

CENTRO PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ITAQUERA  
PROFESSOR MIGUEL REALE

**PROJETO DE CLIMATIZAÇÃO**  
APLICAÇÃO DE RECUPERADORES DE CALOR EM PROJETOS RESIDENCIAIS

São Paulo

2024

CENTRO PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ITAQUERA  
PROFESSOR MIGUEL REALE

ANTONIO MARCOS DA SILVA  
CAROLINE DA COSTA ALVES EVANGELISTA  
DAVI EVARISTO DA SILVA

**PROJETO DE CLIMATIZAÇÃO**  
APLICAÇÃO DE RECUPERADORES DE CALOR EM PROJETOS RESIDENCIAIS

Projeto Tecnológico para a conclusão do curso Superior de Tecnologia em Refrigeração, Ventilação e Ar Condicionado da Faculdade de Tecnologia de Itaquera.

Orientador: Prof. Sandro Marcelo Martins

São Paulo

2024

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

ANTONIO MARCOS DA SILVA  
CAROLINE DA COSTA ALVESEVANGELISTA  
DAVI EVARISTO DA SILVA

### **PROJETO DE CLIMATIZAÇÃO**

Aplicação de Recuperadores de Calor em Projetos Residenciais

Projeto Tecnológico elaborado como requisito parcial para a conclusão do curso Superior de Tecnologia em Refrigeração, Ventilação e Ar Condicionado da Faculdade de Tecnologia de Itaquera.

Orientador: Prof. Sandro Marcelo Martins.

Aprovado em: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

#### **BANCA EXAMINADORA**

Prof. Sandro Marcelo Martins      Assinatura: \_\_\_\_\_

Instituição: FATEC ITAQUERA      Data: 07/12/2024

Prof. Paulo José Maria      Assinatura: \_\_\_\_\_

Instituição: FATEC ITAQUERA      Data: 07/12/2024

Rafael Rocha Maia      Assinatura: \_\_\_\_\_

Instituição: FATEC ITAQUERA      Data: 07/12/2024

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por permitir mais essa conquista em nossas vidas.

Aos familiares que nos apoiaram em todos os momentos.

Ao Prof. Sandro Marcelo Martins pelas orientações e toda ajuda para elaboração deste trabalho.

A todos os professores que com muita dedicação, tempo e esforço nos ensinaram o melhor caminho a ser trilhado.

Aos amigos e colegas de turma que de alguma forma contribuíram para o nosso sucesso.

## RESUMO

Com o aquecimento global, o efeito estufa e a destruição da camada de ozônio, existem nações do mundo inteiro se empenhando em adotar medidas mais sustentáveis para seguir com as suas atividades normalmente. Empenho esse que foram descritos por áreas de extrema importância para o desenvolvimento humano como arquitetura, agronomia, robótica, metalúrgicas, usinas e engenharias. A engenharia mecânica dentro do Brasil da mesma forma vem tomando iniciativas sustentáveis aplicadas a aparelhos de controle e qualidade do ar. Tem de suma importância pois o uso do ar-condicionado tanto para conforto quanto para controle de temperatura e qualidade em ambientes controlados, tem um consumo alto de energia elétrica, tornando-os pouco sustentáveis, levando em conta o custo atual para produção de energia elétrica. Embora existam condicionadores de ar que utilizam tecnologias mais eficientes, esses ainda são poucos utilizados por serem equipamentos mecânicos que necessitam de tecnologias inovadoras com custo de produção elevado. Esse trabalho objetiva a implementação de um sistema eficiente energeticamente e viável financeiramente com produtos já fornecidos no mercado, procurando assim maneiras de baratear o investimento do consumidor final com o uso de aparelhos mais modernos e tecnológicos consumindo menos energia elétrica e ecologicamente corretos.

**Palavras-Chave:** Sustentabilidade. Ar-condicionado. Eficiência energética. Viabilidade financeira. Consumo de energia elétrica.

## ABSTRACT

With global warming, the greenhouse effect, and the destruction of the ozone layer, nations worldwide are striving to adopt more sustainable measures to continue their activities normally. This effort has been described by areas of extreme importance for human development such as architecture, agronomy, robotics, metallurgy, power plants, and engineering. Similarly, mechanical engineering within Brazil has been taking sustainable initiatives applied to air control and quality devices. This is a topic of utmost importance because the use of air conditioning, both for comfort and for temperature and quality control in controlled environments, consumes a high amount of electrical energy, making them less sustainable, considering the current cost of electricity production. Although there are air conditioners that use more efficient technologies, these are still underutilized due to being mechanical equipment requiring innovative technologies with high production costs. This work aims to implement an energy-efficient and financially viable system using products already available in the market, thus seeking ways to lower the investment for the end consumer by using more modern and technological devices that consume less electrical energy and are environmentally friendly

Keywords: Sustainability. Air conditioning. Energy efficiency. Financial viability. Electric power consumption.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Diferenças entre VRF e Multi-split.....	17
Tabela 02 – Condições Externas.....	23
Tabela 03 – $\Delta T$ médio para os tipos de superfície.....	38
Tabela 04 – Cálculo de recuperação de calor baseado nas exaustões dos banheiros.....	41
Tabela 05 – Resumo de Carga Térmica - SEM recuperador de calor.....	43
Tabela 06 – Resumo de Carga Térmica - COM recuperador de calor.....	43
Tabela 07 – VRF - Seleção de equipamentos SEM recuperador de calor.....	44
Tabela 08 – VRF - Seleção de equipamentos COM recuperador de calor.....	45
Tabela 09 – Exaustores.....	48
Tabela 10 – Orçamento do sistema proposto SEM recuperador de Calor.....	53
Tabela 11 – Orçamento do sistema proposto COM recuperador de Calor.....	53
Tabela 12 – Investimento em Manutenção Preventiva SEM Recuperador de Calor.....	55
Tabela 13 – Investimento em Manutenção Preventiva COM Recuperador de Calor.....	55

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Funcionamento do Sistema de Ar Condicionado.....	10
Figura 02 – Sistema Split System.....	11
Figura 03 – Comparação Sistema Inverter e Convencional.....	12
Figura 04 – Diagrama Isométrico do sistema Multi Split.....	18
Figura 05 – Diagrama Isométrico do sistema VRF.....	19
Figura 06 – Perspectiva com a frente da casa.....	22
Figura 07 – Localização do terreno.....	23
Figura 08 - Coeficiente global de transferência de calor para alvenarias externas.....	25
Figura 09 - Coeficiente global de transferência de calor para alvenarias internas.....	25
Figura 10 - Coeficiente global de transferência de calor para lajes de piso.....	25
Figura 11 – Planta do Pavimento Térreo.....	33
Figura 12 – Planta do Pavimento Superior.....	34
Figura 13 – Planta da Cobertura.....	35
Figura 14 – Corte Esquemático.....	36
Figura 15 – Zonas para Cálculo de Carga Térmica.....	37
Figura 16 – VRV - Diagrama Isométrico dos Equipamentos.....	54
Figura 17 – VRV - Fluxograma de Equipamentos c/ Recuperador de Calor (Pav. Térreo).....	54
Figura 18 – VRV - Fluxograma de Equipamentos c/ Recuperador de Calor (Pav. Superior).....	55
Figura 19 – VRV - Fluxograma de Equipamentos c/ Recuperador de Calor (Pav. Térreo).....	55
Figura 20 – VRV - Fluxograma de Equipamentos s/ Recuperador de Calor (Pav. Superior).....	56

Figura 21 – Curva de selecionador do exaustor da linha Mega.....	57
Figura 22 – Curva de selecionamento do ventilador – FH.....	57
Figura 23 – Recuperador de Calor.....	58
Figura 24 – Curva de selecionamento do recuperador – CRS.....	59
Figura 25 – Simulador de Consumo.....	60
Figura 26 – Equipamentos orçados VRF.....	62

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Carga térmica por condução .....	38
Gráfico 02 – Carga térmica por insolação.....	40
Gráfico 03 – Carga térmica por ocupação.....	40
Gráfico 04 – Resumo carga térmica sem recuperador.....	45
Gráfico 05 – Resumo carga térmica com recuperador.....	46

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>A</b>	Área da face (m <sup>2</sup> )
<b>ASHRAE</b>	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
<b>CT</b>	Calor total (kcal/h)
<b>CS</b>	Calor Sensível (kcal/h)
<b>FCS</b>	Fator de Calor Sensível
<b>Hz</b>	Hertz
<b>ISO</b>	International Standard Organization
<b>kcal/h</b>	Quilocaloria por hora
<b>kW</b>	Quilowatt
<b>MCS</b>	Multiplicador de Calor Sensível
<b>NP</b>	Número de pessoas
<b>Q</b>	Quantidade de calor para o ambiente através de condução (kcal/h)
<b>Qil.</b>	Ganho de calor sensível devido à iluminação (watts)
<b>Q insol.</b>	Calor de insolação (kcal/ h)
<b>QS</b>	Ganho de calor sensível (kcal/h)
<b>TR</b>	Tonelada de Refrigeração
<b>U</b>	Coefficiente global de transmissão de calor (kcal/h.m <sup>2</sup> . °C)
<b>V</b>	Volts
<b>VACs</b>	Ventilation, Air Conditionings

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1 JUSTIFICATIVA .....	6
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	7
2.1 OBJETIVO GERAL .....	7
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	7
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	8
3.1 AQUECIMENTO GLOBAL .....	8
3.2 HISTÓRIA DO AR CONDICIONADO .....	8
3.3 EQUIPAMENTO DE AR CONDICIONADO .....	10
3.4 TIPOS DE TECNOLOGIA SPLIT SYSTEM .....	11
3.5 CALOR E TEMPERATURA .....	12
3.5.1 PSICROMETRIA .....	13
3.6 CONFORTO TÉRMICO .....	14
3.7 CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA .....	15
3.8 CLIMATIZAÇÃO DE AMBIENTES .....	16
3.9 SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO MULTI SPLIT X VRF .....	16
<b>5. METODOLOGIA</b> .....	22
5.1 DEFINIÇÕES .....	22
5.2 DADOS E CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	23
5.2.1 CALOR POR TRANSMISSÃO .....	24
5.2.2 CALOR POR INSOLAÇÃO .....	26
5.2.3 CALOR POR PESSOAS .....	27
5.2.4 CALOR POR INFILTRAÇÃO .....	28
5.2.5 CALOR POR EQUIPAMENTO .....	28
5.2.6 CALOR POR ILUMINAÇÃO .....	29
5.3 ESTRUTURA DO PROJETO .....	29
5.4 NORMAS TÉCNICAS APLICÁVEIS .....	30
5.5 MATERIAIS .....	31
5.6 PROJETO BÁSICO DE ARQUITETURA .....	31
<b>6. RESULTADOS</b> .....	36
6.1 ESTUDO DE LAYOUT .....	36
6.2 RESULTADOS DE CARGA TÉRMICA .....	37
6.2.1 CONDUÇÃO .....	37
6.2.2 INSOLAÇÃO .....	38
6.2.3 CALOR POR PESSOAS .....	39
6.2.4 INFILTRAÇÃO .....	40
6.2.5 CALOR POR EQUIPAMENTOS .....	42
6.2.6 CALOR POR ILUMINAÇÃO .....	43
6.2.7 RESUMO DE CARGA TÉRMICA .....	43
6.3 SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS .....	45
6.3.1 VENTILADORES E EXAUSTORES .....	49
6.3.2 RECUPERADOR DE CALOR .....	51
6.3.3 COMPARATIVO DE CONSUMO .....	52
6.4 ORÇAMENTO DOS EQUIPAMENTOS .....	53
6.5 ANÁLISE DE INVESTIMENTO .....	55
<b>7. CONCLUSÃO</b> .....	58
REFERÊNCIAS .....	61
APÊNDICES .....	61
APÊNDICE A – CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO .....	62

APÊNDICE B – PROJETO DE CLIMATIZAÇÃO.....	63
APÊNDICE C – TABELAS COM AS CARACTERÍSTICAS DE CONDUÇÃO.....	67
APÊNDICE D – TABELAS COM AS CARACTERÍSTICAS DE INSOLAÇÃO.....	70
APÊNDICE E – TABELAS COM AS CARACTERÍSTICAS DE CALOR POR PESSOA .....	73
APÊNDICE F - PROJETO COMPLETO.....	75

## 1. INTRODUÇÃO

O mundo enfrenta um sério problema com o aquecimento global, efeito estufa, destruição da camada de ozônio, degradação do meio ambiente de modo geral (SILVA, 2011). Como os equipamentos de climatização são tidos como vilões do meio ambiente, se faz necessário alternativas que sejam a princípio ecologicamente aceitáveis e se nota estudos científicos avançados, que visam o menor consumo elétrico, promoção de selos Leed, certificações Aqua, automação dos equipamentos tudo isso para torná-los mais eficazes e sustentáveis. No entanto, esses equipamentos de ar são inviabilizados para o consumidor final, visto que, além do próprio preço do equipamento ser elevado, existem custos maiores envolvendo uma instalação complexa e automatizada tornando o retorno ao investimento demorado ou inviável. Todo investimento sempre procura levar em conta a rentabilidade esperada, isto é, os rendimentos ao longo da vida útil dos equipamentos superarão os custos do investimento (CORDER, 2005). Tendo isso em mente será elaborado um sistema de climatização viável financeiramente e energeticamente sustentável.

A sustentabilidade se faz necessário e importante para a conservação e preservação do meio ambiente. Porém quando se fala sobre carros sustentáveis, eletros e eletrônicos sustentáveis, descarte sustentável, logo vem à mente o seu custo. Infelizmente, seja para produzir, ou, seja para descartar um produto sustentavelmente, as empresas se deparam com o alto custo que demanda tais ações, conforme estudo realizado e publicado na Revista de Administração RAUSP (vol.47 06/2012).

A motivação para escolha deste tema surge da necessidade de atender uma residência e proporcionar conforto térmico em busca de soluções eficientes energeticamente. É imprescindível desenvolver um projeto de climatização que ofereça eficiência e qualidade de vida.

## 1.1 Justificativa

Visando sustentabilidade para a climatização de ambientes, os aparelhos de ar condicionado têm um grande impacto no consumo de energia elétrica. Notando o aumento de temperatura dos últimos anos, garantir o conforto térmico dos ambientes têm exigido uma carga térmica maior durante a maior parte do dia. Além do mais, existem ambientes onde o controle da temperatura vai além do conforto humano tornando-se necessário até para a saúde humana. Com isso, o custo para produção de energia elétrica vem crescendo proporcionalmente ao aumento da temperatura (SOUZA, 2010). Assim, olhando para os equipamentos de alta performance, onde a relação entre a energia térmica fornecida e a energia elétrica consumida é alta, tem um maior investimento inicial quando comparado a máquinas tradicionais tornando seu uso esporádico.

A implementação de um sistema de climatização também se torna importante devido a motivos de: saúde e qualidade do ar, eficiência energética, inovação e tecnologia, valorização do imóvel e desafios climáticos. Controlar as variações e os fatores adversos do clima, é necessidade primordial para o conforto e bem-estar do ser humano com o intuito de criar um ambiente interno favorável e estável para desenvolvimento de suas atividades.

Diante desse problema de pesquisa, apresenta-se a hipótese de que é necessário projetar um sistema de climatização eficiente em kW de refrigeração com custo reduzido quando comparado a equipamentos de alta performance (Coeficiente de Desempenho).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral é projetar e comparar os sistemas disponíveis no mercado, assim viabilizar financeiramente um sistema de climatização eficiente energeticamente para uma residência unifamiliar.

O projeto também visa propor soluções adequadas para o conforto térmico na residência, para atender uma temperatura e umidade conforme orientações descritas pela NBR-16401-1/2008, buscando conciliar tecnologia e fatores ambientais e energéticos.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Junto ao objetivo geral visamos os seguintes objetivos específicos:

- Projetar um sistema de climatização, e apresentar diferenças do sistemas VRF (Fluxo de Refrigerante Variável) e multi split;
- Elaborar um estudo de viabilidade levando em consideração os custos envolvidos em cada tipo de sistema e seu retorno ao cliente;
- Proporcionar possíveis melhorias para o conforto térmico dos ocupantes do ambiente envolvido, atendendo aos requisitos das normas regulamentadoras;
- Verificar a viabilidade e aplicação de recuperadores de calor quanto a eficiência no sistema

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1 Aquecimento Global**

O aquecimento global é um fenômeno de tipo climático causado pelo aumento da temperatura na Terra, fatores internos e externos, emissão de gases do efeito estufa e uma série de atividades humanas.

Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (International Panel on Climate Change - IPCC) conclui, que os modelos globais têm mostrado que entre 1900 e 2100 a temperatura global pode aquecer entre 1.4 e 5.8°C (MARENGO, 2007).

Como essas elevações de temperatura geram certo desconforto na população, se faz necessário o uso de equipamentos alinhados com o avanço da tecnologia, para que haja conforto térmico e menor consumo de energia.

#### **3.2 História do Ar Condicionado**

Em 1902, o engenheiro norte-americano Willis H. Carrier desenvolveu um processo mecânico para condicionar o ar, a fim de resolver um problema em uma empresa de impressão em Nova Iorque. Ele teve a ideia de resfriar o ar por meio de dutos artificialmente refrigerados para controlar a umidade no ambiente. Esse método pioneiro de controle de temperatura e umidade marcou o surgimento dos condicionadores de ar mecânicos (Carrier, 1998).

Foi somente com Stuart Cramer, em 1906, que surgiu o termo “ar condicionado”. Ele criou o seu próprio aparelho visando descobrir formas de adicionar umidade ao ar em sua fábrica de tecidos. Carrier acabou por adotar também o termo e incorporou-o ao nome da sua empresa. Os inventores, inicialmente, não perceberam o potencial daquele aparelho e, dessa forma, a invenção demorou a se popularizar. Foi somente em 1914 que foi feita a primeira aplicação residencial do ar condicionado. Também neste ano, Carrier instalou o primeiro condicionador de ar hospitalar, no Allegheny General Hospital de Pittsburgh.

Em 1922, o ar condicionado tornou-se importante para a indústria cinematográfica, pois no verão muitos cinemas enfrentavam uma queda no público, levando ao fechamento de várias salas. No ano seguinte, uma loja de departamentos em Detroit instalou três sistemas de ar condicionado, atraindo multidões de consumidores. A popularidade do ar condicionado cresceu ainda mais quando começou a ser instalado em locais públicos.

O cinema Tivoli, em Nova Iorque, tornou-se famoso em 1924 após a instalação de um sistema de ar condicionado, atraindo espectadores mais pelo conforto térmico do que pelos filmes exibidos. Nesse período, os sistemas de ar condicionado também começaram a ser instalados em escritórios, como a Câmara dos Deputados e o Senado dos Estados Unidos, sendo climatizados em 1928 e 1929, respectivamente.

No final da década de 1920, a Carrier já comercializava um modelo residencial de ar condicionado. No entanto, a Grande Depressão representou um desafio para a empresa. Em 1930, sistemas de ar condicionado foram instalados nos escritórios executivos da Casa Branca, e os vagões da ferrovia B&O se tornaram os primeiros veículos de passageiros a serem equipados com sistemas de ar condicionado.

Nessa época, Carrier desenvolveu um sistema que permitia o uso de ar condicionado em arranha-céus. O sistema "Weathermaster", criado em 1939, distribuía o ar a alta velocidade por dutos, economizando espaço em comparação com os sistemas existentes na época. Também em 1939, os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC) começaram a ser instalados em automóveis. Apesar dos avanços no setor, a crise econômica e a Segunda Guerra Mundial resultaram em uma queda nas vendas dos sistemas de ar condicionado. Foi somente após esses conflitos que o ar condicionado residencial começou a ser adotado em larga escala, com teatros, bares e escritórios sendo projetados como ambientes fechados.

Segundo Carrier (1998), a primeira produção em série de unidades centrais de ar condicionado residencial foi realizada pela Carrier em 1952, após a retomada do crescimento do setor. Todo o estoque foi vendido em apenas duas semanas, tornando o uso desses dispositivos mais comum em residências.

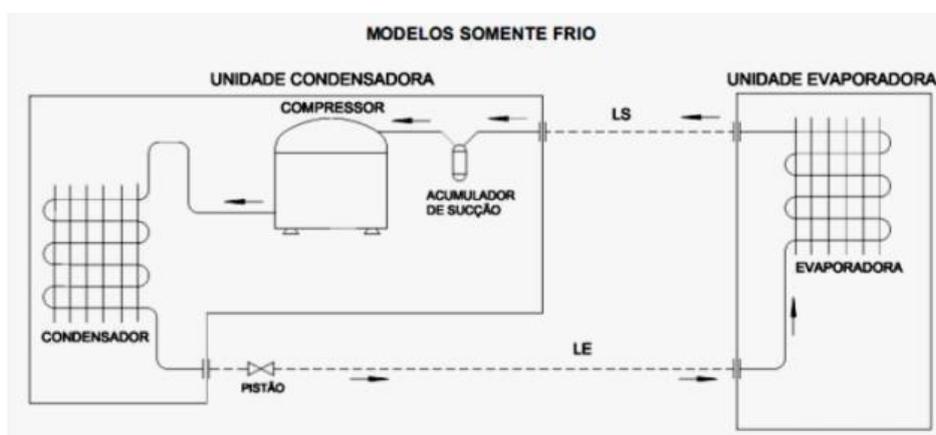
Em 1957, o primeiro compressor rotativo foi introduzido, diminuindo o tamanho do aparelho e deixando-o mais leve e silencioso. Na década seguinte, o mercado iniciou uma expansão que vai até os dias de hoje. E, devido ao boom na época anterior, o custo dos aparelhos também se apresentava mais acessível. Ainda com uma estrutura simples na década de 1970, os modelos de ar condicionado janela começaram a surgir no mercado.

