ambiente bem próxima a saída dos splits, visando uma melhor eficiência da troca e para que essa não seja “sentida” pelos ocupantes.

A escolha por essas marcas foi devido ao seu destaque no mercado em questão de qualidade e preço.

7.7 Seleção de Exaustores

Serão instalados sistemas de exaustão mecânica, para exaurir os sanitários e o expurgo, utilizando ventiladores axiais (recomendados para o uso em banheiros menores, já que as vazões não serão grandes), também posicionados no entreferro, atendidos por trecho de dutos flexíveis sem isolamento térmico, com grelhas tipo válvula de disco.

7.8 Planta finalizada

Novamente com a ajuda o software AutoCad foi possível fazer a planta com a representação de todos os equipamentos selecionados no projeto. Abaixo está ela.

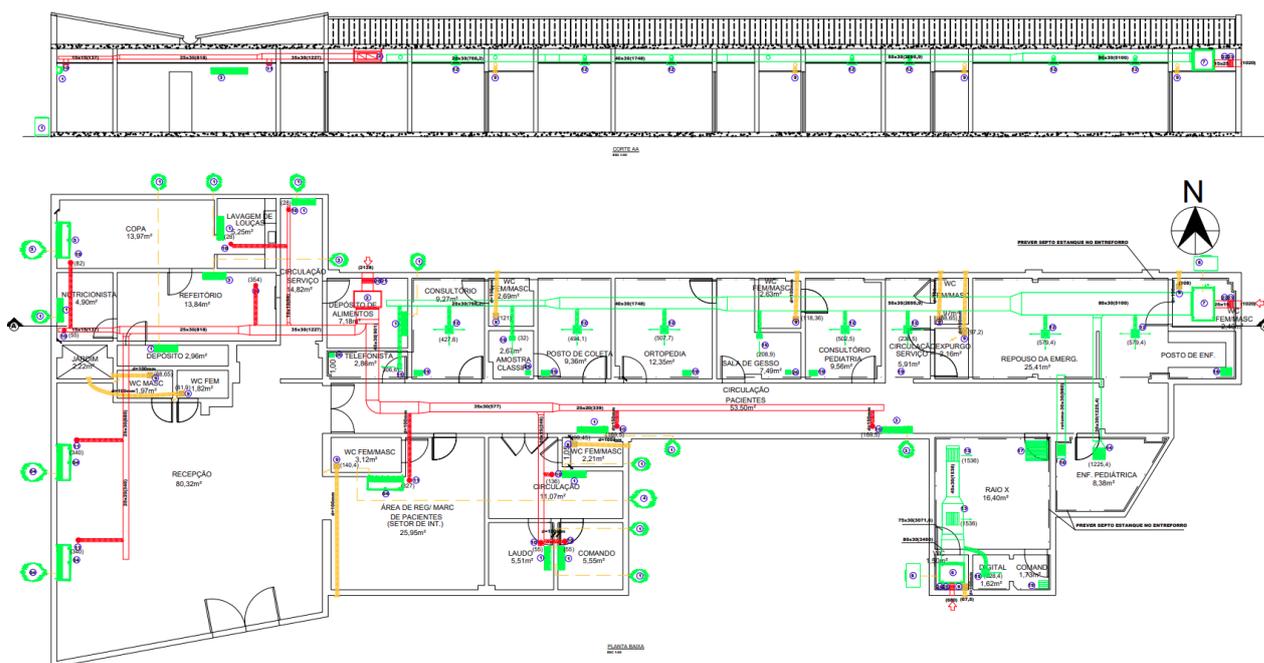


Figura 16 - Planta da clínica com todos os equipamentos

8 INSTALAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E OS CUIDADOS PÓS

Após a seleção dos equipamentos, passamos para a fase de implementação, onde cada componente será instalado de acordo com as especificações do projeto. A verificação do sistema incluiu testes de desempenho para assegurar que os equipamentos funcionem dentro dos parâmetros previstos, mantendo o conforto térmico e a qualidade do ar.

A realização de simulações computacionais é uma etapa essencial no processo de dimensionamento do sistema de ar-condicionado para um ambiente hospitalar e será recomendada ao dono do hospital. Essas simulações permitem avaliar o desempenho do sistema em diferentes cenários operacionais, identificando possíveis problemas e otimizando o projeto antes da instalação definitiva. Dessa forma, é possível garantir que o sistema atenda às necessidades específicas do ambiente hospitalar com eficiência e segurança.

A instalação dos splits aparentes, hospitalares, difusores e dutos serão realizadas por uma equipe técnica especializada, seguindo rigorosamente as diretrizes de instalação fornecidas pelos fabricantes e as normas técnicas aplicáveis. Foram tomadas medidas para garantir a correta integração dos novos equipamentos com a infraestrutura existente do hospital.

8.1 Manutenção e Monitoramento

Um plano de manutenção regular será desenvolvido para assegurar o desempenho contínuo e eficiente do sistema de ar-condicionado. Este plano inclui a manutenção preventiva de 6 em 6 meses, havendo limpeza dos filtros, inspeções regulares dos equipamentos e verificações das condições operacionais.

Adicionalmente, sistemas de monitoramento serão recomendados para detectar qualquer falha ou necessidade de ajuste, garantindo a conformidade com as normas de qualidade do ar e a segurança dos ocupantes. Esses sistemas fornecem dados em tempo real sobre a temperatura, umidade e vazão de ar, permitindo intervenções rápidas em caso de anomalias.

8.2 Testes de Desempenho

Após o término das instalações e antes do aceite da obra, o instalador deverá providenciar o correto balanceamento do sistema de distribuição de ar, garantindo que todas as vazões estejam perfeitamente compatíveis com os valores indicados no projeto, os testes de balanceamento deverão ser executados com equipamentos devidamente calibrados pelo menos seis meses antes do início dos trabalhos, serão fornecidos todos os serviços, materiais e equipamentos necessários para ajustar, testar e balancear o sistema de ar condicionado, de acordo com o especificado ou requerido.

Nos dutos foi utilizado um anemômetro para medir velocidade do ar. Regulando a área, por consequência a velocidade, chegamos na vazão deles.

Com base nos resultados dos testes, serão realizados ajustes finais e calibrações nos equipamentos para otimizar seu desempenho ou até mesmo a substituição por um novo.

8.3 Treinamento da Equipe

A equipe de manutenção do hospital receberá treinamento especializado sobre o funcionamento e manutenção do novo sistema de ar-condicionado. Através de manuais, checklists de inspeção e documentos das rotinas de manutenção será garantido que a equipe seja capaz de realizar a manutenção regular e responder prontamente a quaisquer problemas que possam surgir.

9 CONCLUSÃO

Assim, o projeto tem como principal objetivo dimensionar, através de cálculos de carga térmica, e selecionar equipamentos de ar-condicionado e dutos para uma clínica hospitalar fictícia. Ao fim do mesmo todos esses objetivos foram alcançados, sendo possível pontuar e explicar cada interferência de calor que irá atuar em um ambiente e fará com que ele seja devidamente refrigerado para manter o conforto térmico.

Por se tratar de um ambiente hospitalar, todas as medidas e cuidados quanto à renovação e filtragem foram tomados, seguindo todas as normas destinadas a esse assunto. Foi possível destacar de forma mais clara e direta os passos a serem seguidos para a escolha de equipamentos de ar-condicionado e seus dutos, passando por conceitos de transferência de calor e termodinâmica, além de pontuar como é crucial a seleção desses de forma correta para dessa forma garantir segurança e eficiência energética nos ambientes de saúde.