Em 1977, novas bombas de calor começam a atuar com temperaturas exteriores mais baixas, possibilitando a climatização no ciclo reverso. Dessa vez, os favorecidos foram os automóveis.

Na década de 1990, houve um aumento do interesse por práticas sustentáveis, impulsionado pelo Protocolo de Montreal, assinado em 1987, que proibia o uso de substâncias prejudiciais à camada de ozônio, como o Freon, gás refrigerante amplamente utilizado em sistemas de ar condicionado até então. A evolução contínua das tecnologias levou ao desenvolvimento de modelos *Split*, que se tornaram populares, especialmente em residências.

Em 2018, os dados da Abrava indicavam que 72% das residências e empreendimentos no Brasil já adotavam o modelo Split, indicando uma mudança nas preferências dos consumidores em direção a equipamentos mais eficientes e modernos.

**Figura 01** – Funcionamento do Sistema de Ar Condicionado



Fonte: Carrier (2014)

### 3.3 Equipamento de Ar Condicionado

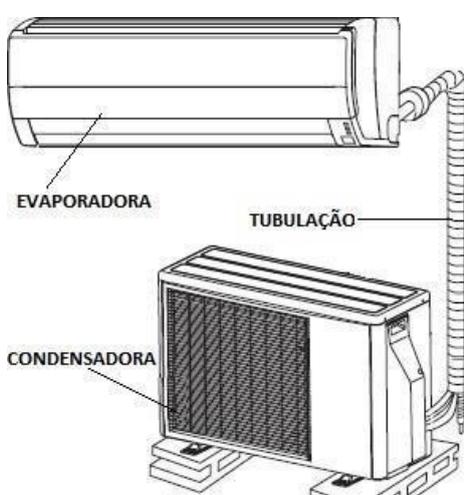
Os equipamentos de ar condicionado de acordo com Creder (2004), são divididos em sistemas de expansão direta (o condicionador recebe diretamente do recinto ou através de dutos a carga de ar frio ou quente) e expansão indireta (quando o condicionador utiliza um meio intermediário (água ou salmoura) para retirar a carga térmica que é transmitida pelo ar frio ou quente).

Segundo Creder (2004) “o condicionamento do ar de um recinto significa submetê-lo a certas condições, compatíveis com o objetivo da instalação, independentemente das características exteriores, de modo a controlar propriedades do ar interno, como temperatura, umidade relativa, velocidade e pureza do ar”.

Os equipamentos considerados como Split System, são sistemas divididos que possuem duas unidades, sendo uma interna denominada evaporadora e uma externa, chamada de unidade condensadora.

O sistema *Split System* é o mais comum aparelho condicionador de ar de pequeno porte, tendo como alvo residências e escritórios comerciais onde a área ocupacional é relativamente pequena, por se tratar de um equipamento que requer uma pequena área para sua instalação.

**Figura 02** – Sistema Split System



**Fonte:** Web Ar Condicionado (2019)

Neste grupo de Split System, existem diversos modelos para atender a todo tipo de ambiente, seja residencial ou comercial. Temos os modelos: split hi wall, teto ou piso teto, cassete, janela, duto e sistemas que são mais tecnológicos como multi split e VRF.

### 3.4 Tipos de Tecnologia Split System

Dentro da categoria dos equipamentos split system, possuem dois tipos de tecnologia: convencional e inverter. No ar condicionado convencional, a temperatura no ambiente tende a ter maior oscilação durante sua operação de climatização. Isso ocorre devido ao funcionamento do compressor (rotação fixa) que “liga e desliga”, ocasionando em maior consumo energético. Já o sistema inverter se difere do convencional, pois o compressor consegue variar em rotação. Dessa forma, a tecnologia inverter oferece vantagens como atingir a temperatura mais

rapidamente e a manter instável, tem menor nível de ruído, alta eficiência e economia de energia. Essa diferença pode ser vista através da figura 1.

**Figura 03** – Comparação Sistema Inverter e Convencional



Fonte: Climagel (2021)

O sistema VRF opera com o mesmo princípio de ajuste de temperatura das máquinas convencionais. No entanto, ao atingir a temperatura desejada, o equipamento reduz sua velocidade de operação, evitando que a carga térmica aumente de forma abrupta. Essa característica permite que, ao retornar à plena carga, o esforço requerido pelo sistema seja reduzido, contribuindo significativamente para a eficiência energética e para a redução do consumo de energia.

### 3.5 Calor e Temperatura

Podemos definir como temperatura uma medida estatística do nível de agitação entre moléculas, em relação ao deslocamento da energia cinética de um átomo ou molécula (Schneider, 2000). Compreende-se como calor a energia térmica que transita entre corpos, devido a diferença de temperatura entre eles. Chamamos o calor fornecido a um corpo e que provoca apenas variação de temperatura de calor sensível ou calor específico, cujo a unidade é: cal/g. °C. Essa relação informa a quantidade de calor que um grama de substância necessita receber ou ceder para que ocorra a variação de um grau de temperatura. Já se houver mudança de estado físico quando uma unidade de massa de uma substância perder ou receber calor, sem que haja mudança de temperatura, o calor será chamado de latente. O calor latente pode ser positivo ou negativo. Caso seja indicado que o material está recebendo calor, será positivo. E negativo quando estiver perdendo calor.

De acordo com o Sistema Internacional de Unidades, a unidade de calor latente ou sensível é o joule por quilograma (J/kg). Contudo, na prática, a caloria por grama (cal/g) é mais comumente utilizada. Sobre os conceitos das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido, segundo Cortinovis, G. F e Song, T. W. (2014), a temperatura de bulbo seco (TBS) é a própria temperatura do ar. A medição é feita utilizando um termômetro com o bulbo seco. Enquanto, a temperatura de bulbo úmido (TBU) é medida com o bulbo do termômetro envolvido por uma gaze umidificada com água. Devido ao fato de que parte da água presente na gaze, quando exposta a uma corrente de ar não saturado, evapora, fazendo com que a temperatura seja menor.

### 3.5.1 Psicrometria

Segundo o Prof. Dr. Marcelo José Pirani da UFBA, a psicrométrica é o estudo das misturas de ar e de vapor de água. Nos sistemas de ar condicionado o ar não pode ser considerado seco, mas sim como uma mistura de ar e de vapor d'água, resultando daí a importância da psicometria. Em alguns processos a água é removida do ar, enquanto em outros é adicionada.

Dentro de psicrometria, existe um instrumento de suma importância, a carta psicrométrica. O uso das cartas psicrométricas permite a análise gráfica dos processos que envolvem o ar úmido, facilitando assim a solução de muitos problemas típicos dos sistemas de condicionamento de ar.

Processos que envolvem a Psicometria:

- Umidade Relativa ( $\phi$ ): A umidade relativa é definida como a relação entre a pressão parcial do vapor de água na mistura e a pressão de saturação correspondente a temperatura da mistura
- Entalpia Específica do Ar Úmido: A entalpia de uma mistura de gases é igual a somadas entalpias dos componentes da mistura. Assim, para o ar úmido, a entalpia (H) é igual a soma das entalpias do ar seco ( $H_{ar}$ ) e do vapor de água ( $H_v$ ).
- Volume Específico do Ar Úmido: O volume específico do ar úmido ( $v$ ) é definido com relação entre o volume da mistura em  $m^3$  e a massa de ar seco em kg.
- Temperatura de Bulbo Seco: A temperatura de bulbo seco (TBS) é a temperatura indicada por um termômetro comum, não exposto a radiação.
- Temperatura de Bulbo Úmido: Se o bulbo de um termômetro for coberto com uma mecha de algodão saturado com água, a sua temperatura descenderá primeiro rapidamente

e depois lentamente até atingir um ponto estacionário. A leitura neste ponto é chamada de temperatura de bulbo úmido (TBU) do ar.

- **Temperatura de Orvalho:** A temperatura de orvalho (TO) é a temperatura na qual o vapor de água se condensa, ou solidifica, quando resfriado a pressão e umidade absoluta constante.
- **Entalpia:** é a energia contida no ar úmido, por unidade de massa de ar seco, para temperaturas superiores a uma determinada temperatura de referência.

### 3.6 Conforto Térmico

O conforto térmico é fundamental para o bem-estar humano. É influenciado por uma série de fatores, incluindo o metabolismo humano, o isolamento térmico proporcionado pelas roupas e variáveis ambientais como temperatura, umidade, velocidade do ar e radiação. A combinação adequada desses fatores em um ambiente específico proporciona conforto térmico e bem-estar (PRADO; CARMO, 2003).

A energia interna do ser humano tem origem no alimento, por vias do metabolismo, ocorrendo o consumo da energia nas funções fisiológicas indispensáveis para a sobrevivência de forma que a energia residual se transforma em calor. O ser humano é homeotérmico, de forma que o sistema termorregulador visa a manutenção do corpo na temperatura ideal de aproximadamente 36,5° C. A intensificação desse valor demanda de imediato controle, almejando-se redução do desconforto térmico, de maneira que, no âmbito da física, a otimização da sensação de conforto térmico se dá no momento em que o teor de calor obtido é equivalente ao calor cedido para o ambiente, não havendo esforços do sistema termorregulador (RUAS, 2003).

O conforto térmico refere-se à condição de um ambiente em que temperatura, umidade e circulação de ar estão ajustadas a níveis ideais para o bem-estar do corpo humano. Essa adequação permite que o organismo não seja impactado por sensações extremas de calor ou frio, proporcionando uma experiência ambiental agradável e equilibrada, na qual predomina a sensação de conforto.

De acordo com a fabricante Hitachi, o conforto no sentido mais amplo, e o bem-estar estão inevitavelmente ligados e têm um impacto direto um no outro. Elementos que nos fazem sentir

mais confortáveis nos levam a ter um melhor bem-estar; paz, sensação de segurança, conforto físico e muito mais.

Segundo Felipe Augusto Carvalho Faria (2016), após avaliação de carga térmica total, torna-se possível a identificação do tipo de aparelho e sistema de ar condicionado que possui potencial para suprir com a demanda de carga constatada e, conseqüentemente, viabilizar o conforto térmico.

Todavia, a seleção e especificação final do sistema exige a definição de critérios técnicos específicos, os quais são disponibilizados pela carta psicrométrica (CARRIER, 1992).

### **3.7 Cálculo de Carga Térmica**

Carga térmica de um ambiente é a quantidade de calor que deverá ser rejeitado para fora do ambiente. Esse calor é proveniente da energia térmica dissipada através de janelas, paredes, equipamentos elétricos etc., para dentro do ambiente que será climatizado, com o objetivo de proporcionar conforto térmico e atender as condições operacionais de máquinas e equipamentos, orientadas por normas técnicas vigentes.

Para que o projeto e a instalação do sistema de climatização sejam realmente eficazes, deverão ser considerados os seguintes elementos: fontes de calor internas, fonte de calor externas, entre outros.

As fontes de calor externa originam-se no meio exterior e atingem o ambiente condicionado de diversas formas, como: ganho de calor devido ao ar externo; ganho de calor devido à penetração por condução através de janelas, paredes, divisões, tetos, telhados e também, a radiação solar através de janelas e portas.

Já para as fontes de calor interno devem ser considerados principalmente: pessoas, iluminação, motores elétricos, motores dos equipamentos de ar condicionado, dissipação de calor por equipamentos, cargas especiais etc.

Nosso projeto está em conformidade com a norma brasileira regulamentadora, Norma Brasileira (NBR) de número 16401 “Instalações centrais para ar condicionado” da Associação Brasileira de Normas Técnica (ABNT).

### 3.8 Climatização de Ambientes

Atualmente, existem diversos tipos de condicionadores de ar, cuja aplicação varia de acordo com as necessidades específicas de cada ambiente. A seleção do aparelho ideal é determinada por uma série de fatores, incluindo demanda térmica, qualidade do ar interno, características da edificação e orçamento disponível, entre outros (ASHRAE, 2013).

A climatização nada mais é do que o controle de temperatura, tratamento do ar e demais variáveis relacionadas ao conforto térmico, que de acordo com Yamane & Saito (1986), pode-se dividir processo de condicionamento de ar em duas áreas de atuação:

- Condicionamento de ar para conforto – é utilizado para satisfazer as necessidades de conforto em ambientes ocupados por seres humanos;
- Condicionamento de ar industrial – é utilizado no interior de um espaço e imposto pelas necessidades de um processo ou de um produto.

Os sistemas de ar condicionado e de ventilação apresentam diversos objetivos, tais como ventilação especial, controle da qualidade do ar no ambiente interno, conforto térmico. De modo que a predominância nos equipamentos mais comuns seja o conforto térmico, os sistemas VRF, Split e Chiller evoluíram fortemente nas últimas décadas através da aplicação de novos compressores, acionamentos aperfeiçoados, otimização da eficiência e recuperação de calor, destacando-se que, nas circunstâncias críticas de carga térmica, o consumo energético intensifica-se, de forma que as mínimas alterações no consumo implicam em notável economia (CARRIER, 2014).

Para a climatização residencial, os aparelhos mais populares são o ar-condicionado Split. Esse modelo, por ser compacto, oferece excelente desempenho tanto no resfriamento quanto no aquecimento, adaptando-se às necessidades de diferentes tipos de ambientes.

### 3.9 Sistemas de Climatização Multi Split X VRF

Há no mercado uma grande oferta de equipamentos para climatização, produzidos por fabricantes diferentes que embora possuam particularidades, possuem também características de aplicação muito similares.

**Tabela 01** – Diferenças entre VRF e Multi-split

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>VRF</b>	<b>Multi-Split</b>
<b>Eficiência Energética</b>	Alta Eficiência COP até 9,25	Baixa Eficiência COP 3,99
<b>Custo Inicial</b>	Elevado	Mais Econômico
<b>Distância de Tubulação</b>	Maior Distância	Menor Distancia
<b>Número de Evaporadoras</b>	Até 64 evaporadoras	Até 08 Evaporadoras
<b>Manutenção</b>	Periódica e Qualificada	Menor Frequência
<b>Versatilidade</b>	Alta para Grandes Espaços	Menor para Grandes Espaços
<b>Instalação</b>	Complexa, requer Profissional Qualificado	Mais Simples
<b>Controle de Temperatura</b>	Individual por Zona	Individual por Unidade
<b>Capacidade de Resfriamento</b>	Maior Capacidade	Menor Capacidade
<b>Uso Recomendado</b>	Grandes Empreendimentos	Residências, Escritórios de Menor Porte
<b>Unidade Externa</b>	Modelos de Maior Capacidade	Modelos de Menor Capacidade

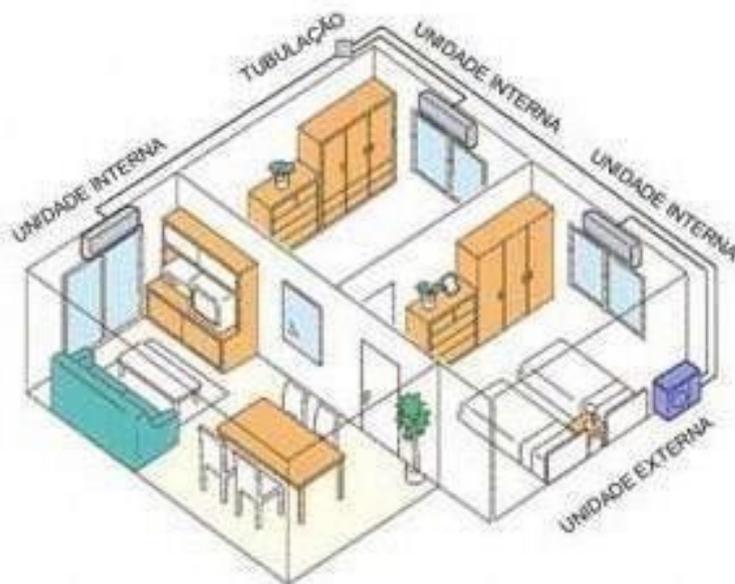
**Fonte:** Elaborado pelos Autores (2024)

O Multi-split é um sistema de climatização que provém de uma única unidade condensadora e múltiplas unidades evaporadoras, variando a quantidade de unidades internas de acordo com a capacidade da unidade externa. (AYNUR, 2010).

Esse sistema permite climatizar mais de um ambiente com apenas uma unidade externa (condensadora). Apresenta como características: a tecnologia inverter, consumo de energia em tempo real em eficiência energética, economia de espaço, instalação flexível, diferentes unidades internas (evaporadoras) com design estético e gerenciamento remoto através de aplicativo conforme fabricante para atender as necessidades do cliente. Além disso, é possível várias combinações de acordo com cada fabricante.

A versatilidade é uma outra característica importante desse sistema, respeitando as limitações de distância entre a unidade interna e a externa o sistema split é o mais indicado para baixas cargas. Porém essa limitação da distância pode restringir a flexibilidade da instalação, que em nosso projeto é fundamental devido à área disponível para a casa de máquinas.

**Figura 04** – Diagrama Isométrico do sistema Multi Split



**Fonte:** Web Ar Condicionado (2010)

Já sistema VRF é desenvolvido especialmente para residências amplas e edifícios comerciais de médio e grande porte. Assim como o sistema multi split, com apenas uma unidade externa é possível conectar a múltiplas unidades internas. O que se torna um diferencial é a quantidade de unidades internas, podendo chegar a 64 evaporadoras.

O agente refrigerante do sistema R410A, é o responsável pela captura térmica e intercâmbio do ar ambiente com o meio externo. O sistema de refrigeração chamado ciclo de refrigeração é composto por diversos componentes, os quais proporcionam uma condição de funcionamento que permite o retorno desse fluido para a condição inicial no ciclo.

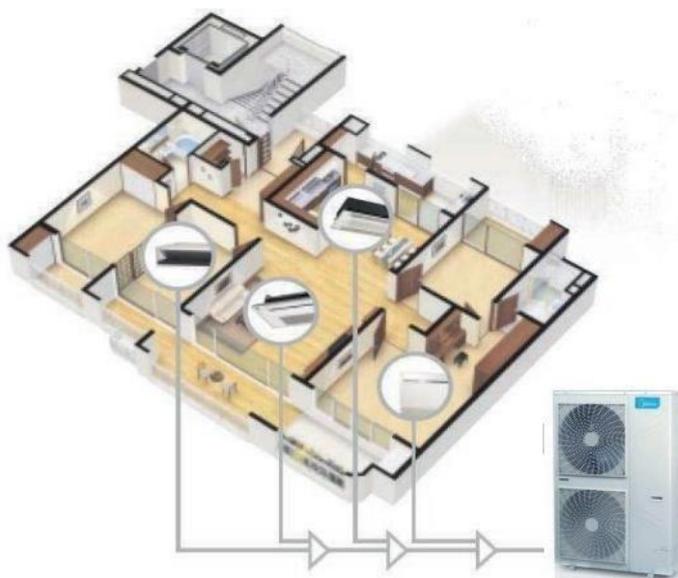
Em comparação ao Multi Split é uma solução poderosa de alta performance adequado aos mais diversos projetos. Sua tecnologia embarcada é necessária entender que nesse sistema demanda maior investimento e mão de obra especializada, sendo recomendado profissionais qualificados para garantir um bom funcionamento e a durabilidade do sistema, além de também manter a arquitetura sem alterar as características do empreendimento.

O sistema VRF, tem como vantagem o baixo consumo de energia elétrica, o que pode tornar a instalação muito mais vantajosa comparada aos sistemas convencionais de climatização, além de proporcionar um melhor resultado quanto ao conforto e controle térmico por zona ocupacional (POZZA, 2011).

Comparando-se atualmente o custo dos equipamentos multi split (considerando capacidade efetiva para cada ambiente) versus custo do VRF, o mercado tem apresentado diferenças em torno de 20 a 25% mais barato para multi split. Entretanto, considerando-se, custo inicial de instalação (infra de tubos de cobre, carga de gás, redes e componentes elétricos), custo de operação, custo de manutenção, esta diferença amortiza-se em aproximadamente 36 meses ou menos (função dos usos dos equipamentos e recursos de automação disponibilizados).

O presente estudo de viabilidade auxiliou no conhecimento das características de cada sistema, possibilitando a sua escolha. Tendo levantado as necessidades e as características do local da instalação e pensando que o sistema deve ser eficiente quanto a controle de temperatura e eficiente energeticamente, escolheremos o equipamento que melhor atende aos requisitos do projeto.

**Figura 05** – Diagrama Isométrico do sistema VRF



**Fonte:** Midea (2018)

#### 4. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A eficiência energética é um dos pilares para um futuro sustentável, proporcionando benefícios econômicos, ambientais e sociais.

A importância da eficiência energética é vital por vários fatores como a redução de custos para consumidores e empresas com novas tecnologias e inovações, conservação e utilização eficiente de recursos naturais como edifícios verdes, certificações, sustentabilidade ambiental menos omissões de gases de efeito estufa, contribuindo para mitigação das mudanças climáticas.

Quando o objetivo é refrigerar e climatizar um ambiente, entram em cena os aparelhos e sistemas de ar-condicionado. Para garantir que a instalação esteja correta, segura e eficiente, o primeiro passo é fazer um projeto de climatização, identificando todas as informações necessárias para cada espaço e focando na eficiência energética. O indicado é encontrar os dados técnicos, como: ventilação natural, a potência elétrica e suas saídas, a instalação hidráulica, etc. (Daikin, 2020)

Para medir a eficiência de um ciclo de refrigeração a vapor é usado o coeficiente de performance, COP, que é um parâmetro fundamental na análise de sistemas de refrigeração. Relaciona o efeito desejado – refrigeração, com o que se paga por isso – energia consumida, avaliando a capacidade do ciclo de retirar calor sobre a potência consumida pelo compressor. (MEDEIROS & BARBOSA, 2009)

Quando se fala de eficiência energética em ar condicionado, revela-se a necessidade de entregar conforto na forma de BTU/h, TR, kW ou HP, com o menor consumo de energia possível. A ordem é otimizar, ou seja, fazer o “clássico” mais com menos. Ao longo dos anos, muito tem sido falado sobre crise energética e a necessidade de entregar projetos de alta eficiência energética (ANTONIOLLI, João Carlos, 2020).

O cálculo do COP é fundamental para determinar o rendimento mecânico e energético do compressor, sendo determinante para o rendimento térmico do sistema. Ele indica a relação entre a quantidade de calor removido ou fornecido por uma quantidade de energia elétrica consumida para realizar processo.

A importância do COP está diretamente relacionada a eficiência energética quanto mais alto mais eficiente é o sistema em termos de energia com custos baixos de operação ao longo do tempo. Aplicação varia em aquecedores, bomba de calor, ar condicionado, refrigeração industrial.

Fórmula do COP:

$$COP = \frac{Q}{W} \quad (1)$$

Onde:

Q = quantidade de calor fornecida ou removida (watts ou Btus)

W = quantidade de energia elétrica consumida pelo sistema (watts)

## 5. METODOLOGIA

Para elaboração do projeto de climatização, recebemos do cliente um pacote arquitetônico com plantas, e o modelo 3D descrevendo assim cada ambiente e sua ocupação. Vamos modelar o sistema definido utilizando a ferramenta Revit, portando o projeto de climatização além das plantas habituais em 2D, iremos entregar o modelo 3D favorecendo assim futuras compatibilização com as demais disciplinas envolvidas no projeto da residência. Abaixo estão detalhadas a estrutura do projeto e as equações que serão utilizadas para determinação da carga térmica, e posteriormente a seleção dos equipamentos do sistema adotado.

### 5.1 Definições

A pesquisa, quanto aos objetivos, é classificada como um estudo exploratório, pois, segundo Gil (2002, p. 41), trata-se de “proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses”. Em relação aos procedimentos técnicos, a pesquisa se enquadra como um estudo de caso, tendo como definição: “[...] estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento[...].” (GIL, 2002, p. 54).

**Figura 06** – Perspectiva com a frente da casa

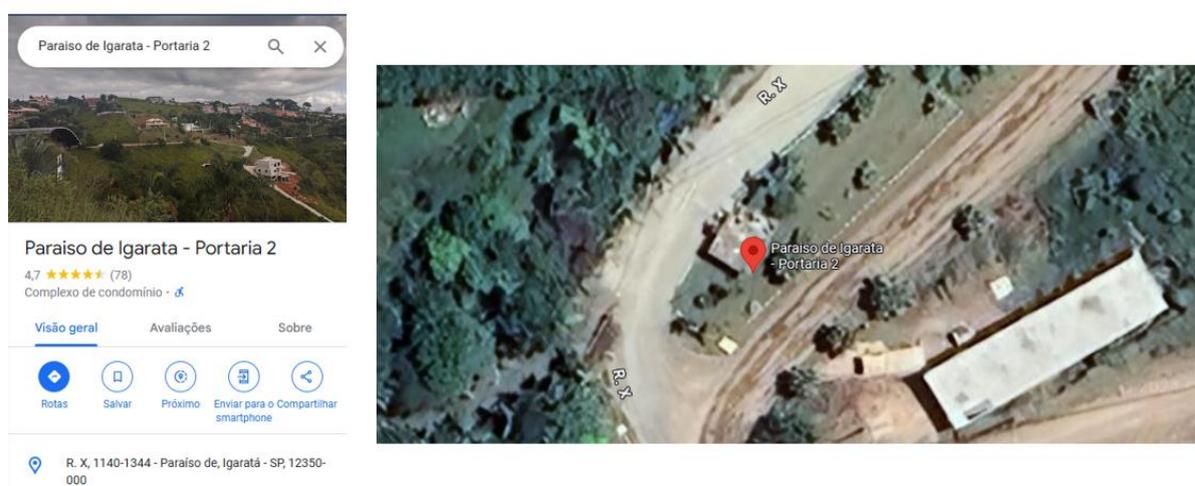


**Fonte:** Elaborado pelos Autores (2024)

## 5.2 Dados e Considerações Iniciais

O local ao qual se situa o objeto de pesquisa e estudo de caso, está situado na região de Igaratá no Estado de SP. A cidade é conhecida por sua natureza exuberante e é um excelente destino para quem busca atividades ao ar livre. Além disso, conta com acessibilidade com aproximadamente 80km de São Paulo.

**Figura 07** – Localização do terreno



**Fonte:** Google (2024)

O mês considerado para efeito de cálculo foi o mês de fevereiro, como na **tabela 02** em referência da norma ABNT NBR 16401-1:2024. As condições externas de temperatura de bulbo seco (TBS) é de 33,2 °C, e temperatura de bulbo úmido (TBU) de 21,9 °C. A frequência anual de 0,4%. Com condições internas de TBS sendo 24 °C e umidade relativa ( $\phi$ ) de 50%, conforme a norma ISO 7730 (2005) para conforto térmico. A residência será construída na cidade de Igaratá-SP, aproximadamente 23° de latitude sul (para efeitos de cálculos 23° graus de latitude sul).

**Tabela 02** – Condições Externas

SP	Campinas								EXTREM.	TBU	TBSmx	S	TBSmn	S
	Latitude	Longitude	Altitude	Pr.atm	Período	ANUAIS								
	23,00S	47,13W	661m	9363	82/01		29,4	35,8	1,4	5,5	2,5			
MÊS>Qt	FREQ.	RESFRIAMENTO E DESUMIDIFICAÇÃO				BAIXA UMIDADE			MÊS>Fr	FREQ.	AQUEC.	UMIDIFICAÇÃO		
FEV	ANUAL	TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	W	TBSc	JUN	ANUAL	TBS	TPO	W	TBSc
	0,40%	33,2	21,9	24,4	29,5	23,1	19,3	26,1		99,60%	8,6	3,9	5,4	16,8
$\Delta T_{md}$	1%	32,2	21,7	23,8	28,9	22,2	18,4	25,3		99%	10	5,9	6,2	17,7
9,8	2%	31,3	21,5	23,4	28,4	22	18,1	25,2						

**Fonte:** Elaborado pelos Autores (2024)

### 5.2.1 Calor por Transmissão

Foi considerada uma diferença de calor entre o ambiente externo e o ambiente interno condicionado. Essa relação pode ser encontrada na Norma Brasileira (NBR) de número 16401, que descreve os parâmetros necessários de conforto para instalações centrais de ar condicionado.

Para os cálculos do coeficiente global de transmissão de calor (U), iremos adotar os valores de condutibilidade térmica (K) das paredes, do piso, do teto e dos vidros de acordo com os dados fornecidos pela equipe responsável pelo projeto de arquitetura, assim adotaremos:

- “K do vidro comum= 0,16802 kcal/h\*m\*°C
- “K” do bloco de concreto com 2 furos=1,504 kcal/h\*m\*°C
- “K” da argamassa de cimento= 0,990 kcal/h°

Será adotado os valores de coeficiente de convecção (h) seguindo recomendação da Refrigeration Systems and Applications Handbook (ASHRAE).

- “h” adotado para ambiente externo =19,0 kcal/h.m².°C (ar em movimento 3,3 m/s).
- “h” adotado para ambiente interno =8,1 kcal/h.m².°C (ar parado).

Conforme descrito no Fundamentals Handbook (ASHRAE, 2005) o coeficiente global de transmissão de calor “U” pode ser obtido através da seguinte equação (1):

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{1}{h_2}} \quad (2)$$

U = Coeficiente Global de Transmissão de Calor (Kcal/h.m². °C)

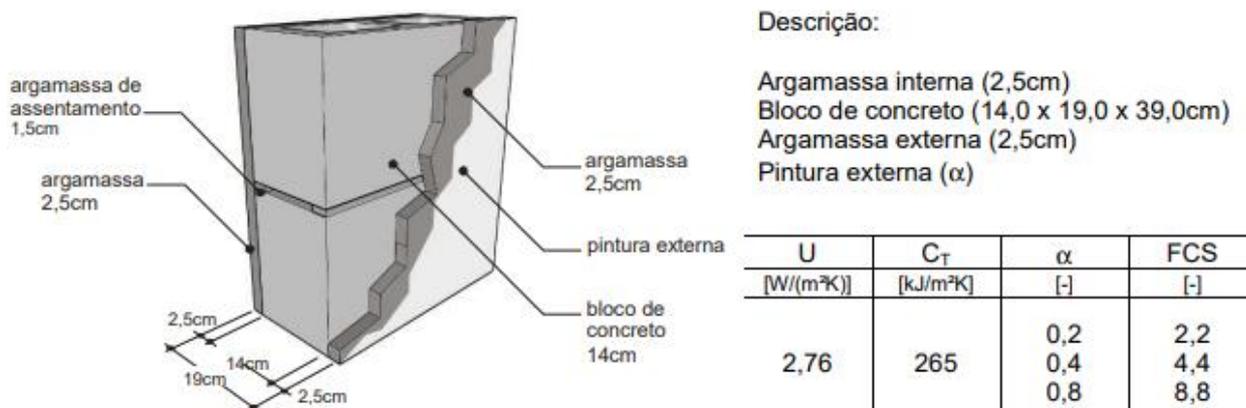
h = Coeficiente de Convecção ou Película (Kcal/h.m². °C)

k = Coeficiente de Condutibilidade Térmica (Kcal/h.m². °C)

e = Espessura da Parede (m)

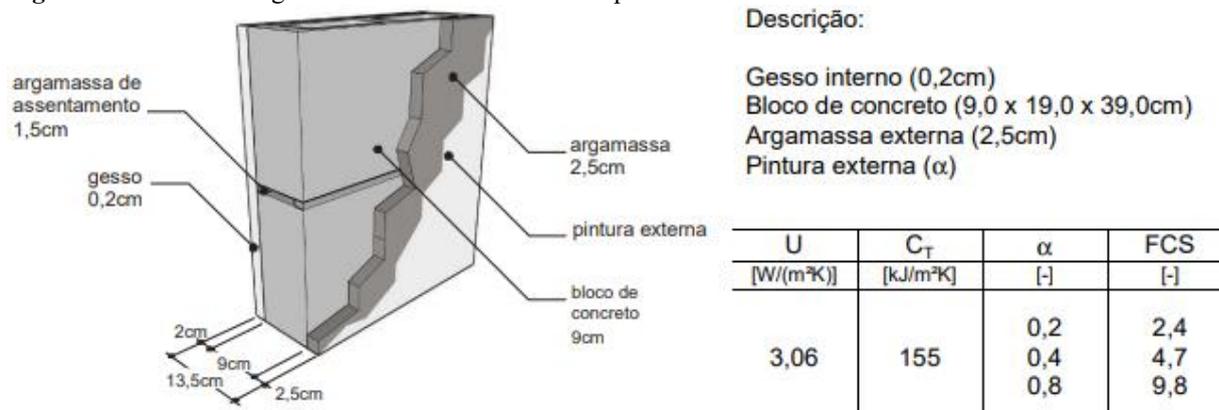
Assim adotando os valores acima, teremos os seguintes coeficientes globais de transmissão de calor:

**Figura 08** - Coeficiente global de transferência de calor para alvenarias externas



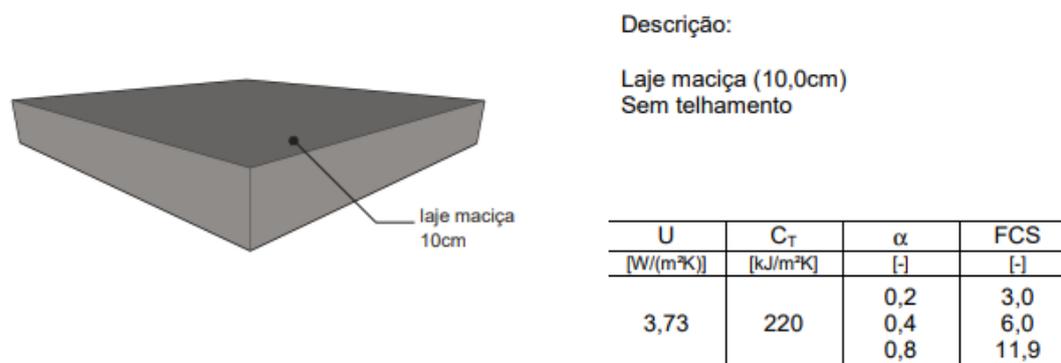
Fonte: Elaborado pelos Autores (2024)

**Figura 09** - Coeficiente global de transferência de calor para alvenarias internas



Fonte: Elaborado pelos Autores (2024)

**Figura 10** - Coeficiente global de transferência de calor para lajes de piso



Fonte: Elaborado pelos Autores (2024)

Lembrando que, com o tipo de composição adotada para alvenaria, teremos mais elementos associados em série. Assim, utilizando a Lei de Fourier obtemos a taxa de transferência de calor devido à transmissão, aplicando a seguinte equação (2):

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (3)$$

Onde:

Q = Quantidade de calor para o ambiente através de condução (kcal/h)

U = Coeficiente global de transmissão de calor (kcal / h. m<sup>2</sup>. °C)

A = Área (m<sup>2</sup>)

ΔT = Diferença de temperatura entre ambientes externo e interno considerados. (°C)

### 5.2.2 Calor por Insolação

A insolação é o fator que apresenta maior representatividade na maioria dos cálculos de carga térmica, pois, a partir do estudo da posição do edifício no terreno é possível realizar compensações e ajustes nos equipamentos para garantir a temperatura estabelecida no ambiente a ser climatizado. Em nosso projeto, a posição do edifício em relação aos pontos cardeais foi informada durante o levantamento topográfico da casa e do terreno. Essa informação está indicada nos desenhos através de um símbolo apropriado.

Além da posição do prédio, outras variantes também devem ser consideradas. Por exemplo, estruturas vizinhas podem impedir a insolação parcialmente ou totalmente, ou ainda, se existe insolação devido à reflexão dos raios solares em vidros de prédios próximos. No caso do projeto, não existe qualquer estrutura para impedir a insolação ou reflexão dos raios solares. A fórmula que determina como calcular as áreas de paredes externas das estruturas pode ser compreendida através da seguinte equação (3):

$$A_{face} = H_{face} \cdot C_{face} \quad (4)$$

Onde:

A<sub>face</sub> = Área da face (m<sup>2</sup>)

H<sub>face</sub> = Altura da face (m)

C<sub>face</sub> = Comprimento da face (m)

Ainda, o ganho de calor por insolação/horário deve ser realizado através da soma do calor por insolação das várias faces. A equação, referente à transmissão de calor, pode ser representada seguinte forma com a expressão (4):

$$Q_{insol} = A \cdot U \cdot \Delta T_e \quad (5)$$

Onde:

$Q_{insol}$  = Calor de insolação (kcal/ h)

$A_{face}$  = Área da face (m<sup>2</sup>)

$U$  = Coeficiente global de transmissão de calor (kcal/h. m<sup>2</sup>. °C)

$\Delta T_e$  = Diferença de temperatura entre ambientes externo e interno (°C)

Os valores de  $\Delta T_e$  em função das variáveis relativas que envolve grau de transparência, cor e nível de opacidade, serão retirados dos estudos realizados pela “TRANE Air Conditioning”.

### 5.2.3 Calor por Pessoas

Todo corpo libera calor sensível e latente e ambos devem ser considerados no cálculo dos sistemas de climatização. Serão selecionados os valores de calor sensível e latente para o tipo de atividade física realizada em cada cômodo da casa, conforme norma ABNT NBR 16401.

Esta quantidade de calor deve ser multiplicada pelo número de pessoas que ocuparão o ambiente, resultando na quantidade total de calor sensível e latente para o ambiente, devido a pessoas. O ganho de calor sensível devido às pessoas pode ser obtido pela equação (5):

$$Q_s = N \cdot C_s \quad (6)$$

Onde:

$Q_s$  = Ganho de calor sensível (kcal/h)

$Q_L$  = Ganho de calor latente (Kcal/h)

$N$  = Número de pessoas (sem unidade)

$C_s$  = Calor sensível (kcal/h)

$C_L$  = Ganho de calor latente (Kcal/h)

A soma dos calores sensíveis e latentes de cada ambiente considerado é igual ao calor total devido a pessoas, segundo norma ABNT, NBR 16401-3 “Instalações centrais para ar condicionado”.

#### 5.2.4 Calor por Infiltração

Calor por infiltração dá-se da infiltração de ar por frestas de Janelas, portas e etc. Pode ser calculado procurando o metro linear de frestas, e utilizando a entalpia do ar externo e interno você consegue encontrar a massa de ar de entrada e a quantidade de calor no Ambiente.

- Vazão de infiltração por Janelas = Vazão por metro de fresta x Comprimento da fresta
- Vazão de infiltração por Portas = Vazão por metro de fresta x Comprimento da fresta x N° de aberturas por hora

***Vazão de infiltração = V. infiltração por Janelas + V. infiltração por Portas***

Usaremos a carta psicrométrica para determinar as entalpias e o volume específico do ar e por fim calcular o calor de infiltração.

**Obs.: Carta psicrométrica de São Paulo capital.**

Para o cálculo de vazão de ar externo foi adotado o valor de 25m<sup>3</sup>/h.pessoa, conforme NBR de número 16401-3 da ABNT (Revisada).

#### 5.2.5 Calor por Equipamento

As máquinas fornecem calor sensível quando estão em funcionamento e esse calor deve ser removido pelo equipamento de resfriamento, o total de calor por equipamentos será obtido pela equação (6):

$$Q_e = P_e . N . 0,86 \quad (7)$$

Onde:

$Q_e$  = Ganho de calor sensível devido a equipamentos (Watts)

$P_e$  = Potência elétrica (Watts)

$N$  = número de micro computadores

0,86 = fator de conversão de watts para Kcal/h

### 5.2.6 Calor por Iluminação

A dissipação de calor liberada pelos equipamentos de iluminação elétrica é uma carga sensível considerável.

Conforme descrito na apostila de Climatização da escola SENAI (2006 p.143) podemos utilizar a seguinte equação para o cálculo (7):

$$Q_{ilum.} = W \cdot 0,86 \cdot N \quad (8)$$

Onde:

$Q_{ilum.}$  = Ganho de calor sensível devido à iluminação (Watts)

$W$  = potência das lâmpadas em Watts

0,86 = fator de conversão de watts para Kcal/h

$N$  = número de lâmpadas

## 5.3 Estrutura do Projeto

Considerando a estrutura proposta pelo cliente, coordenada pela equipe de gerenciamento de projetos, o desenvolvimento do projeto é separado em etapas distintas: Estudo Preliminar (viabilidade), Projeto Básico, Projeto Executivo e Liberado para Obra.

Inicialmente foi realizado uma reunião com cliente para uma avaliação técnica do esperado quanto ao projeto, visando promover e destacar os pontos estratégicos para a execução do projeto, tais como, espaço geográfico para instalação e manutenção do futuro equipamento condicionador de ar, espaço necessário para passagem de fiação elétrica (levantando juntamente a potência elétrica disponível e necessária para a viabilidade do projeto),

levantamento do espaço físico para instalação de linha frigorífera e dreno do equipamento. Após definição das premissas necessárias, iniciaremos o cálculo de carga térmica para dar continuidade ao estudo técnico- econômico para a escolha do melhor equipamento de acordo com a necessidade do projeto. A escolha do sistema será realizada pelo cliente através do estudo de viabilidade, baseando-se nas necessidades de garantir o conforto térmico uniforme para todos os envolvidos no ambiente, a partir da carga térmica calculada de acordo com as características dos ambientes, juntamente com a eficiência do equipamento em relação à capacidade térmica e energética, analisando as vantagens e desvantagens de cada sistema.

#### **5.4 Normas Técnicas Aplicáveis**

Todos os serviços a serem fornecidos e/ou implementados, bem como todos os equipamentos e materiais pertinentes, deverão obedecer, em princípio, às seguintes Normas Técnicas:

- **ABNT** (Associação Brasileira de Normas Técnicas) - deverão ser utilizadas todas as Normas Técnicas pertinentes a cada especialidade envolvida no sistema (elétrica, hidráulica, etc.);
- **ABNT/NBR-16401:2024** - referente a instalações centrais de ar condicionado para conforto;
- **ANVISA** (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) - Resolução RE-176 de 24/10/2000 complementando a **Portaria 3.523** de 28/08/1998 do Ministério da Saúde;
- **ASHRAE** (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers) no caso da não existência ou de omissão das Normas ABNT, deverão ser respeitadas as recomendações constantes das publicações desta entidade;
- **SMACNA** (Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association) - manuais HVAC Duct System Design e HVAC Duct Construction Standards a serem utilizados na fabricação e Projeto das redes de dutos e Manual for the Balancing and Adjustment of Air Distribution Systems, cujas recomendações deverão ser seguidas por ocasião do "start-up", balanceamento e regulagem das instalações;
- **AMCA** (American Moving and Conditioning Association) - As normas desta associação deverão ser respeitadas em todos os assuntos referentes aos dispositivos de movimentação de ar (ventiladores, exaustores, etc.).