Através dos resultados dos cálculos de carga térmica foram então selecionados 15 splits (entre Hi-Wall e Piso teto) de diferentes capacidades para refrigerar alguns ambientes e 2 splits hospitalares para suprir as demais áreas. Neles haverá filtros variando entre G3, G4, M5 e F8 para que possam ser feito as devidas filtrações, assim como será respeitado as renovações como orientado nas normas NBR 7256 e NBR 14601.

Foi selecionado também uma caixa ventiladora para insuflamento de ar exterior nos ambientes com split aparente. Além de difusores para controlar as vazões.

Os dutos de chapa de aço com seção transversal retangular percorrerão os ambientes levando para alguns o ar já refrigerado e para outros o ar externo para que seja possível fazer as renovações. Há também dutos flexíveis nas ramificações.

Alguns ambientes (banheiros) terão sua renovação realizada através de exaustores, usados para remoção ar antigo e por pressão recebimento do ar já novo.

Dessa forma, o projeto de dimensionamento de equipamentos de refrigeração e dutos para a clínica Arêas foi concluído, atendendo a todas as normas e aos resultados dos cálculos. Visando melhorar o desempenho futuro dos

equipamentos e procurando evitar possíveis complicações e defeitos foram propostas algumas medidas e cuidados a serem tomados pós instalação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Creder, Hélio, **Instalações de Ar-Condicionado 6ª edição**, LTC
2. Barros Frota, Anésia, **Manual de Conforto térmico**, Studio Nobel
3. Curcio da Silva, Alberto, **Dimensionamento e cálculo de carga térmica: Aplicações em sistemas de climatização para restaurantes**, Atena Editora
4. Incropera, Frank, **Fundamentos de transferência de calor e de Massa 7ª Edição**, LTC
5. J Moran, Michael, **Princípios da Termodinâmica para engenharia 4ª edição**, LTC
6. Curcio da Silva, Alberto, **Dimensionamento e cálculos de carga térmica: Aplicações em sistemas de climatização para restaurantes**, Atena Editora
7. ABNT 16401 - **Instalações de Ar-Condicionado – Sistemas Centrais e unitários (1, 2, 3)**
8. NBR 7256 - **Tratamento de ar em estabelecimentos de saúde (EAS)**.
9. NBR 6401 - **Instalações de Ar-Condicionado – Sistemas Centrais de ar condicionado para conforto**.
10. Morishita, Claudia, **Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas** Disponível em:
https://labeeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/catalogo_caixa_v4.PDF
11. LFA, JORGE, **Determinação do coeficiente de transmissão térmica em paredes de edifícios**. Disponível em:
<https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/3798/1/Determina%C3%A7%C3%A3o%20do%20coeficiente%20de%20transmiss%C3%A3o%20t%C3%A9rmica%20em%20paredes%20de%20edif%C3%ADcios%20-%20Lu%C3%ADs%20Jorge.pdf>
12. Lima da Paixão Bernardes, Thamires, **Estudo da carga térmica de edificações localizadas em cidades não listadas pela norma NBR 16401**. 2019. Disponível em: <<https://www.bdt.d.uerj.br:8443/handle/1/11677>>.
13. CARDOSO, DMS. **Relatório de actividade profissional para obtenção de grau mestre de engenharia mecânica**. Disponível em:<https://run.unl.pt/bitstream/10362/149233/1/Cardoso_2022.pdf>.
14. https://docs.ufpr.br/~rudmar/clima/aulas/5A_CARGA%20TERMICA.pdf
15. Roxo, CFC, **Relatório de estágio: instalações de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (AVAC)**. 2022. Disponível em:
<<https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/40359>>.

16. GOMES, CVC. **Dimensionamento de um sistema de condicionamento de ar para um ambiente destinado a realização de eventos**. 2021. Disponível em: <http://monografias.ufop.br/handle/35400000/3650>.
17. https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV5161%20Aula%209%20-%20Desempenho%20termico%20paredes%20e%20coberturas_0.pdf
18. GUTERRES, FJC. **Plano de manutenção, operação e controle em ar-condicionados do Centro de Ciências Tecnológicas do Campus Paulo VI**. 2019. Disponível em: <https://repositorio.uema.br/handle/123456789/1178>.
19. ME DOS REIS JÚNIOR, M.; DE PAULA, L. D. R. **Engenharia civil e a criação de ambientes hospitalares promotores da prevenção de infecções: fatores de projeto em foco**. In: PERIÓDICOS FAMIG, 2023. Disponível em: <https://periodicos.famig.edu.br/index.php/parametrica/article/view/436>.
20. MORENO, L. M. **Concepção e dimensionamento de redes de dutos de ventilação Para unidades de tratamento intensivo**. 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/54975>.
21. ODYA, L. S. **Elaboração de projeto e análise de custos entre dois sistemas de ar-condicionado**. 2022. Disponível em: <http://repositorio.upf.br/handle/riupf/2261>.
22. OLIVEIRA, J.G.G. **Aprimoramento do sistema de climatização de um bloco cirúrgico modular**. 2016. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/13752>.
23. PAJOLLA, R. **Melhorias no Hospital das Clínicas de Ribeirão Preto-SP: reformas de adequação e implantação do Laboratório de Medicina Nuclear e PET-CT**. 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/18483>.
24. PEREIRA, M.V.E.; MACHADO, L.; MOREIRA, W.D.; CANÇADO, K.N. **Qualidade do ar em ambiente hospitalar no contexto da COVID-19 sob a perspectiva da Norma NBR ABNT 7256/2021**. Repositório UFMG, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/57500>.
25. SANCHO, TAV; SILVA, JCR; SILVA, CF; SALES, GL. **Potencial de aproveitamento da ventilação natural em unidades de pronto atendimento (UPA) no pós-pandemia**. Disponível em: <http://www.realp.unb.br/jspui/handle/10482/44627>.
26. SANTOS, A. P. **Estudo e avaliação de performance em sistemas de ar-condicionado: um comparativo entre sistemas split system e sistema VRV (vazão de refrigerante variáveis)**. Disponível em:

<https://ppgep.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/Dissertacao2017-PPGEP-MP-AndersonPinhodosSantos.pdf>.

27. SILVER, DM; MORAES, DG. **Projeto de ar-condicionado: climatização de um ambiente ao atendimento médico comparando o uso da energia elétrica convencional com a energia fotovoltaica**, 2023. Disponível em: <http://repositorio.unitau.br/jspui/bitstream/20.500.11874/6955/1/TG%20-%20Desiane%20e%20Douglas%20Final%20-%20Regina%20Lindgren.pdf>.

28. TEIXEIRA, JFM. **Ventilação hospitalar em ambiente pandêmico**. 2021. Disponível em: <https://search.proquest.com/openview/c71de66349befc9dda8fc2e1e11d097a/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>

29. VALVERDE, M. S. **Modelagem e simulação do impacto da vazão de ar exterior variável e recuperação de energia sobre o desempenho de sistemas de ar-condicionado**. 2016. Disponível em: <http://icts.unb.br/jspui/handle/10482/21305>.

30. VIEIRA, M. S.; SANTOS, A. M. **Dimensionamento de um sistema de climatização para uma rede comercial no município de Natividade-RJ**, 2023. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJB/article/view/61121>.