## 5.5 Materiais

Para o desenvolvimento do projeto foram utilizados os seguintes materiais:

- Desenhos de Arquitetura;
- AutoCAD, REVIT, BIMcollab Zoom;
- Softwares de fabricantes e informática;
- Livros e bibliografias;
- Normas Técnicas;
- Catálogo de fabricantes;

## 5.6 Projeto Básico de Arquitetura

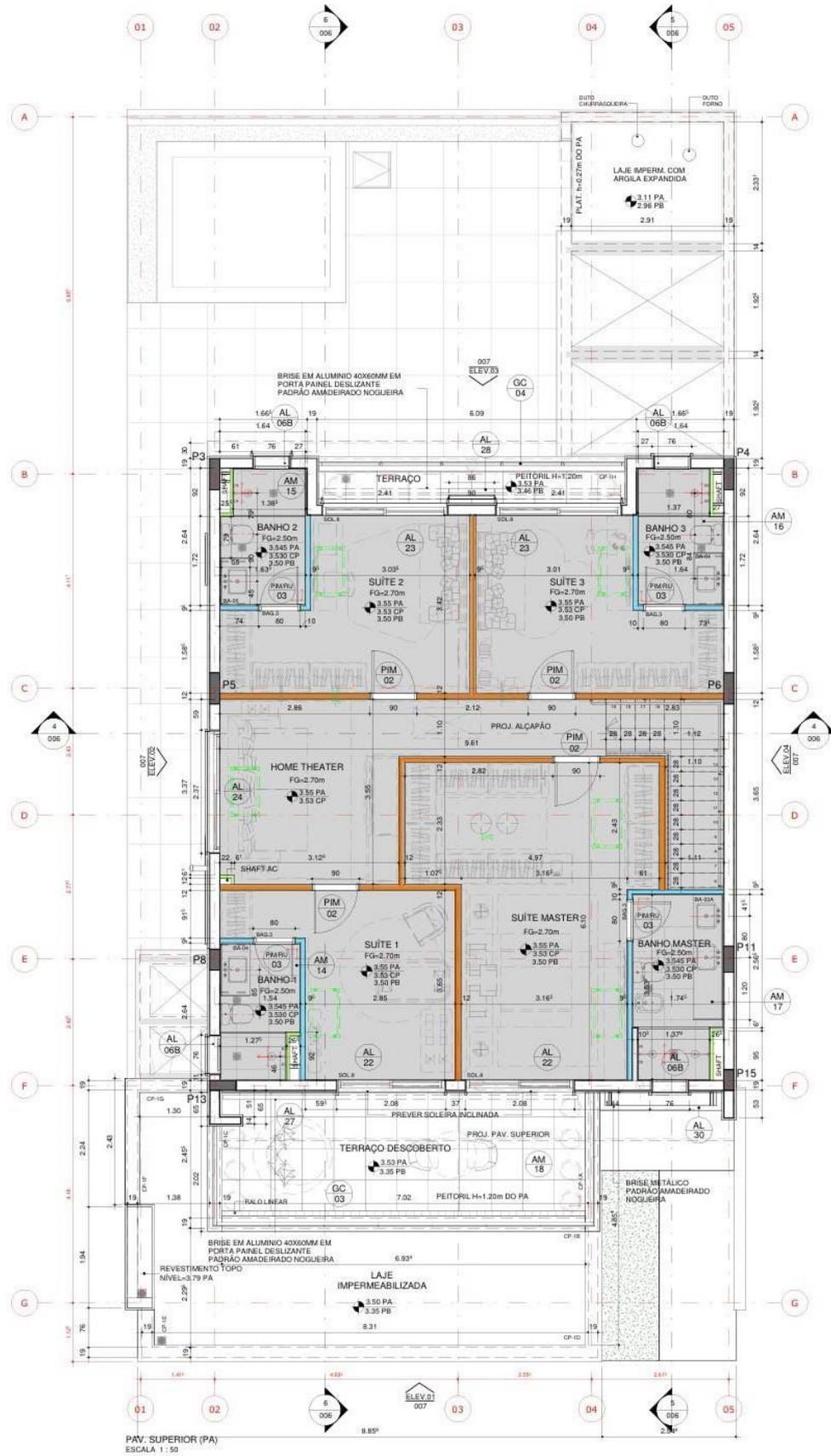
Nessa fase, serão detalhadas as plantas baixas do pavimento térreo, pavimento superior, cobertura e cortes com a finalidade de apresentar a distribuição dos espaços e as dimensões de cada ambiente.

Os desenhos de arquitetura são extremamente necessários para os estudos de planejamento, a execução de cálculos de projetos e a idealização de instalações de um sistema de ar condicionado.

Nas próximas páginas mostraremos o projeto arquitetônico com o layout das plantas, onde utilizamos para realizar toda base de cálculos para carga térmica e seleção dos equipamentos.

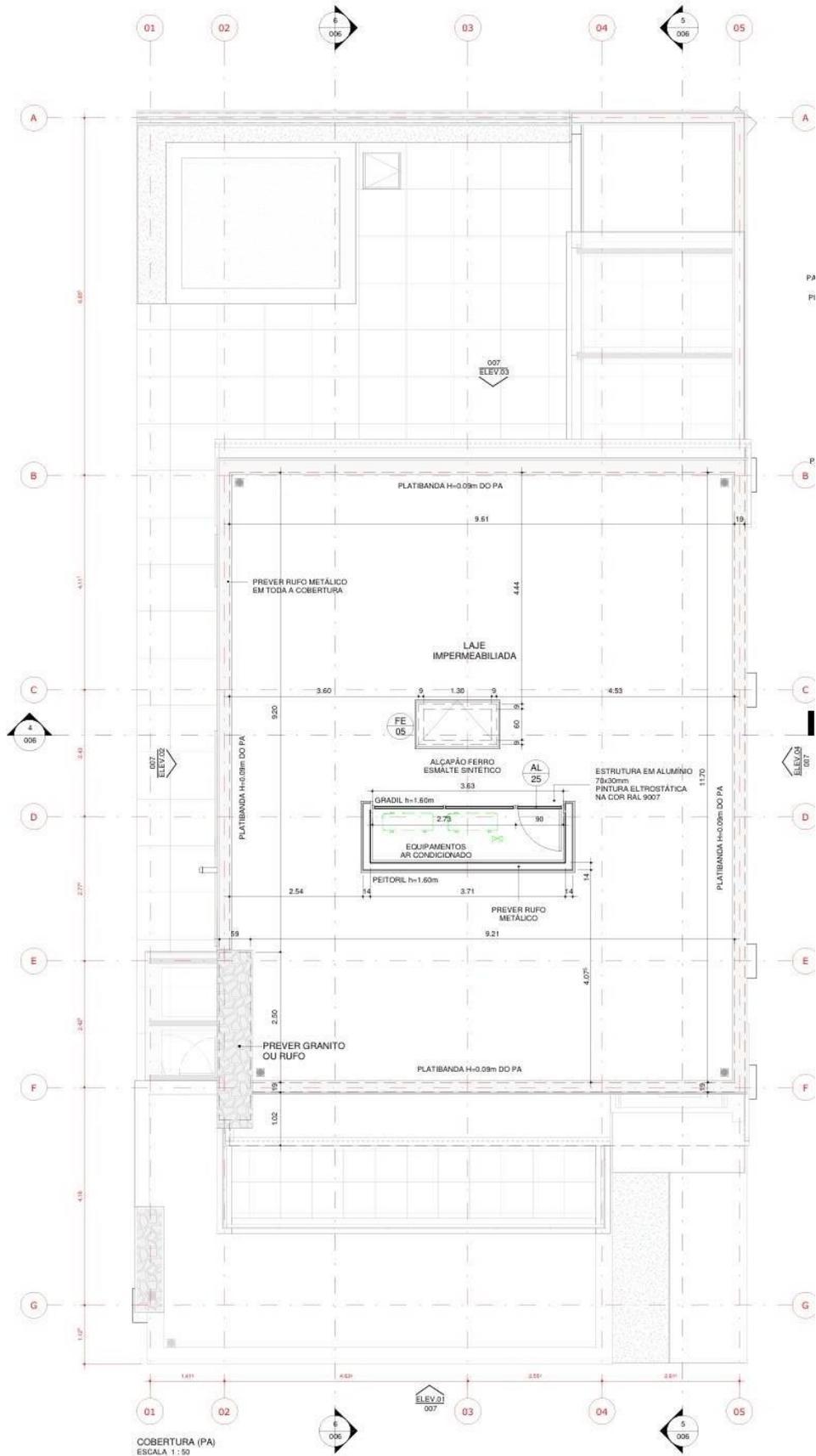


Figura 12 – Planta do Pavimento Superior



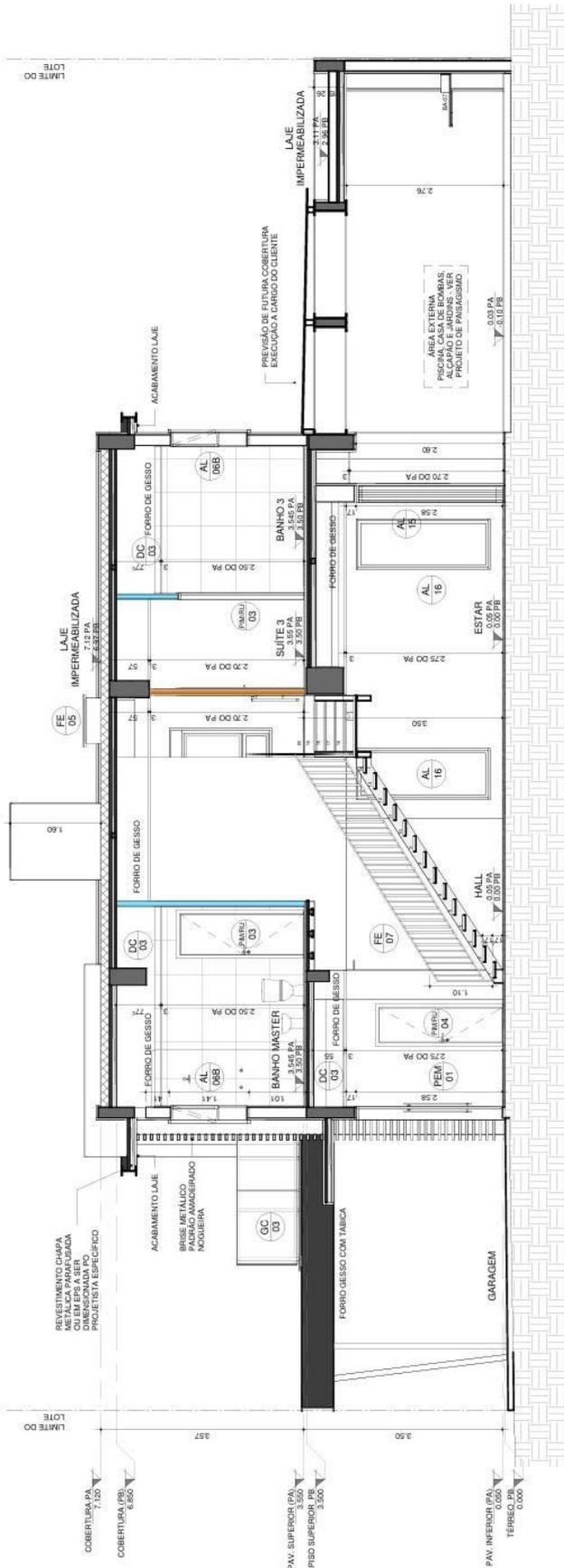
Fonte: Escritório de Arquitetura (2024)

Figura 13 – Planta da Cobertura



Fonte: Escritório de Arquitetura (2024)

Figura 14 – Corte Esquemático



Fonte: Escritório de Arquitetura (2024)

## 6. RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos com a análise do projeto, buscando avaliar se os objetivos propostos foram alcançados. Os resultados obtidos foram com base no estudo de layout, carga térmica, seleção de equipamentos, orçamentos e principalmente, o tempo de retorno do investimento (*payback*).

Para visualizar a planta baixa e detalhes do local de instalação do sistema de climatização, incluindo rede de dutos, localização dos equipamentos e tubulações frigoríferas. Maiores detalhes podem ser vistos no apêndice “A” desta documentação.

### 6.1 Estudo de Layout

O estudo de layout foi realizado com base no projeto apresentado na seção anterior. A seguir temos a planta com os pontos destacados para os cálculos de carga térmica.

**Figura 15** – Zonas para Cálculo de Carga Térmica



**Fonte:** Elaborado pelos Autores (2024)

## 6.2 Resultados de Carga Térmica

### 6.2.1 Condução

Para este projeto, o valor calculado de condução térmica “Q” foi de:

Q zona 01 = 4.333,19 kcal/h

Q zona 02 = 968,86 kcal/h

Q zona 03 = 968,86 kcal/h

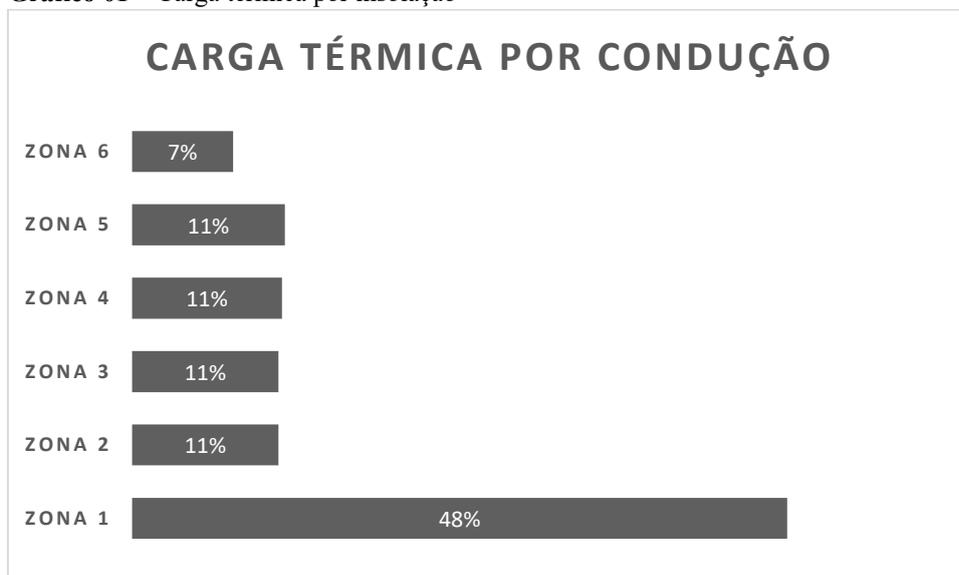
Q zona 04 = 990,86 kcal/h

Q zona 05 = 1.010,60 kcal/h

Q zona 06 = 667,86 kcal/h

**Q TOTAL = 8.940,23 kcal/h**

**Gráfico 01** – Carga térmica por insolação



**Fonte:** Elaborado pelos Autores (2024)

Para verificar detalhadamente todos os dados de resultados de carga térmica de condução, conferir tabelas no Apêndice C.

### 6.2.2 Insolação

Os valores de  $\Delta T_e$  em função das variáveis relativas que envolve grau de transparência, cor e nível de opacidade serão retirados dos estudos realizados pela “TRANE Air Conditioning”.

**Tabela 03** -  $\Delta T$  médio para os tipos de superfície

$\Delta T_e$ máximo		$\Delta T_e$ máximo	
Superfícies Opacas claras		Superfícies Transparentes c/ Cortina	
<b>E</b>	8,25°C	E	30,2°C
<b>N</b>	0,5°C	N	3,44°C
<b>O</b>	8,25°C	O	30,2°C
<b>S</b>	0°C	S	0°C
<b>COB.</b>	24,58°C		

**Fonte:** Elaborado pelos Autores (2024)

Para este projeto, o valor calculado de condução térmica “Q” foi de:

$$Q \text{ zona 01} = 5.081,02 \text{ kcal/h}$$

$$Q \text{ zona 02} = 1.466,28 \text{ kcal/h}$$

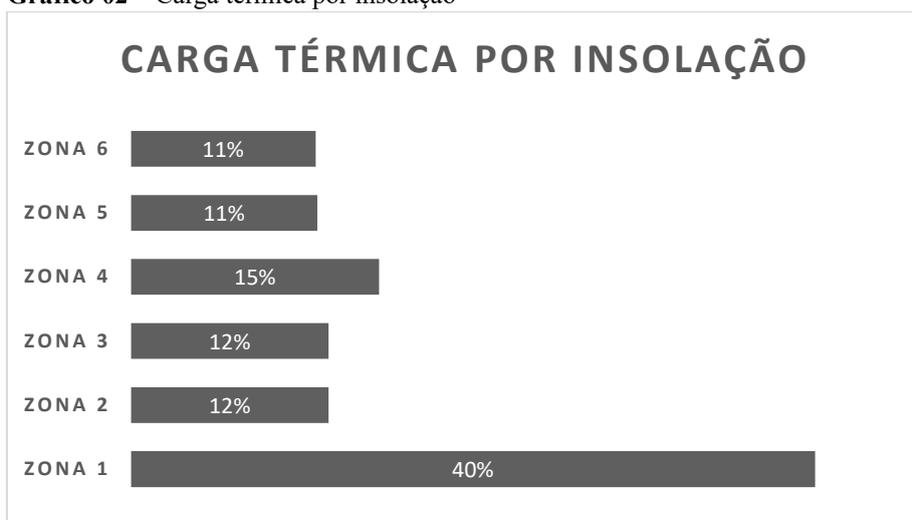
$$Q \text{ zona 03} = 1.466,28 \text{ kcal/h}$$

$$Q \text{ zona 04} = 1.842,41 \text{ kcal/h}$$

$$Q \text{ zona 05} = 1.382,71 \text{ kcal/h}$$

$$Q \text{ zona 06} = 1.371,07 \text{ kcal/h}$$

$$Q \text{ TOTAL} = 12.609,76 \text{ kcal/h}$$

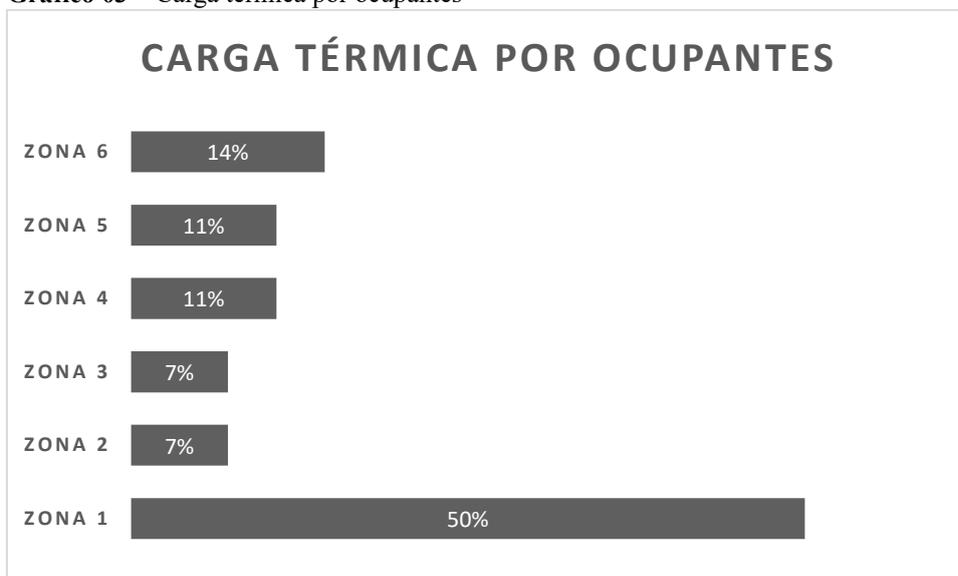
**Gráfico 02** – Carga térmica por insolação

**Fonte:** Elaborado pelos Autores (2024)

Para verificar detalhadamente todos os dados de resultados de carga térmica de insolação, conferir tabelas no Apêndice D.

### 6.2.3 Calor por Pessoas

Baseado na ABNT NBR 16401-3 foi verificado que diante deste projeto temos todas as características de calor por pessoas, e todos os dados detalhados se encontram no apêndice E.

**Gráfico 03** – Carga térmica por ocupantes

**Fonte:** Elaborado pelos Autores (2024)

#### 6.2.4 Infiltração

Em um ambiente a ser refrigerado mesmo que as portas e janelas permaneçam normalmente fechadas, ocorrerá a entrada de ar exterior por infiltração através das frestas dessas portas e janelas, assim verificamos na norma os seguintes valores em m<sup>3</sup>/h por m de fresta.

- Janelas comuns: 3,0m<sup>3</sup>/h
- Janelas basculantes: 3,0m<sup>3</sup>/h
- Portas ajustadas: 6,5m<sup>3</sup>/h

Assim, para nossa situação de projeto teremos o seguinte valor de vazão de infiltração total: **125m<sup>3</sup>/h**.

$$Q \text{ zona 01} = 51,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q \text{ zona 02} = 15,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q \text{ zona 03} = 15,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q \text{ zona 04} = 15,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q \text{ zona 05} = 15,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q \text{ zona 06} = 11,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para este projeto foi solicitado pelo cliente 10 renovações/hora no espaço do closet das suítes, a fim de manter o bom estado das peças de roupa e utensílios alocados nesse ambiente, assim para essa situação de projeto teremos:

$$\text{Suíte 1: } 1,50\text{m}^2 \times 3,0\text{m} \times 10 = \mathbf{50\text{m}^3/\text{h}}$$

$$\text{Suíte 2: } 4,65\text{m}^2 \times 3,0\text{m} \times 10 = \mathbf{140\text{m}^3/\text{h}}$$

$$\text{Suíte 3: } 4,65\text{m}^2 \times 3,0\text{m} \times 10 = \mathbf{140\text{m}^3/\text{h}}$$

$$\text{Suíte Master: } 11,65\text{m}^2 \times 3,0\text{m} \times 10 = \mathbf{350\text{m}^3/\text{h}}$$

$$\mathbf{\text{Totalizando: } 680\text{m}^3/\text{h}}$$

Para determinarmos a quantidade de calor devido a infiltração, determinaremos as entalpias de ar utilizando a carta psicométrica de São Paulo – Capital, onde encontramos os seguintes resultados:

$$Q_{ae} = \rho \cdot V_{ae} \cdot \Delta h \quad (8)$$

Onde:

$Q_{ae}$  = Calor sensível devido a infiltração (kJ/h)

$\rho$  = massa específica (kg/m<sup>3</sup>)

$V_{ae}$  = Vazão total de ar devido infiltração (m<sup>3</sup>/h)

$\Delta h$  = Variação entálpica entre o ar externo e ar interno (kJ/kg); **29kJ/kg Carta psicométrica**

Assim substituindo os valores, encontramos que a quantidade de calor total de infiltração é de **6.695,47 kcal/h**.

Diante desse projeto, será orçado um recuperador de calor com o objetivo de reduzir a carga térmica total. A principal contribuição desse equipamento é otimizar a quantidade de calor do ar externo que é insuflado no ambiente.

O recuperador opera de forma dupla, permitindo a entrada de ar limpo e fresco do exterior, enquanto extrai o ar do ambiente interno. Durante esse processo de extração, a energia térmica do ar interno é transferida para as placas do recuperador, que a utiliza para aquecer ou resfriar o fluxo de ar proveniente do exterior. Essa tecnologia não apenas minimiza as perdas de calor, mas também gera economia nos custos de energia para o aquecimento do ar de alimentação durante o inverno. No verão, o sistema realiza a operação inversa, proporcionando os mesmos benefícios.

Considerando a máxima eficiência de recuperação térmica do trocador informada pelo fabricante de 68%, a quantidade de calor devido a renovação de ar dos closets de 5.655,84 kcal/h passa a ser de 3.845,97 kcal/h, assim a nova quantidade de calor de infiltração é de **2.849,50 kcal/h**.

**Tabela 04** – Cálculo de recuperação de calor baseado nas exaustões dos banheiros

Recuperação de Calor					
Zona	Ambiente	Exaustão (m <sup>3</sup> /h)	Calor rejeitado (kJ/h)	Calor rejeitado (kcal/h)	Recup. de Calor 68%
5	Banho 01	160	5568	1330,785	904,9341
2	Banho 02	160	5568	1330,785	904,9341
3	Banho 03	160	5568	1330,785	904,9341
4	Banho Master	200	6960	1663,482	1131,168
total:				<b>5655,838</b>	<b>3845,97</b>

**Fonte:** Elaborado pelos Autores (2024)

### 6.2.5 Calor por Equipamentos

Baseado na ABNT NBR 16401 para nosso projeto o valor de “Q” de equipamento calculado foi:

$$Q \text{ zona 01} = 1.835 \text{ kcal/h}$$

$$Q \text{ zona 02} = 250 \text{ kcal/h}$$

$$Q \text{ zona 03} = 250 \text{ kcal/h}$$

$$Q \text{ zona 04} = 300 \text{ kcal/h}$$

$$Q \text{ zona 05} = 250 \text{ kcal/h}$$

$$Q \text{ zona 06} = 300 \text{ kcal/h}$$

$$Q \text{ TOTAL} = 3.185 \text{ kcal/h}$$

### 6.2.6 Calor por Iluminação

Devido à ausência de um projeto luminotécnico específico, para cálculo de carga térmica foram consideradas lâmpadas led e/ou fluorescentes com uma taxa total estimada de 20 W/m<sup>2</sup>.

Q zona 01 = 865kcal/h

Q zona 02 = 230 kcal/h

Q zona 03 = 230 kcal/h

Q zona 04 = 400 kcal/h

Q zona 05 = 220 kcal/h

Q zona 06 = 380 kcal/h

**Q TOTAL = 2.325 kcal/h**

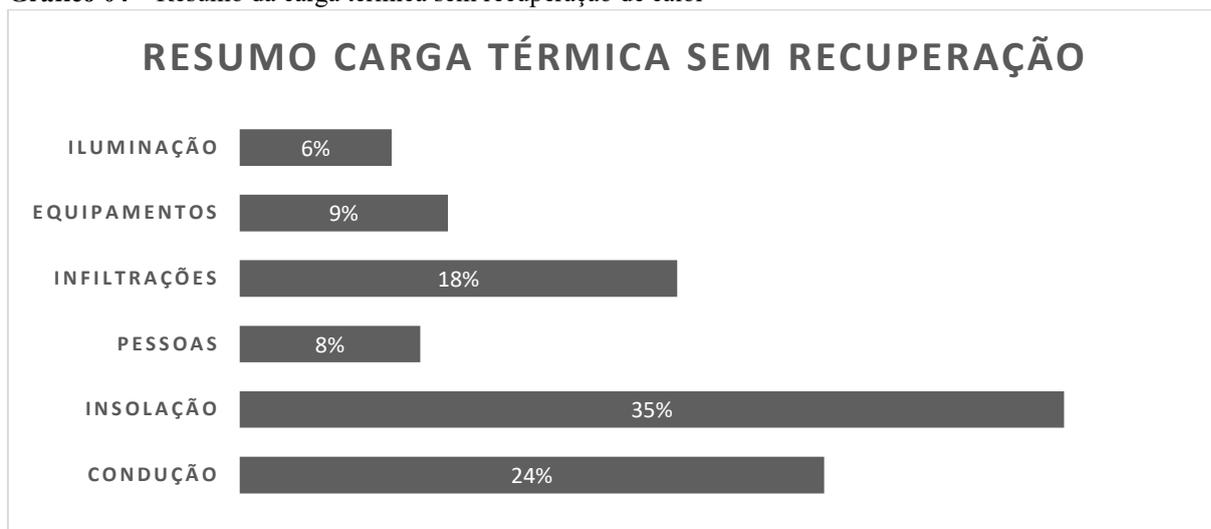
### 6.2.7 Resumo de Carga Térmica

**Tabela 05** – Resumo de Carga Térmica - SEM recuperador de calor

<b>Resumo de Carga Térmica - sem recuperador de calor</b>												
	zona 01		zona 02		zona 03		zona 04		zona 05		zona 06	
	Qsensível	Qlatente	Qsensível	Qlatente	Qsensível	Qlatente	Qsensível	Qlatente	Qsensível	Qlatente	Qsensível	Qlatente
6.2 Condução	4.333,19	-	968,86	-	968,86	-	990,86	-	1.010,60	-	667,86	-
6.3 Insolação	5.081,02	-	1.466,28	-	1.466,28	-	1.842,41	-	1.382,71	-	1.371,07	-
6.4 Pessoas	687,84	687,84	120,37	77,38	120,37	77,38	180,56	116,07	180,56	116,07	240,74	154,76
6.5 Infiltrações	428,35	-	1.293,36	-	1.293,36	-	3.040,01	-	544,79	-	95,60	-
6.6 Equipamentos	1.835,00	-	250,00	-	250,00	-	300,00	-	250,00	-	300,00	-
6.7 Iluminação	865,00	-	230,00	-	230,00	-	400,00	-	220,00	-	380,00	-
Total (kcal/h):	13.230,40	687,84	4.328,87	77,38	4.328,87	77,38	6.753,84	116,07	3.588,66	116,07	3.055,27	154,76
	13.918,24		4.406,25		4.406,25		6.869,91		3.704,73		3.210,04	
<b>Total</b>	<b>14.553,44</b>	<b>756,62</b>	<b>4.761,76</b>	<b>85,12</b>	<b>4.761,76</b>	<b>85,12</b>	<b>7.429,22</b>	<b>127,68</b>	<b>3.947,52</b>	<b>127,68</b>	<b>3.360,80</b>	<b>170,24</b>
<b>Coef. Segurança 10% (kcal/h)</b>	<b>15.310,06</b>		<b>4.846,88</b>		<b>4.846,88</b>		<b>7.556,90</b>		<b>4.075,20</b>		<b>3.531,04</b>	
<b>Total (BTU/h):</b>	57.714	3.001	18.884	338	18.884	338	29.462	506	15.655	506	13.328	675
	60.715		19.221		19.221		29.968		16.161		14.003	

Fonte: Elaborado pelos Autores (2024)

Gráfico 04 – Resumo da carga térmica sem recuperação de calor



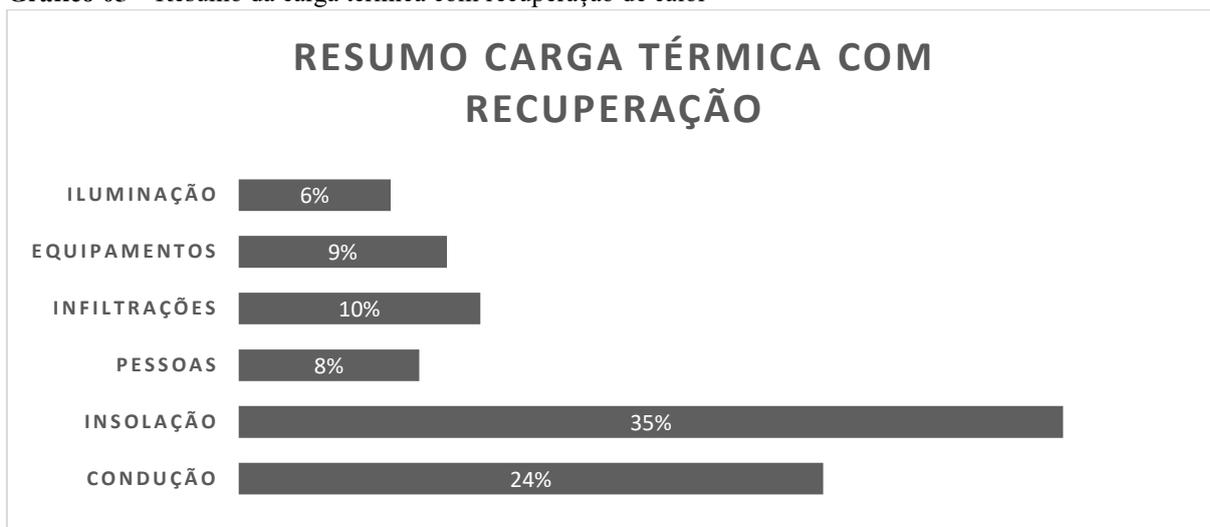
Fonte: Elaborado pelos Autores (2024)

Tabela 06 – Resumo de Carga Térmica - COM recuperador de calor

**Resumo de Carga Térmica - COM recuperador de calor**

	zona 01		zona 02		zona 03		zona 04		zona 05		zona 06	
	Qsensível	Qlatente	Qsensível	Qlatente	Qsensível	Qlatente	Qsensível	Qlatente	Qsensível	Qlatente	Qsensível	Qlatente
6.2 Condução	4.333,19	-	968,86	-	968,86	-	990,86	-	1.010,60	-	667,86	-
6.3 Insolação	5.081,02	-	1.466,28	-	1.466,28	-	1.842,41	-	1.382,71	-	1.371,07	-
6.4 Pessoas	687,84	687,84	120,37	77,38	120,37	77,38	180,56	116,07	180,56	116,07	240,74	154,76
6.5 Infiltrações	428,35	-	501,54	-	501,54	-	1.908,84	-	261,99	-	95,60	-
6.6 Equipamentos	1.835,00	-	250,00	-	250,00	-	300,00	-	250,00	-	300,00	-
6.7 Iluminação	865,00	-	230,00	-	230,00	-	400,00	-	220,00	-	380,00	-
Total (kcal/h):	13.230,40	687,84	3.537,05	77,38	3.537,05	77,38	5.622,67	116,07	3.305,86	116,07	3.055,27	154,76
	13.918,24		3.614,43		3.614,43		5.738,74		3.421,93		3.210,04	
<b>Total</b>	<b>14.553,44</b>	<b>756,62</b>	<b>3.890,76</b>	<b>85,12</b>	<b>3.890,76</b>	<b>85,12</b>	<b>6.184,94</b>	<b>127,68</b>	<b>3.636,44</b>	<b>127,68</b>	<b>3.360,80</b>	<b>170,24</b>
<b>Coef. Segurança 10% (kcal/h)</b>	<b>15.310,06</b>		<b>3.975,88</b>		<b>3.975,88</b>		<b>6.312,62</b>		<b>3.764,12</b>		<b>3.531,04</b>	
Total (BTU/h):	57.714	3.001	15.429	338	15.429	338	24.527	506	14.421	506	13.328	675
	60.715		15.767		15.767		25.034		14.927		14.003	

Fonte: Elaborado pelos Autores (2024)

**Gráfico 05** – Resumo da carga térmica com recuperação de calor

**Fonte:** Elaborado pelos Autores (2024)

### 6.3 Seleção de Equipamentos

Para facilitar a análise comparativa, as próximas etapas serão organizadas em dois grupos: o primeiro sem o recuperador de calor e o segundo considerando a inclusão desse dispositivo.

Com base nas premissas arquitetônicas e nas necessidades do cliente, determinamos que, nos dormitórios, o equipamento a ser utilizado será do tipo Cassete – 1 Via, instalado diretamente no forro. Para o ambiente integrado de estar e jantar, optaremos por um equipamento do tipo Built-in, com distribuição de ar realizada por meio de difusores lineares.

As unidades externas serão divididas em dois equipamentos: um atenderá ao térreo e o outro ao 1º pavimento. Em ambas as condensadoras, serão aplicados fatores de simultaneidade, levando em consideração a movimentação da carga na edificação ao longo do dia.

Assim, a seleção foi organizada em duas tabelas, levando em consideração os critérios mencionados anteriormente:

**Tabela 07** – VRF - Seleção de equipamentos SEM recuperador de calor

Nº da Zona	Ambiente	Carga Calculada (BTU/h)	Carga nominal Equip. (BTU/h)	Modelo e Marca de Referência - Daikin	QTD.	Carga Corrigida (BTU/h)	Tipo de Equipamento
1	Estar/Jantar	60.715	30.700	FXSQ80PAVE	2	61.400	BUILT-IN
2	Suite 02	19.221	19.100	FXEQ50AVE	1	19.100	CASSETE - 1 VIA
3	Suite 03	19.221	19.100	FXEQ50AVE	1	19.100	CASSETE - 1 VIA
4	Suite Master	29.968	15.400	FXEQ40AVE	2	30.800	CASSETE - 1 VIA
5	Suite 01	16.161	19.100	FXEQ50AVE	1	19.100	CASSETE - 1 VIA
6	Home Theater	14.003	15.400	FXEQ40AVE	1	15.400	CASSETE - 1 VIA
-	Cobertura	60.715	54.600	RXYMQ6BVM	1	Simultaneidade Aplicada	1,1
-	Cobertura	98.574	85.300	RXYMQ10TTLT	1	Simultaneidade Aplicada	1,2

Fonte: Elaborado pelos Autores (2024)

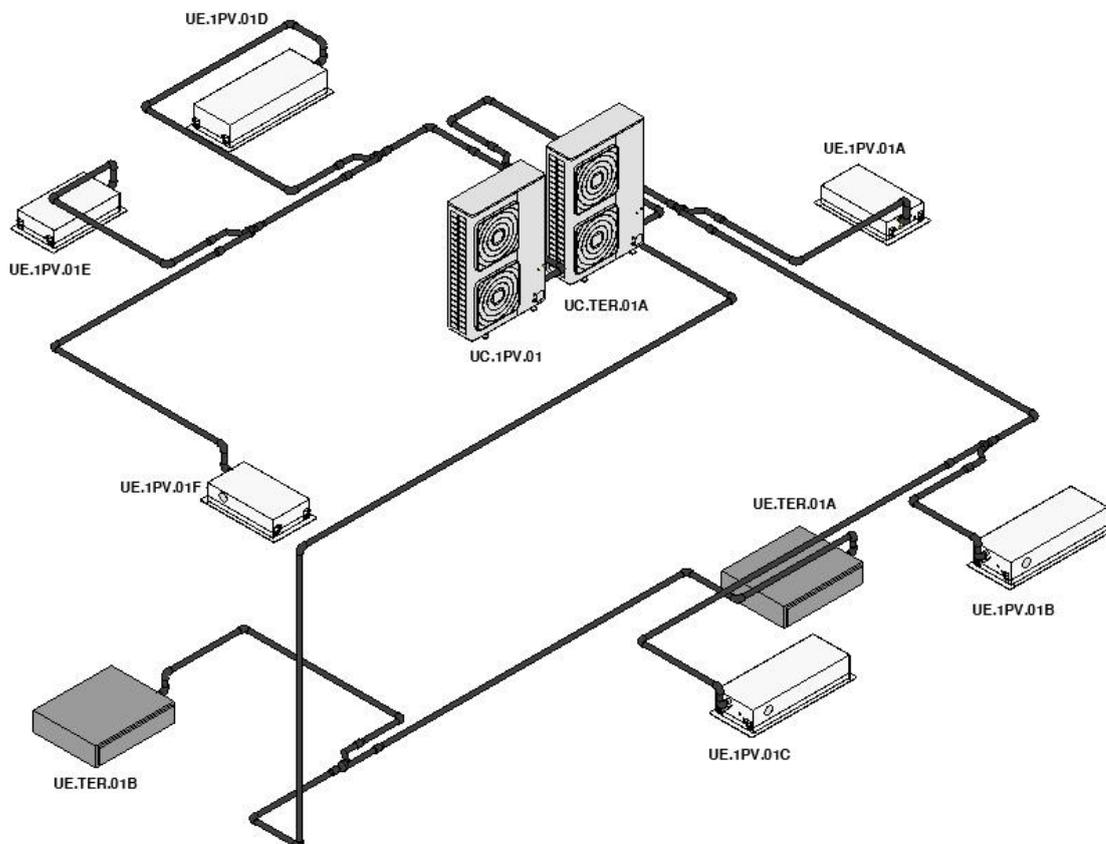
**Tabela 08** – VRF - Seleção de equipamentos COM recuperador de calor

Nº da Zona	Ambiente	Carga Calculada (BTU/h)	Carga nominal Equip. (BTU/h)	Modelo e Marca de Referência - Daikin	QTD.	Carga Corrigida (BTU/h)	Tipo de Equipamento
1	Estar/Jantar	60.715	30.700	FXSQ80PAVE	2	61.400	BUILT-IN
2	Suite 02	15.274	15.400	FXEQ40AVE	1	15.400	CASSETE - 1 VIA
3	Suite 03	19.221	15.400	FXEQ40AVE	1	15.400	CASSETE - 1 VIA
4	Suite Master	25.034	12.300	FXEQ32AVE	2	24.600	CASSETE - 1 VIA
5	Suite 01	12.213	12.300	FXEQ32AVE	1	12.300	CASSETE - 1 VIA
6	Home Theater	14.003	15.400	FXEQ40AVE	1	15.400	CASSETE - 1 VIA
-	Cobertura	60.715	54.600	RXYMQ6BVM	1	Simultaneidade Aplicada	1,1
-	Cobertura	85.745	76.400	RXYMQ8TTLT	1	simultaneidade Aplicada	1,1

Fonte: Elaborado pelos Autores (2024)

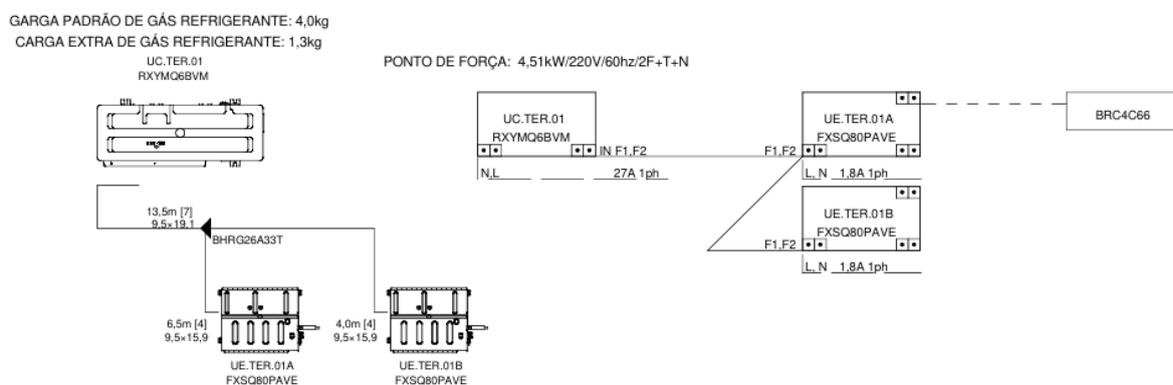
Com o traçado da tubulação definido e considerando as limitações do projeto arquitetônico, bem como os shafts de subida e descida, prosseguiremos com o desenvolvimento dos fluxogramas da rede frigorígena e do sistema de controle, de modo a atender ambos os sistemas. Para o dimensionamento, será utilizado o software VRV Xpress da Daikin, versão 10.5.3.