DESCRIÇÃO

ITEM	QTD.	LISTA DE MATERIAL
01	08	CONDICIONADOR DE AR TIPO "SPLIT HI WALL" marca midea, mod. 42 maca 09 (9000 btu/h, 497 m3/h)/38 kca 09, 0,82 kw)
02	01	CAIXA VENTILADORA COM FILTRO G4+M5 V=2128M3/H X 25MMCA, 1,00 kw - TENSÃO 220V/3F/60Hz
03	02	CONDICIONADOR DE AR TIPO "SPLIT HI WALL" marca midea, mod. 42 maca 18 (18000 btu/h, 871 m3/h)/38 kca 18, 1,63 kw)
04	03	CONDICIONADOR DE AR TIPO "SPLIT TETO" marca carrier, mod. 42 zqa 30 (30000 btu/h, 1260 m3/h)/38 cca 36, 4,622 kw)
05	01	CONDICIONADOR DE AR TIPO "SPLIT TETO" marca carrier, mod. 42 zqa 36 (36000 btu/h, 1360 m3/h)/38 cca 36, 4,72 kw)
06	01	CONDICIONADOR DE AR TIPO "SPLIT HOSPITALAR " DOTADO DE FILTRO G4+F8 marca Tosi, mod. SST05H42LEGAGLS/UCATH5 CAPACIDADE: 60000 Btu/h, 3400m3/h, 6,07 KW, 220V/3F/60 HZ
07	01	CONDICIONADOR DE AR TIPO "SPLIT HOSPITALAR " DOTADO DE FILTRO G4+F8 marca Tosi, mod. SST07H42LEGAGLS/UCATH7 CAPACIDADE: 90000 Btu/h, 5100m3/h, 9,5 KW, 220V/3F/60 HZ
08	-	-
09	10	EXAUSTOR AXIAL, REF.:SICFLUX/ MEGA 34(121 / 118,36 / 88,65/ 108 / 99,45 / 88,65 / 81,9 / 140,4 / 97,2 / 67,5 m³/h ; CONSUMO=24W, TENSÃO 220V/1F/60HZ
10	09	VÁLVULA DE DISCO SICFLUX / RVA100 D=100MM
11	04	VÁLVULA DE DISCO SICFLUX / RVA150 D=150MM
12	04	DIFUSOR QUADRADO 4 SAÍDAS PARA INSUFLAMENTO MODELO DE REFERÊNCIA :DI-41+RG- 9X9" - FABRICAÇÃO TROPICAL
13	02	DIFUSOR QUADRADO 1 SAÍDA PARA INSUFLAMENTO MODELO DE REFERÊNCIA :DI-11+RG- 18X18" - FABRICAÇÃO TROPICAL
14	01	DIFUSOR QUADRADO 1 SAÍDA PARA INSUFLAMENTO MODELO DE REFERÊNCIA :DI-11+RG- 15X15" - FABRICAÇÃO TROPICAL
15	03	DIFUSOR QUADRADO 1 SAÍDA PARA INSUFLAMENTO MODELO DE REFERÊNCIA :DI-11+RG- 6X6" - FABRICAÇÃO TROPICAL
16	01	VENEZIANA PARA RETORNO MODELO DE REFERÊNCIA :RHN- 500X300mm - FABRICAÇÃO TROPICAL
17	01	VENEZIANA PARA RETORNO MODELO DE REFERÊNCIA :RHN- 800X600mm - FABRICAÇÃO TROPICAL
18	01	VENEZIANA PARA RETORNO MODELO DE REFERÊNCIA :RHN- 400X300mm - FABRICAÇÃO TROPICAL
19	04	VENEZIANA PARA RETORNO MODELO DE REFERÊNCIA :RHN- 300X200mm - FABRICAÇÃO TROPICAL
20	01	DAMPER REGULADOR DE VAZAO P/TOMADA DE AR EXTERIOR 400x400mm
21	01	DAMPER CORTA FOGO NAS DIMENSÕES 400x400mm
22	01	DAMPER REGULADOR DE VAZAO COM FILTRO G4 P/TOMADA DE AR EXTERIOR 250x150mm
23	01	DAMPER CORTA FOGO NAS DIMENSÕES 250x150mm
24	01	DAMPER REGULADOR DE VAZAO COM FILTRO G4 P/TOMADA DE AR EXTERIOR 150x100mm
25	01	DAMPER CORTA FOGO NAS DIMENSÕES 150x100mm
26	03	VENEZIANA PARA RETORNO MODELO DE REFERÊNCIA :RHN- 200X150mm - FABRICAÇÃO TROPICAL