Figura 16 – VRV - Diagrama Isométrico dos Equipamentos



Fonte: Elaborado pelos Autores (2024)

Figura 17 – VRV - Fluxograma de Equipamentos c/ Recuperador de Calor (Pav. Térreo)

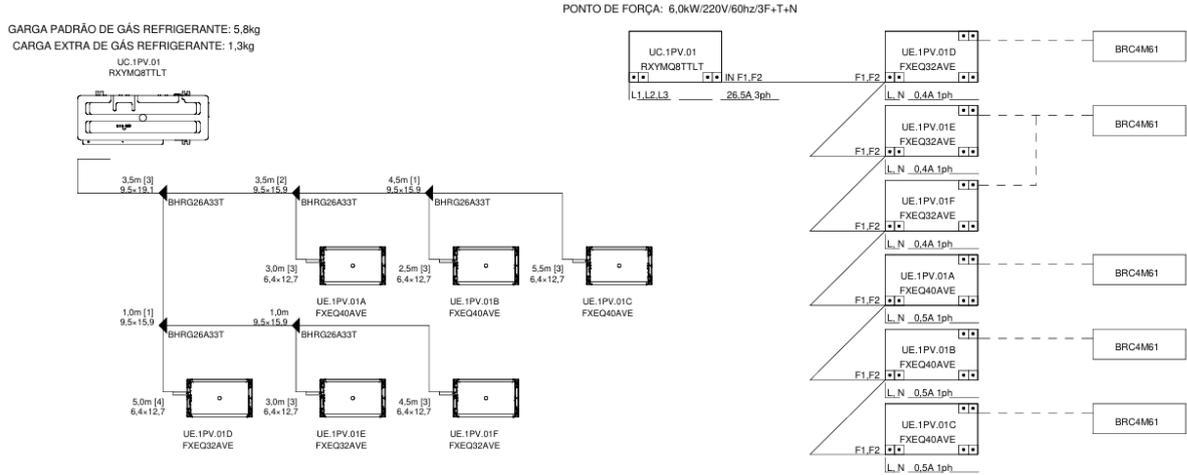


### UC.TER.01 - C/ RECUPERAÇÃO DE CALOR

S/ESC.

Fonte: Elaborado pelos Autores (2024)

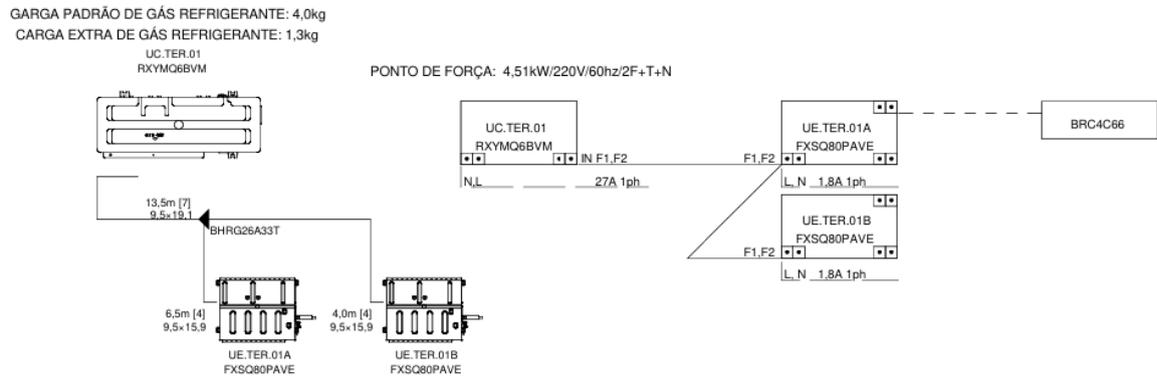
**Figura 18 – VRV - Fluxograma de Equipamentos c/ Recuperador de Calor (Pav. Superior)**



**UC.1PV.01 - C/ RECUPERAÇÃO DE CALOR**  
 S/ESC.

Fonte: Elaborado pelos Autores (2024)

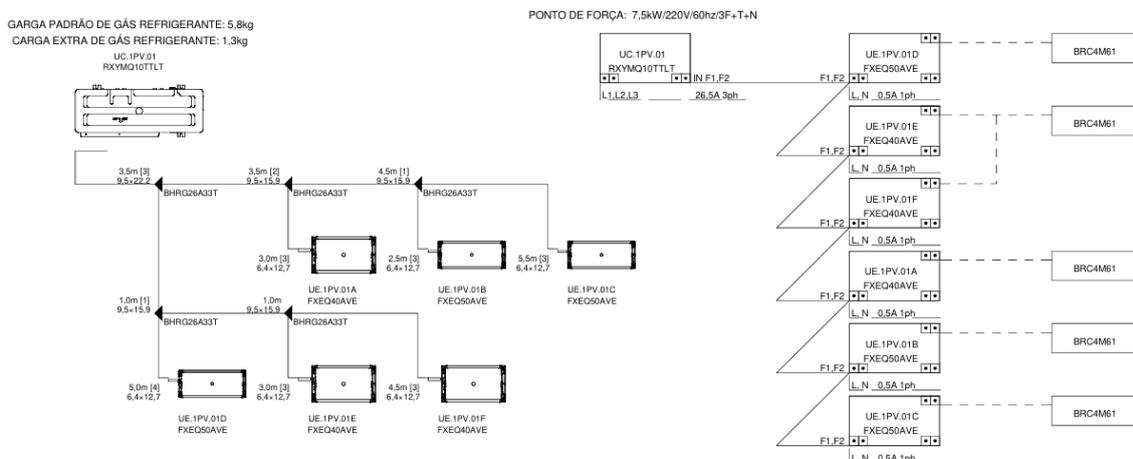
**Figura 19 – VRV - Fluxograma de Equipamentos s/ Recuperador de Calor (Pav. Térreo)**



**UC.TER.01 - S/ RECUPERAÇÃO DE CALOR**  
 S/ESC.

Fonte: Elaborado pelos Autores (2024)

**Figura 20** – VRV - Fluxograma de Equipamentos s/ Recuperador de Calor (Pav. Superior)



**UC.1PV.01 - S/ RECUPERAÇÃO DE CALOR**  
S/ESC.

**Fonte:** Elaborado pelos Autores (2024)

### 6.3.1 Ventiladores e Exaustores

Com o intuito de realizar uma comparação entre os dois modelos, e assegurando o cumprimento das premissas do projeto, caso o recuperador de calor não seja utilizado, serão instalados ventiladores e exaustores. Essa medida visa garantir a adequada troca de ar no closet e a exaustão eficiente dos banheiros das suítes. As vazões de exaustão mencionadas anteriormente, utilizadas no cálculo da recuperação de calor, garantem um mínimo de 10 renovações de ar por hora nos banheiros.

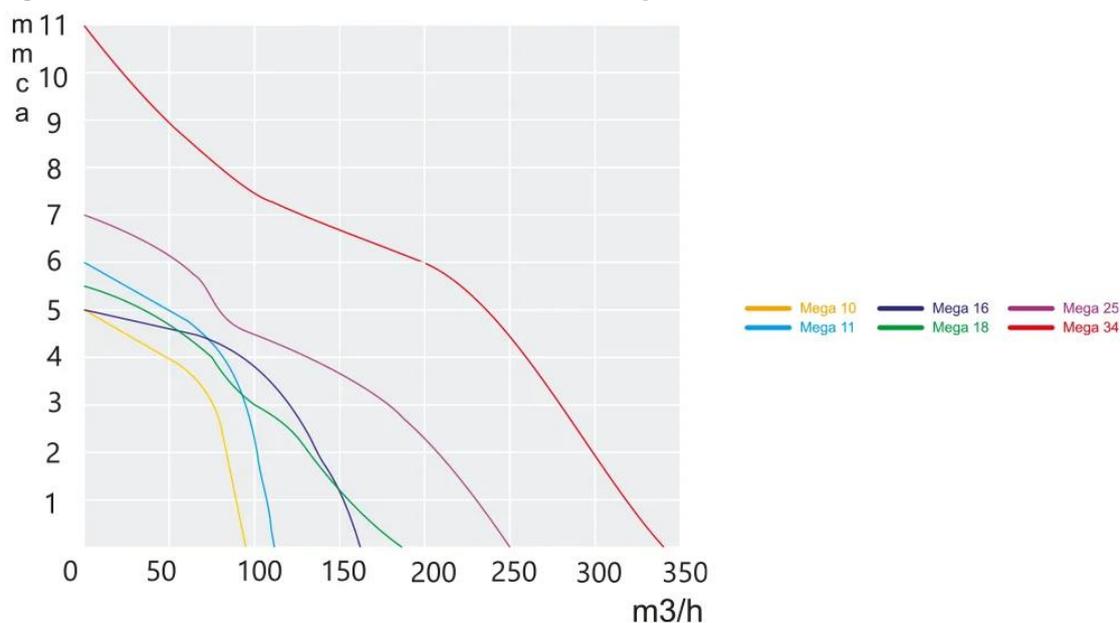
Baseado nas curvas de seleção fornecidas pelo fabricante Sicflux para as vazões de projeto e considerando uma adequada perda de carga foram selecionados 3 exaustores axiais do tipo **Mega 34** para 160m<sup>3</sup>/h x 7mmCA e um com 200m<sup>3</sup>/h x 6mmCA.

**Tabela 09** - Exaustores

Ambiente	Exaustão (m <sup>3</sup> /h)
Banho 01	160
Banho 02	160
Banho 03	160
Banho Master	200

**Fonte:** Elaborada pelos Autores (2024)

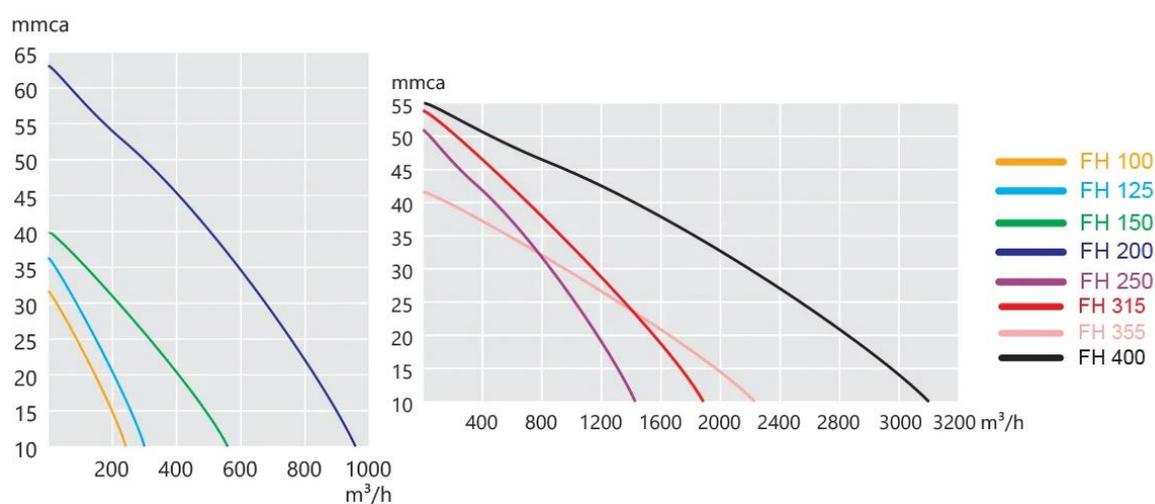
**Figura 21** – Curva de selecionador do exaustor da linha Mega



**Fonte:** Exaustor Mega - Sicflux

Para a renovação do ar nos closets, será utilizada uma vazão total de 680 m³/h. Assegurando uma filtração mínima, o equipamento selecionado, de acordo com a curva de seleção fornecida pelo fabricante, é o ventilador radial modelo **FH200**, projetado para operar com uma vazão de 680 m³/h e uma perda de carga adequada de 27 mmCA.

**Figura 22** – Curva de selecionamento do ventilador - FH



**Fonte:** Ventilador FH - Sicflux

### 6.3.2 Recuperador de Calor

O ar extraído do ambiente, independentemente de ser frio ou quente, é direcionado pelo motor, passando por um filtro antes de alcançar a célula de recuperação térmica. Nesse ponto, ocorre a transferência de energia térmica para os componentes da célula, permitindo que o ar seja expelido para o exterior. Por outro lado, o ar insuflado é captado do ambiente externo, também passando pelo motor e pelo filtro, onde é purificado. Em seguida, ele é direcionado para a célula recuperadora, que absorve parte da energia térmica proveniente do interior, antes de ser insuflado de volta ao ambiente.

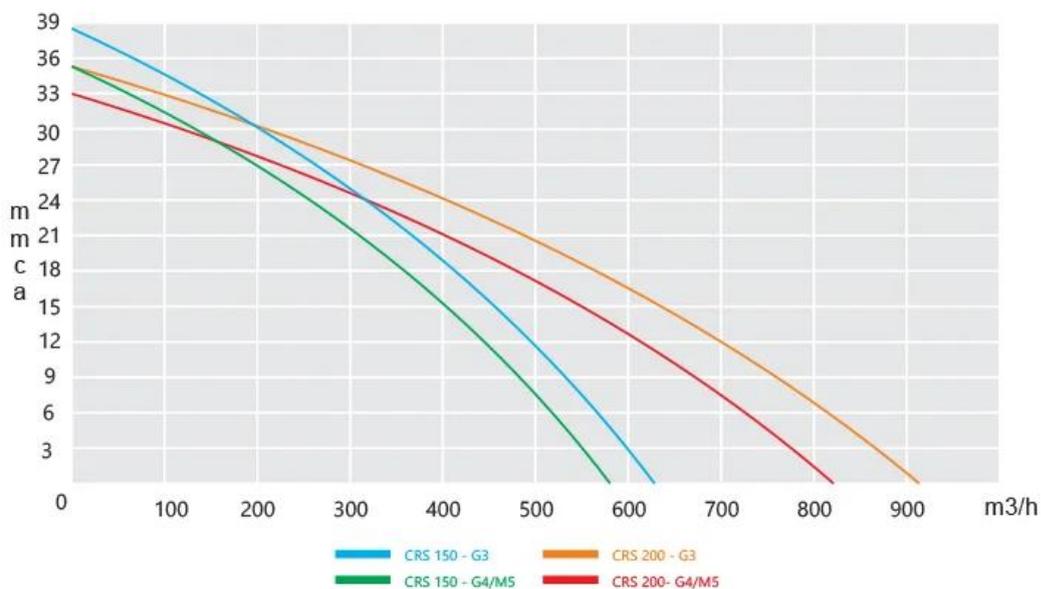
Dessa forma, estabelece-se uma intersecção entre o ar interno e o externo por meio da célula de recuperação térmica, possibilitando que o sistema de recuperação térmica (CRS) minimize as perdas de energia térmica. Isso resulta em uma redução significativa nos custos operacionais relacionados ao aquecimento ou refrigeração do ar. Portanto o modelo selecionado para nossa vazão de projeto com uma adequada perda de pressão é o **CRS200 para 680m<sup>3</sup>/h x 14mmCA** conforme curva de selecionamento fornecida pelo fabricante.

**Figura 23** – Recuperador de Calor



**Fonte:** Recuperador CRS - Sicflux

**Figura 24** – Curva de selecionamento do recuperador - CRS



**Fonte:** Recuperador CRS - Sicflux

### 6.3.3 Comparativo de Consumo

Para a análise do consumo elétrico, utilizou-se o simulador da Copel, uma ferramenta eficaz que possibilitou a elaboração de uma tabela comparativa entre as duas propostas apresentadas. Ao empregar esse simulador, foi possível avaliar detalhadamente o impacto financeiro e energético das diferentes opções de operação.

Durante a avaliação, considerou-se um período de 30 dias, no qual o sistema operou por 8 horas diárias, especificamente entre 12h e 20h. Essa faixa horária foi escolhida por sua relevância para o perfil de consumo habitual, refletindo as condições de uso mais frequentes. É importante destacar que a simulação foi realizada considerando a potência máxima dos equipamentos. No entanto, durante a operação real esse valor será inferior, uma vez que o sistema possui tecnologia inverter, que modula a capacidade de acordo com a demanda.

Os resultados apresentados na tabela não apenas evidenciam as discrepâncias no consumo entre as propostas, mas também fornecem insights valiosos sobre a eficiência energética de cada uma.

Figura 25 – Simulador de Consumo

**Resultados**  
Residencial  
Detalhamento

Legenda: FP – Fora-Ponta / IT – Intermediário / PT – Ponta

Simulador de consumo												
Aparelho	Consumo				Tarifa Convencional			Tarifa Branca				
	FP	IT	PT	Total	FP	IT	PT	FP	IT	PT		
<b>Casa - Sem Recuperador de Calor</b>												
Ar condicionado	1.322,25 kWh	161,25 kWh	322,50 kWh	1.806,00 kWh	R\$ 1.082,57	R\$ 132,02	R\$ 264,04	R\$ 898,35	R\$ 159,65	R\$ 486,27		
Ar condicionado	795,11 kWh	96,96 kWh	193,93 kWh	1.086,00 kWh	R\$ 650,98	R\$ 79,39	R\$ 158,78	R\$ 540,21	R\$ 96,00	R\$ 292,41		
Ventilador	52,97 kWh	0,00 kWh	0,00 kWh	52,97 kWh	R\$ 43,37	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 35,99	R\$ 0,00	R\$ 0,00		
Ventilador	38,52 kWh	0,00 kWh	0,00 kWh	38,52 kWh	R\$ 31,54	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 26,18	R\$ 0,00	R\$ 0,00		
Total do consumo:				2.983,51 kWh	Total da convencional:			R\$ 2.442,69	Total da branca:			R\$ 2.535,06
<b>Casa - Com Recuperador de Calor</b>												
Ar condicionado	795,11 kWh	96,96 kWh	193,93 kWh	1.086,00 kWh	R\$ 650,98	R\$ 79,39	R\$ 158,78	R\$ 540,21	R\$ 96,00	R\$ 292,41		
Ar condicionado	1.057,80 kWh	129,00 kWh	258,00 kWh	1.444,80 kWh	R\$ 866,05	R\$ 105,62	R\$ 211,23	R\$ 718,68	R\$ 127,72	R\$ 389,01		
Ventilador	108,36 kWh	0,00 kWh	0,00 kWh	108,36 kWh	R\$ 88,72	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 73,62	R\$ 0,00	R\$ 0,00		
Total do consumo:				2.639,16 kWh	Total da convencional:			R\$ 2.160,77	Total da branca:			R\$ 2.237,65

Fonte: Copel

## 6.4 Orçamento dos Equipamentos

Por fim, para garantir a precisão na estimativa de investimento e na análise da taxa de retorno associada à seleção de equipamentos com recuperação de calor, foi elaborado um orçamento detalhado. Este orçamento inclui uma tabela de preços atualizada e válida para o ano de 2024, que reflete as condições de mercado e as inovações tecnológicas disponíveis.

Através dessa abordagem, buscamos não apenas otimizar os custos envolvidos, mas também proporcionar uma visão clara e fundamentada sobre a viabilidade econômica dos investimentos em equipamentos que promovem a eficiência energética. Essa análise é fundamental para embasar decisões estratégicas e sustentáveis, contribuindo para a redução de custos operacionais.

**Tabela 10** – Orçamento do sistema proposto SEM recuperador de Calor

<b>Modelo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Qtd.</b>	<b>Valor total</b>
RXYMQ6BVM	Condensadora Mini VRV Daikin Fit Home 220V/1F 54.600 btu/h Q/F	1	R\$17.569,00
RXYMQ10TTLT	Condensadora Mini VRV Daikin Fit Office 220V/3F 85.300 btu/h Q/F	1	R\$26.463,09
FXEQ40AVE	Cassete 1 via Daikin 15.400 btu/h c/ Painei	3	R\$10.544,71
FXEQ50AVE	Cassete 1 via Daikin 18.000 btu/h c/ Painei	3	R\$13.528,18
FXSQ80PAVE	Duto média pressão 30.700 btu/h	2	R\$10.716,01
BHRG26A33T	REFNET INTERNO	6	R\$2.145,63
FXSQ	KIT CONTROLE REMOTO SEM FIO PARA DUTOS	2	R\$767,88
FXEQ	CONTROLE REMOTO SEM FIO	8	R\$2.502,90
SI00028	Exaustor MEGA 34 Bivolt	4	R\$1.031,04
<b>VALOR TOTAL</b>			<b>RS 85.268,44</b>

**Fonte:** Elaborado pelos Autores (2024)

O sistema acima apresenta um custo inicial menor em comparação ao sistema com recuperador de calor, mas a ausência deste componente pode levar a maior consumo energético e outros custos operacionais a longo prazo.

**Tabela 11** – Orçamento do sistema proposto COM recuperador de Calor

<b>Modelo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Qtd.</b>	<b>Valor total</b>
RXYMQ6BVM	Condensadora Mini VRV Daikin Fit Home 220V/1F 54.600 btu/h Q/F	1	R\$17.569,00
RXYMQ8TTLT	Condensadora Mini VRV Daikin Fit Office 220V/3F 76.400 btu/h Q/F	1	R\$26.463,09
FXEQ40AVE	Cassete 1 via Daikin 15.400 btu/h c/ Painei	3	R\$10.544,71
FXEQ32AVE	Cassete 1 via Daikin 12.300 btu/h c/ Painei	3	R\$13.528,18
FXSQ80PAVE	Duto média pressão 30.700 btu/h	2	R\$10.716,01
BHRG26A33T	REFNET INTERNO	6	R\$2.145,63
FXSQ	KIT CONTROLE REMOTO SEM FIO PARA DUTOS	2	R\$767,88
FXEQ	CONTROLE REMOTO SEM FIO	8	R\$2.502,90
CRS200	Exaustor/Insuflador de Ar (recuperador) CRS200 G3	1	R\$7.450,00
<b>VALOR TOTAL</b>			<b>RS91.687,40</b>

**Fonte:** Elaborado pelos Autores (2024)

O orçamento apresentado na tabela 11, inclui o equipamento do recuperador de calor, que proporciona maior eficiência energética e melhora o desempenho térmico do ambiente. A inclusão deste equipamento pode gerar economia a longo prazo, tanto em consumo de energia quanto na redução de custos operacionais, como veremos a seguir.

**Figura 26** – Equipamentos orçados VRF



**Fonte:** Elaborado pelos Autores (2024)

## 6.5 Análise de Investimento

A execução deste serviço abrange uma variedade de despesas, incluindo custos com mão de obra, materiais utilizados, despesas fixas e variáveis. Assim, é importante destacar que conforme discutido anteriormente, estamos realizando uma análise comparativa entre dois sistemas que possuem bases de custo praticamente equivalentes.

Assim, o foco principal recairá sobre a análise detalhada dos equipamentos utilizados e os custos associados a eles. Essa abordagem permitirá identificar as diferenças e semelhanças entre os sistemas, proporcionando uma compreensão mais clara dos fatores que influenciam os custos. Adicionalmente, direcionando a atenção aos equipamentos, poderemos avaliar não apenas os custos diretos, mas também o impacto desses equipamentos na eficiência. Essa análise será essencial para fundamentar conclusões e recomendações, contribuindo para um entendimento mais profundo das implicações financeiras em questão.

Dessa forma, o custo total para o sistema *sem* o equipamento de recuperação de calor é de R\$ 85.268,44 reais em contrapartida para o sistema *com* o equipamento de recuperação de calor esse valor vai para R\$ 91.687,40 reais, sendo uma diferença de R\$ 6.418,96 reais representando um aumento aproximado de 7,5% do investimento inicial nos equipamentos.

Ao considerarmos a análise do consumo de energia, o sistema com recuperação de calor se destaca por promover uma economia mensal de R\$ 281,92 na tarifa convencional. Essa economia não apenas contribui para a redução dos custos operacionais, mas também impacta positivamente no orçamento a longo prazo. Com base nesses dados, o retorno financeiro do investimento em recuperação de calor é estimado em aproximadamente 23 meses. Esse prazo de retorno representa uma oportunidade significativa para recuperar o investimento inicial e, subsequentemente, beneficiar-se das economias contínuas geradas pelo sistema, destacando a viabilidade econômica e a eficiência operacional da recuperação de calor.

**Tabela 12** – Investimento em Manutenção Preventiva SEM Recuperador de Calor

Equipamento	Quantidade	Valor por unidade	Total
Unidade Condensadora VRF	2	210	420
Unidade Evaporadora K7	5	180	900
Unidade Evaporadora Built-Tin	1	180	180
Ventilador Tubular	1	230	230
Exaustores Axiais	4	110	440
Hora Trabalhada	8	25	200
KM Deslocamento	220	0,7	154
<b>Total</b>			<b>R\$2.524,00</b>

**Fonte:** Elaborado pelos Autores (2024)

**Tabela 13** – Investimento em Manutenção Preventiva COM Recuperador de Calor

Equipamento	Quantidade	Valor por unidade	Total
Unidade Condensadora VRF	2	210	420
Unidade Evaporadora K7	5	180	900
Unidade Evaporadora Built-Tin	1	180	180
Recuperador de calor	1	230	230
Hora Trabalhada	8	25	200
KM Deslocamento	220	0,7	154
<b>Total</b>			<b>R\$2.084,00</b>

De acordo com as tabelas acima, define-se que a inclusão da unidade de recuperação de calor reduz o custo total de manutenção preventiva. Quando a unidade não está instalada, o custo total de manutenção soma R\$ 2.524, enquanto para o caso instalado, o custo de manutenção reduz para R\$ 2.084. Assim, uma economia de R\$ 440 por manutenção. Essa diminuição vem essencialmente da substituição de componentes, como os exaustores e o

ventilador, pela unidade de recuperação de calor. Logo, o valor mensal de economia considerando que a manutenção será executada uma vez ao ano é de R\$ 36,67. O valor final de economia baseado nos custos de operação e manutenção é de R\$ 318,59.

## 7. CONCLUSÃO

A análise realizada neste projeto evidencia a relevância da avaliação detalhada dos sistemas em questão, especialmente no que diz respeito aos equipamentos e seus impactos financeiros. Ao comparar os custos entre o sistema *sem* recuperação de calor e aquele que incorpora essa tecnologia, observou-se que, embora o investimento no sistema *com* recuperação de calor seja superior em R\$ 6.418,96 reais em tarifas energéticas gerada pela recuperação de calor, demonstra não apenas uma redução significativa nos custos operacionais, mas também estabelece um cenário favorável para a sustentabilidade financeira do projeto.

Por fim, considerando o investimento inicial, custo operacional e de manutenção para o ciclo de manutenção de vez ao ano o prazo de retorno é de 20 meses para o investimento ser pago, permitindo que o proprietário usufrua das economias geradas a longo prazo. Esses resultados não apenas enfatizam a viabilidade econômica da implementação do sistema de recuperação de calor, mas também destacam sua importância na melhoria da eficiência operacional. Além disso, a integração dessa tecnologia com outras fontes de energia renovável, como placas solares, poderá impulsionar ainda mais a eficiência energética. Assim, tal investimento se configura como uma estratégia vital que pode proporcionar vantagens competitivas e garantir a sustentabilidade econômica no futuro. Portanto, é altamente recomendável considerar a adoção de sistemas de recuperação de calor em processos residenciais, com o objetivo de maximizar a eficiência e reduzir os custos operacionais.

## REFERÊNCIAS

- ASHRAE, Standard. **HVAC and Power section highlights**. Engineers Newsletter. V.4. a.1. 2013.
- CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. **Manual de aire acondicionado**. Barcelona: S. A. Marcombo, 1990.
- CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. **Split inverter Carrier X-Power**. São Paulo. 2014.
- PITA, E. G. Acondicionamento de Aire – **Principios y Sistemas**. México. 1998.
- CORTINOVIS, G. F. e Song, T. W. **Funcionamento de uma Torre de Resfriamento de Água**. São Paulo, 2014.
- Schneider, B., Ehrhart, M. G., & Macey, W. H. (2016). **Organizational climate and culture**. In G. J. Boyle, J. G. O'Gorman, & G. J. Fogarty (Eds.)
- PRADO, R. T. A.; CARMO, A. T. **Qualidade do Ar Interno**. Texto Técnico da Escola Politécnica da USP - ISSN 1413-0386, TT/PCC/23, São Paulo, SP, 2003
- MORALES, C. **Indicadores de Consumo de Energia Elétrica como Ferramenta de Apoio à Gestão: Classificação por Prioridades de Atuação na Universidade de São Paulo**. Tese de Mestrado. São Paulo. 2015.
- Silva R. W. C., Paula B. L. 2009. Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural. Terra e Didática, 5(1):42-49
- MARENGO, José A. **Caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao Longo do Século XXI**. 2 ed. Brasília – DF, 2007.
- CREDER, Hélio. **Instalações de Ar Condicionado**. 6 ed. Rio de Janeiro, 2004.
- Climagel. **Diferença entre split e split inverter**. Disponível em: <<https://www.climagel.com.br/diferenca-entre-split-e-split-inverter/>>. Acesso em 23/04/2024.
- FUJITSU GENERAL BRAZIL, **Tecnologia Inverter**. Disponível em: < <https://www.fujitsu-general.com/br/products/tecnologiainverter.html> > acesso em 23/04/2024.
- ALVAREZ, Mario Eusebio Torres. **Refrigeração, Ar Condicionado e Ventilação**. Londrina – PR, 2019.

ENGENHARIA E ARQUITETURA. **Sistema VRF: aplicações, vantagens e desvantagens.**

Disponível em: < <https://www.engenhariaarquitectura.com.br/2022/06/sistema-vrf- aplicacoes-vantagens-e-desvantagens>> Acesso em 24/04/2024.

NBR 16401 – 1, 2 e 3, Instalações de Ar Condicionado Sistemas Centrais e Unitários: Projetos das Instalações. 2008, 60p.

Daikin. **Eficiência energética e ar-condicionado: conheça a relação entre os dois.**

Disponível em: <<https://www.daikin.com.br/blog/2020/05/20/eficiencia-energetica-e-ar-condicionado-conheca-a-relacao-entre-os-dois>> Acesso em: 25/10/2024

COPEL. **Meu Simulador de Consumo.** Disponível em: <[https://www.copel.com/scnweb/simulador/resultado\\_detalhado.jsf](https://www.copel.com/scnweb/simulador/resultado_detalhado.jsf)> Acesso em: 29/10/2024

SICFLUX. Disponível em: <<https://sicflux.com.br/produto/crs-355-2/>> Acesso em: 29/10/2024.

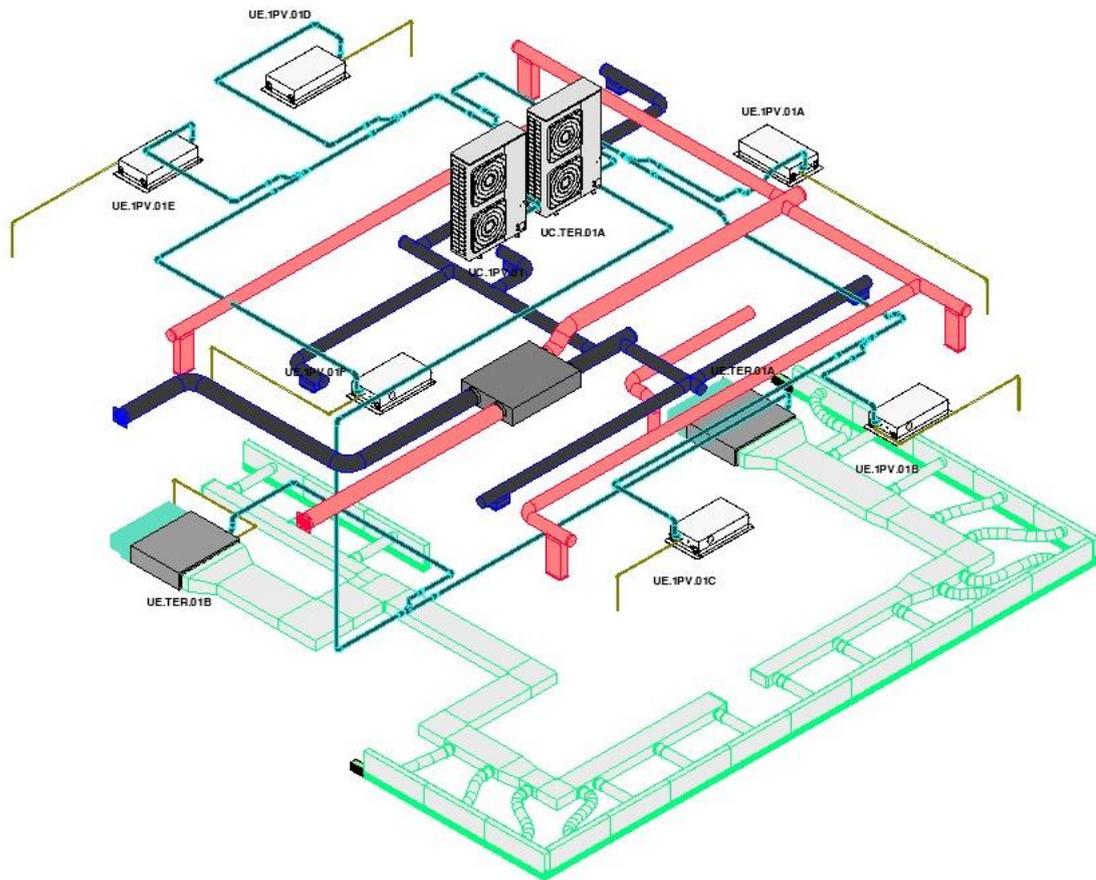
ARRUDA, Fábio Pinto de. **Desenhos de Arquitetura.** Disciplina de Projetos – Faculdade de Tecnologia "Professor Miguel Reale". São Paulo, 2024.

**APÊNDICES**

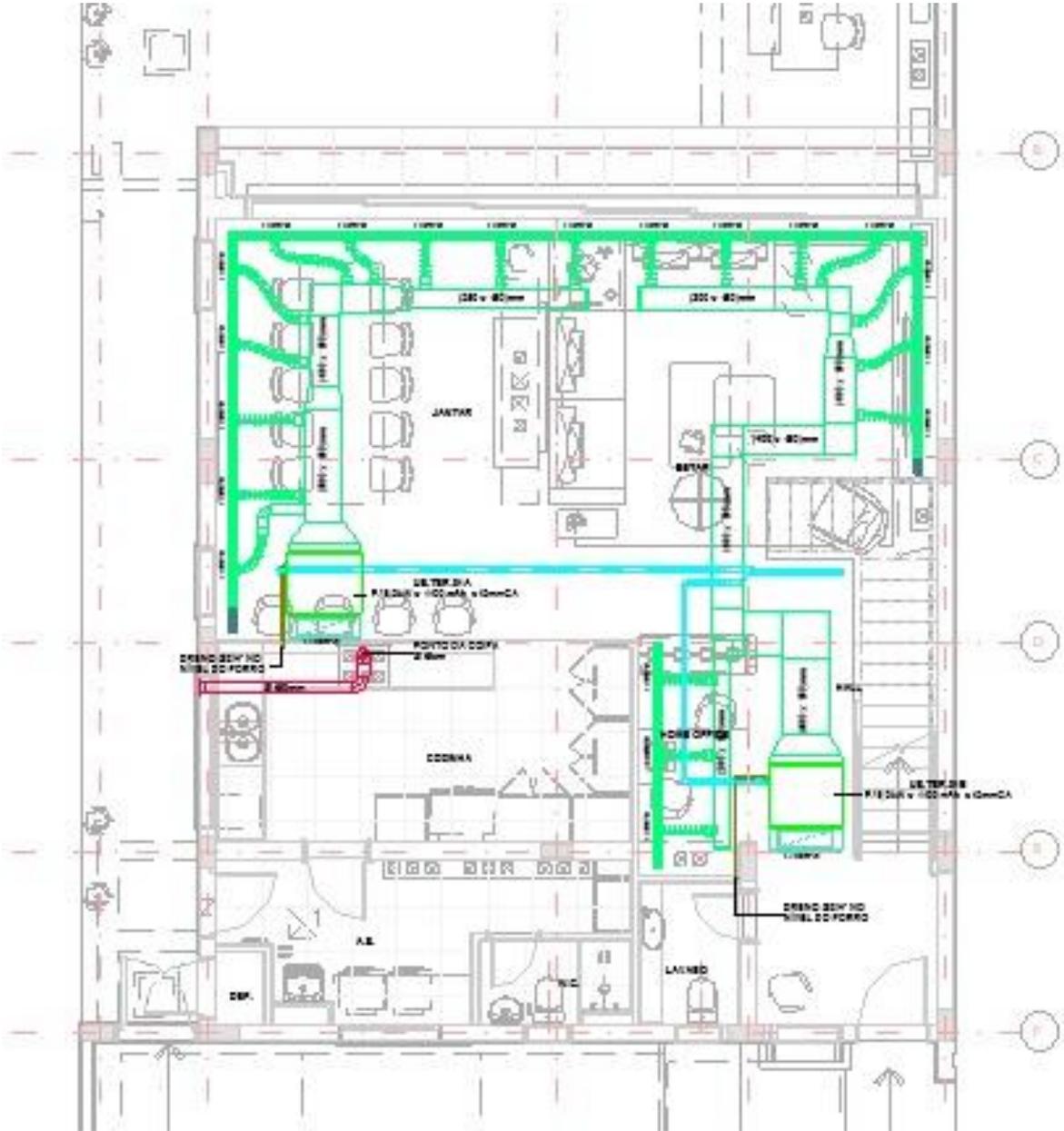


## Apêndice B – Projeto de Climatização

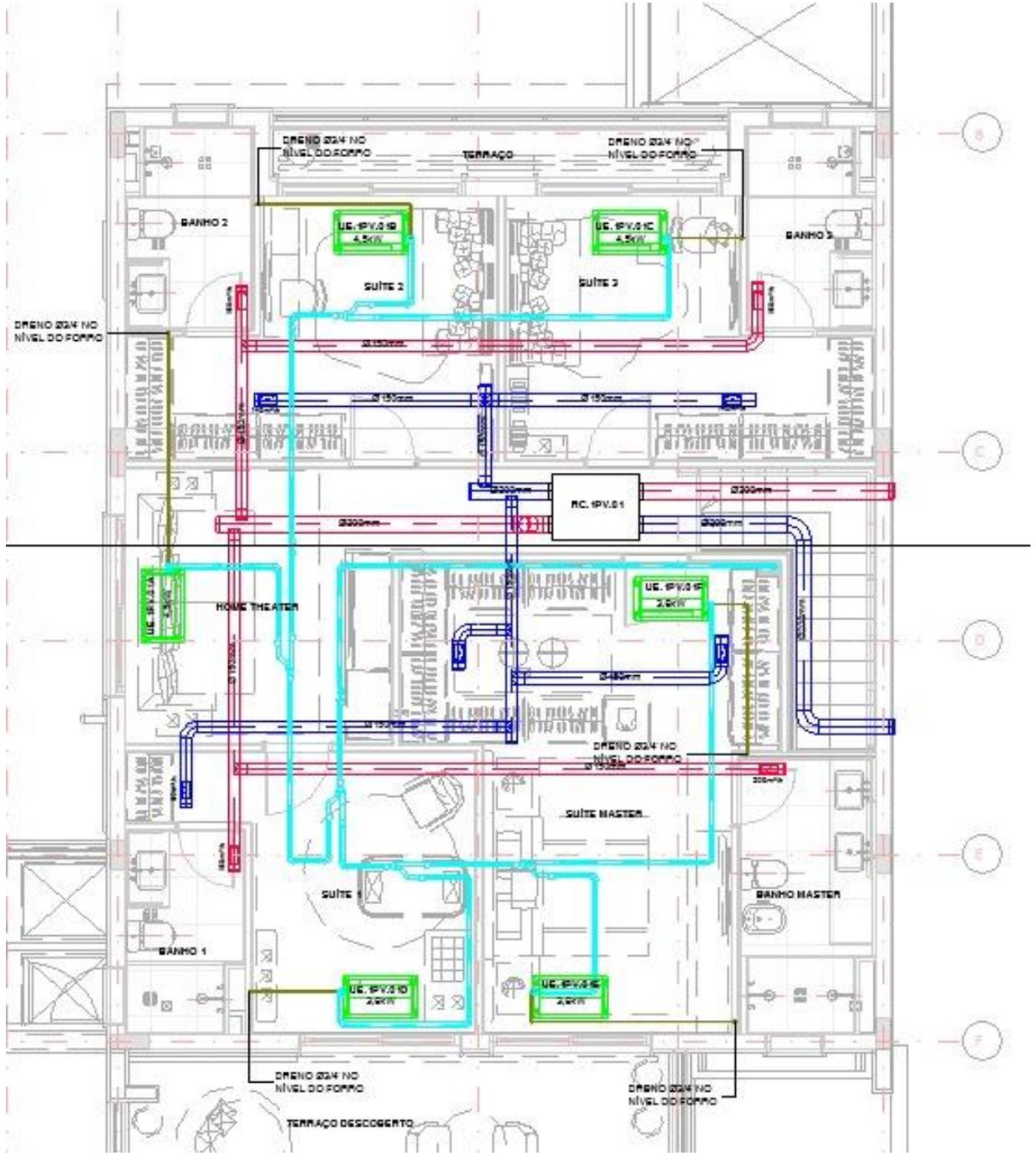
## Desenho Isométrico de Climatização



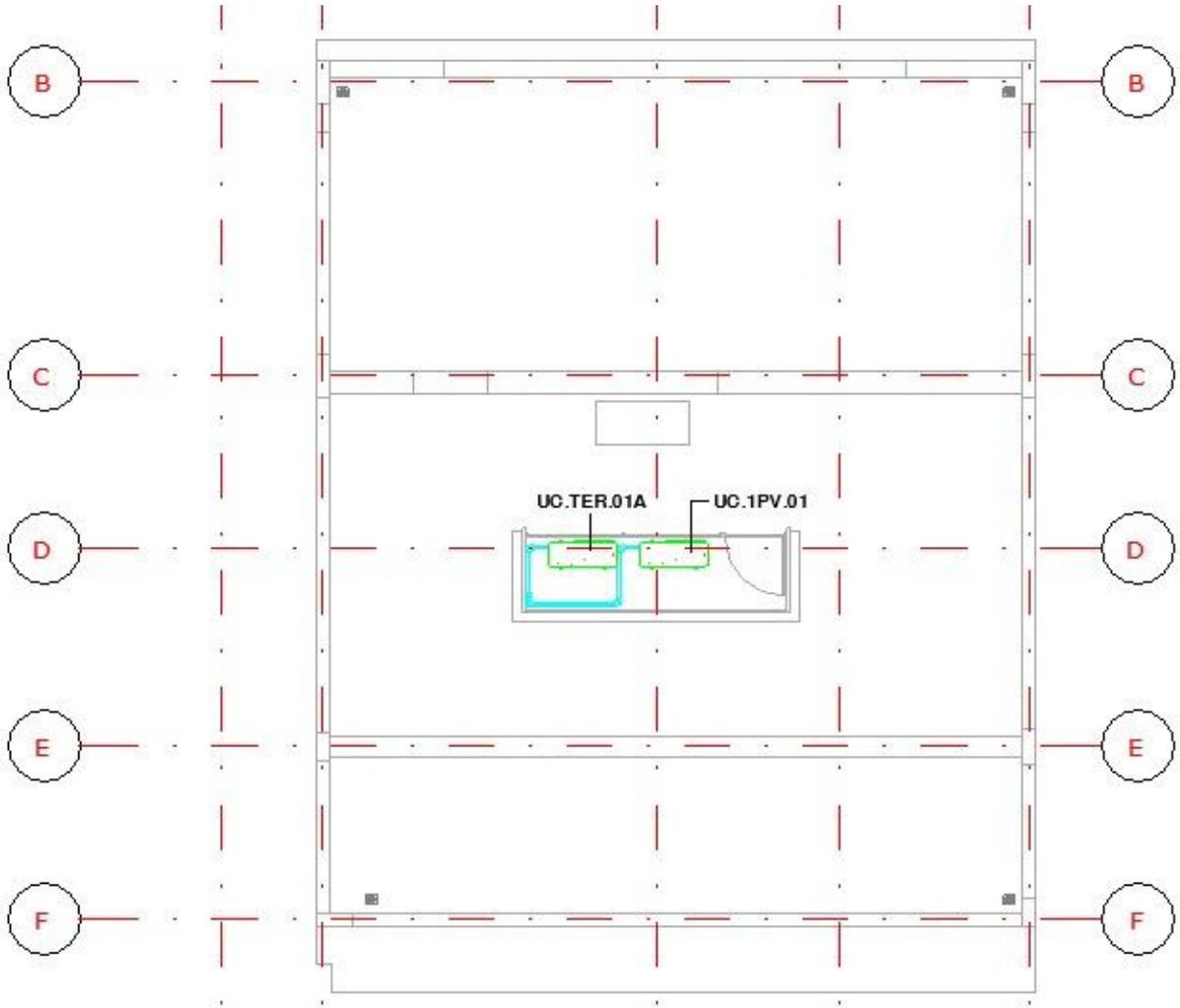
Planta do Pavimento Térreo



Planta do Pavimento Superior



Planta da Cobertura



## Apêndice C – Tabelas com as Características de Condução

<b>ZONA 01</b>				
ELEMENTO	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	U (kcal/h.m <sup>2</sup> .°C)
<b>PAREDE 01</b>	10	3,42	11,68	2,37
<b>JANELA 01</b>	8,9	2,53	22,52	5,43
<b>PAREDE 02</b>	11,24	3,42	38,44	2,37
<b>PAREDE 03</b>	2,65	3,42	7,17	2,37
<b>PORTA 03</b>	0,9	2,1	1,89	2,03
<b>PAREDE 04</b>	2,44	3,42	6,45	2,63
<b>PORTA 04</b>	0,9	2,1	1,89	2,03
<b>PAREDE 05</b>	7,22	3,42	22,8	2,63
<b>PORTA 05</b>	0,9	2,1	1,89	2,03
<b>PAREDE 06</b>	8,6	3,42	23,56	2,37
<b>JANELA 06</b>	1,8	2,42	4,36	5,43
<b>JANELA 06</b>	2	0,75	1,5	5,43
<b>PISO</b>	-	-	50,3	3,21
<b>TOTAL (kcal/h)</b>				<b>4.333,19</b>

<b>ZONA 02</b>						
ELEMENTO	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	U (kcal/h.m <sup>2</sup> .°C)	ΔT (°C)	Q(kcal/h)
<b>PAREDE 01</b>	3,1	3,35	5,12	2,37	9,2	111,66
<b>JANELA 01</b>	2,35	2,24	5,26	5,43	9,2	262,97
<b>PAREDE 02</b>	3,47	3,35	11,62	2,37	0	0
<b>PAREDE 03</b>	4,77	3,35	14,09	2,37	0	0
<b>PORTA 03</b>	0,9	2,1	1,89	2,03	0	0
<b>PAREDE 04</b>	1,6	3,35	5,36	2,63	9,2	129,69
<b>PAREDE 05</b>	1,72	3,35	3,87	2,63	9,2	93,69
<b>PORTA 05</b>	0,9	2,1	1,89	2,03	9,2	35,3
<b>PAREDE 06</b>	1,85	3,35	6,2	2,63	9,2	149,95
<b>PISO</b>	-	-	13,1	3,21	0	0
<b>TETO</b>	-	-	13,1	1,54	9,2	185,6
<b>TOTAL (kcal/h)</b>						<b>968,86</b>

<b>ZONA 03</b>						
ELEMENTO	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	U (kcal/h.m <sup>2</sup> .°C)	ΔT (°C)	Q(kcal/h)
PAREDE 01	3,1	3,35	5,12	2,37	9,2	111,66
JANELA 01	2,35	2,24	5,26	5,43	9,2	262,97
PAREDE 02	3,47	3,35	11,62	2,37	0	0
PAREDE 03	4,77	3,35	14,09	2,37	0	0
PORTA 03	0,9	2,1	1,89	2,03	0	0
PAREDE 04	1,6	3,35	5,36	2,63	9,2	129,69
PAREDE 05	1,72	3,35	3,87	2,63	9,2	93,69
PORTA 05	0,9	2,1	1,89	2,03	9,2	35,3
PAREDE 06	1,85	3,35	6,2	2,63	9,2	149,95
PISO	-	-	13,1	3,21	0	0
TETO	-	-	13,1	1,54	9,2	185,6
<b>TOTAL (kcal/h)</b>						968,86

<b>ZONA 04</b>						
ELEMENTO	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	U (kcal/h.m <sup>2</sup> .°C)	ΔT (°C)	Q(kcal/h)
PAREDE 01	5,9	3,35	17,88	2,63	0	0
PORTA 01	0,9	2,1	1,89	2,03	0	0
PAREDE 02	2,56	3,35	8,58	2,63	0	0
PAREDE 03	0,7	3,35	2,35	2,63	0	0
PAREDE 04	3,67	3,35	10,4	2,63	9,2	251,75
PORTA 04	0,9	2,1	1,89	2,03	9,2	35,3
PAREDE 05	3,2	3,35	5,46	2,37	9,2	118,96
JANELA 05	2,35	2,24	5,26	5,26	9,2	254,74
PAREDE 06	3,75	3,35	12,56	2,63	0	0
PAREDE 07	1,7	3,35	5,7	2,63	0	0
PAREDE 08	2,35	3,35	7,87	2,63	0	0
PISO	-	-	23,3	3,21	0	0
TETO	-	-	23,3	1,54	9,2	330,11
<b>TOTAL (kcal/h)</b>						990,86

<b>ZONA 05</b>						
ELEMENTO	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	U (kcal/h.m <sup>2</sup> .°C)	ΔT (°C)	Q(kcal/h)
PAREDE 01	4,57	3,35	13,42	2,63	0	0
PORTA 01	0,9	2,1	1,89	2,03	0	0
PAREDE 02	1,12	3,35	3,75	2,37	9,2	81,81
PAREDE 03	1,63	3,35	5,46	2,63	9,2	132,12
PORTA 03	0,9	2,1	1,89	2,03	9,2	35,3
PAREDE 04	2,91	3,35	9,75	2,63	9,2	235,87
PAREDE 05	2,97	3,35	4,69	2,37	9,2	102,16
JANELA 05	2,35	2,24	5,26	5,26	9,2	254,74
PAREDE 06	3,75	3,35	12,56	2,63	0	0
PISO	-	-	11,9	3,21	0	0
TETO	-	-	11,9	1,54	9,2	168,6
<b>TOTAL (kcal/h)</b>						1.010,60

**ZONA 06**

ELEMENTO	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	U (kcal/h.m <sup>2</sup> .°C)	ΔT (°C)	Q(kcal/h)
<b>PAREDE 01</b>	8,5	3,35	24,7	2,63	0	0
<b>PORTA 01</b>	1,8	2,1	3,78	2,03	0	0
<b>PAREDE 02</b>	3,62	3,35	12,13	2,37	9,2	264,42
<b>JANELA 02</b>	2,37	0,8	1,9	5,26	9,2	91,75
<b>PAREDE 03</b>	9,6	3,35	32,16	2,63	0	0
<b>PAREDE 08</b>	2,54	3,35	8,51	2,63	0	0
<b>PISO</b>	-	-	22	3,21	0	0
<b>TETO</b>	-	-	22	1,54	9,2	311,7
<b>TOTAL (kcal/h)</b>						<b>667,86</b>

## Apêndice D – Tabelas com as Características de Insolação

**ZONA 01**

ELEMENTO	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	U (kcal/h.m <sup>2</sup> .°C)	ΔT (°C)	Q(kcal/h)
<b>PAREDE 01</b>	10	3,42	11,68	2,37	8,25	228,43
<b>JANELA 01</b>	8,9	2,53	22,52	5,43	30,2	3692,47
<b>PAREDE 02</b>	11,24	3,42	38,44	2,37	0	0
<b>PAREDE 03</b>	2,65	3,42	7,17	2,37	8,25	140,25
<b>PORTA 03</b>	0,9	2,1	1,89	2,03	8,25	31,65
<b>PAREDE 04</b>	2,44	3,42	6,45	2,63	0	0
<b>PORTA 04</b>	0,9	2,1	1,89	2,03	0	0
<b>PAREDE 05</b>	7,22	3,42	22,8	2,63	0	0
<b>PORTA 05</b>	0,9	2,1	1,89	2,03	0	0
<b>PAREDE 06</b>	8,6	3,42	23,56	2,37	0,5	27,91
<b>JANELA 06</b>	1,8	2,42	4,36	5,43	30,2	714,32
<b>JANELA 06</b>	2	0,75	1,5	5,43	30,2	245,98
<b>PISO</b>	-	-	50,3	3,21	0	0
<b>TETO</b>	-	-	50,3	3,21	0	0
<b>TOTAL (kcal/h)</b>						5.081,02

**ZONA 02**

ELEMENTO	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	U (kcal/h.m <sup>2</sup> .°C)	ΔT (°C)	Q(kcal/h)
<b>PAREDE 01</b>	3,1	3,35	5,12	2,37	8,25	100,13
<b>JANELA 01</b>	2,35	2,24	5,26	5,43	30,2	863,22
<b>PAREDE 02</b>	3,47	3,35	11,62	2,37	0	0
<b>PAREDE 03</b>	4,77	3,35	14,09	2,37	0	0
<b>PORTA 03</b>	0,9	2,1	1,89	2,03	0	0
<b>PAREDE 04</b>	1,6	3,35	5,36	2,63	0,5	7,05
<b>PAREDE 05</b>	1,72	3,35	3,87	2,63	0	0
<b>PORTA 05</b>	0,9	2,1	1,89	2,03	0	0
<b>PAREDE 06</b>	1,85	3,35	6,2	2,63	0	0
<b>PISO</b>	-	-	13,1	3,21	0	0
<b>TETO</b>	-	-	13,1	1,54	24,58	495,88
<b>TOTAL (kcal/h)</b>						1.466,28

**ZONA 03**

ELEMENTO	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	U (kcal/h.m <sup>2</sup> .°C)	ΔT (°C)	Q(kcal/h)
PAREDE 01	3,1	3,35	5,12	2,37	8,25	100,13
JANELA 01	2,35	2,24	5,26	5,43	30,2	863,22
PAREDE 02	3,47	3,35	11,62	2,76	0	0
PAREDE 03	4,77	3,35	14,09	2,76	0	0
PORTA 03	0,9	2,1	1,89	2,03	0	0
PAREDE 04	1,6	3,35	5,36	2,63	0,5	7,05
PAREDE 05	1,72	3,35	3,87	2,63	0	0
PORTA 05	0,9	2,1	1,89	2,03	0	0
PAREDE 06	1,85	3,35	6,2	2,63	0	0
PISO	-	-	13,1	3,21	0	0
TETO	-	-	13,1	1,54	24,58	495,88
<b>TOTAL (kcal/h)</b>						1.466,28

**ZONA 04**

ELEMENTO	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	U (kcal/h.m <sup>2</sup> .°C)	ΔT (°C)	Q(kcal/h)
PAREDE 01	5,9	3,35	17,88	2,63	0	0
PORTA 01	0,9	2,1	1,89	2,03	0	0
PAREDE 02	2,56	3,35	8,58	2,63	0	0
PAREDE 03	0,7	3,35	2,35	2,63	0	0
PAREDE 04	3,67	3,35	10,4	2,63	0	0
PORTA 04	0,9	2,1	1,89	2,03	0	0
PAREDE 05	3,2	3,35	5,46	2,76	8,25	124,23
JANELA 05	2,35	2,24	5,26	5,26	30,2	836,2
PAREDE 06	3,75	3,35	12,56	2,63	0	0
PAREDE 07	1,7	3,35	5,7	2,63	0	0
PAREDE 08	2,35	3,35	7,87	2,63	0	0
PISO	-	-	23,3	3,21	0	0
TETO	-	-	23,3	1,54	24,58	881,98
<b>TOTAL (kcal/h)</b>						1.842,41

**ZONA 05**

ELEMENTO	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	U (kcal/h.m <sup>2</sup> .°C)	ΔT (°C)	Q(kcal/h)
PAREDE 01	4,57	3,35	13,42	2,63	0	0
PORTA 01	0,9	2,1	1,89	2,03	0	0
PAREDE 02	1,12	3,35	3,75	2,37	0,5	4,45
PAREDE 03	1,63	3,35	5,46	2,63	0	0
PORTA 03	0,9	2,1	1,89	2,03	0	0
PAREDE 04	2,91	3,35	9,75	2,63	0	0
PAREDE 05	2,97	3,35	4,69	2,37	8,25	91,61
JANELA 05	2,35	2,24	5,26	5,26	30,2	836,2
PAREDE 06	3,75	3,35	12,56	2,63	0	0
PISO	-	-	11,9	3,21	0	0
TETO	-	-	11,9	1,54	24,58	450,45
<b>TOTAL (kcal/h)</b>						1.382,71

**ZONA 06**

ELEMENTO	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	U (kcal/h.m <sup>2</sup> .°C)	ΔT (°C)	Q(kcal/h)
<b>PAREDE 01</b>	8,5	3,35	24,7	2,63	0	0
<b>PORTA 01</b>	1,8	2,1	3,78	2,03	0	0
<b>PAREDE 02</b>	3,62	3,35	12,13	2,37	8,25	237,11
<b>JANELA 02</b>	2,37	0,8	1,9	5,26	30,2	301,18
<b>PAREDE 03</b>	9,6	3,35	32,16	2,63	0	0
<b>PAREDE 08</b>	2,54	3,35	8,51	2,63	0	0
<b>PISO</b>	-	-	22	3,21	0	0
<b>TETO</b>	-	-	22	1,54	24,58	832,77
<b>TOTAL (kcal/h)</b>						<b>1.371,07</b>

## Apêndice E – Tabelas com as Características de Calor por Pessoa

<b>ZONA 01</b>			
NIVEL DE ATIVIDADE	CALOR TOTAL	CALOR SENSÍVEL (W)	CALOR LATENTE (W)
MODERADA	160	80	80
<b>CONSIDERANDO 10 PESSOAS NA ZONA 01 -LAYOUT</b>			
Nº DE PESSOAS	CALOR TOTAL	CALOR SENSÍVEL TOTAL (W)	CALOR LATENTE TOTAL (W)
10	1600	800	800
		CALOR SENSÍVEL TOTAL (kcal/h)	CALOR LATENTE TOTAL (kcal/h)
		687,84	687,84

<b>ZONA 02</b>			
NIVEL DE ATIVIDADE	CALOR TOTAL	CALOR SENSÍVEL (W)	CALOR LATENTE (W)
LEVE	115	70	45
<b>CONSIDERANDO 2 PESSOAS NA ZONA 01 -LAYOUT</b>			
Nº DE PESSOAS	CALOR TOTAL	CALOR SENSÍVEL TOTAL (W)	CALOR LATENTE TOTAL (W)
2	230	140	90
		CALOR SENSÍVEL TOTAL (kcal/h)	CALOR LATENTE TOTAL (kcal/h)
		120,372	77,382

<b>ZONA 03</b>			
NIVEL DE ATIVIDADE	CALOR TOTAL	CALOR SENSÍVEL (W)	CALOR LATENTE (W)
MODERADA	115	70	45
<b>CONSIDERANDO 2 PESSOAS NA ZONA 01 -LAYOUT</b>			
Nº DE PESSOAS	CALOR TOTAL	CALOR SENSÍVEL TOTAL (W)	CALOR LATENTE TOTAL (W)
2	230	140	90
		CALOR SENSÍVEL TOTAL (kcal/h)	CALOR LATENTE TOTAL (kcal/h)
		120,372	77,382

<b>ZONA 04</b>			
NIVEL DE ATIVIDADE	CALOR TOTAL	CALOR SENSÍVEL (W)	CALOR LATENTE (W)
MODERADA	115	70	45
<b>CONSIDERANDO 3 PESSOAS NA ZONA 01 -LAYOUT</b>			
Nº DE PESSOAS	CALOR TOTAL	CALOR SENSÍVEL TOTAL (W)	CALOR LATENTE TOTAL (W)
3	345	210	135
		CALOR SENSÍVEL TOTAL (kcal/h)	CALOR LATENTE TOTAL (kcal/h)
		180,558	116,073

**ZONA 05**

NIVEL DE ATIVIDADE	CALOR TOTAL	CALOR SENSÍVEL (W)	CALOR LATENTE (W)
MODERADA	115	70	45

**CONSIDERANDO 3 PESSOAS NA ZONA 01 -LAYOUT**

Nº DE PESSOAS	CALOR TOTAL	CALOR SENSÍVEL TOTAL (W)	CALOR LATENTE TOTAL (W)
3	345	210	135
		CALOR SENSÍVEL TOTAL (kcal/h)	CALOR LATENTE TOTAL (kcal/h)
		180,558	116,073

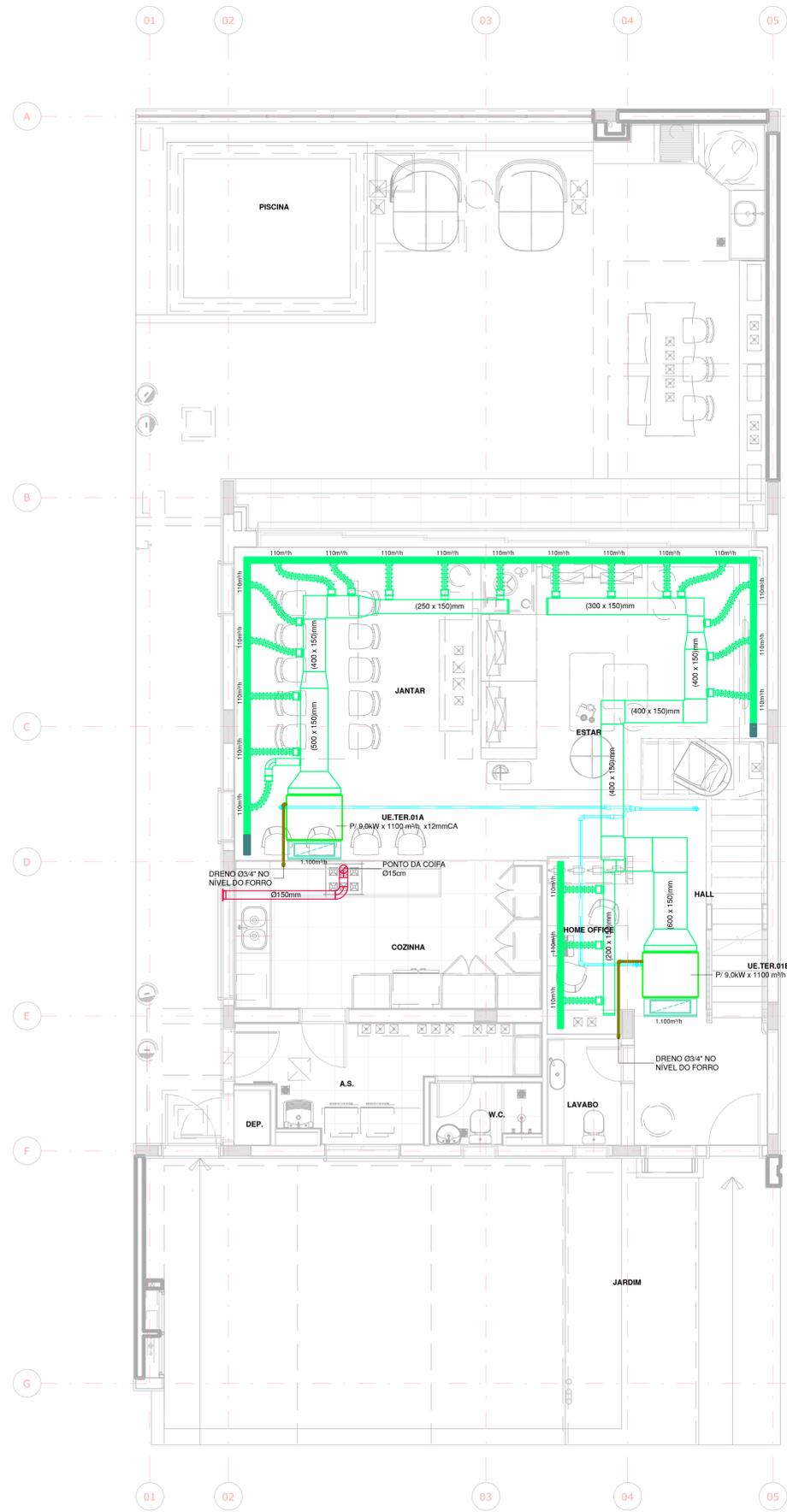
**ZONA 06**

NIVEL DE ATIVIDADE	CALOR TOTAL	CALOR SENSÍVEL (W)	CALOR LATENTE (W)
MODERADA	115	70	45

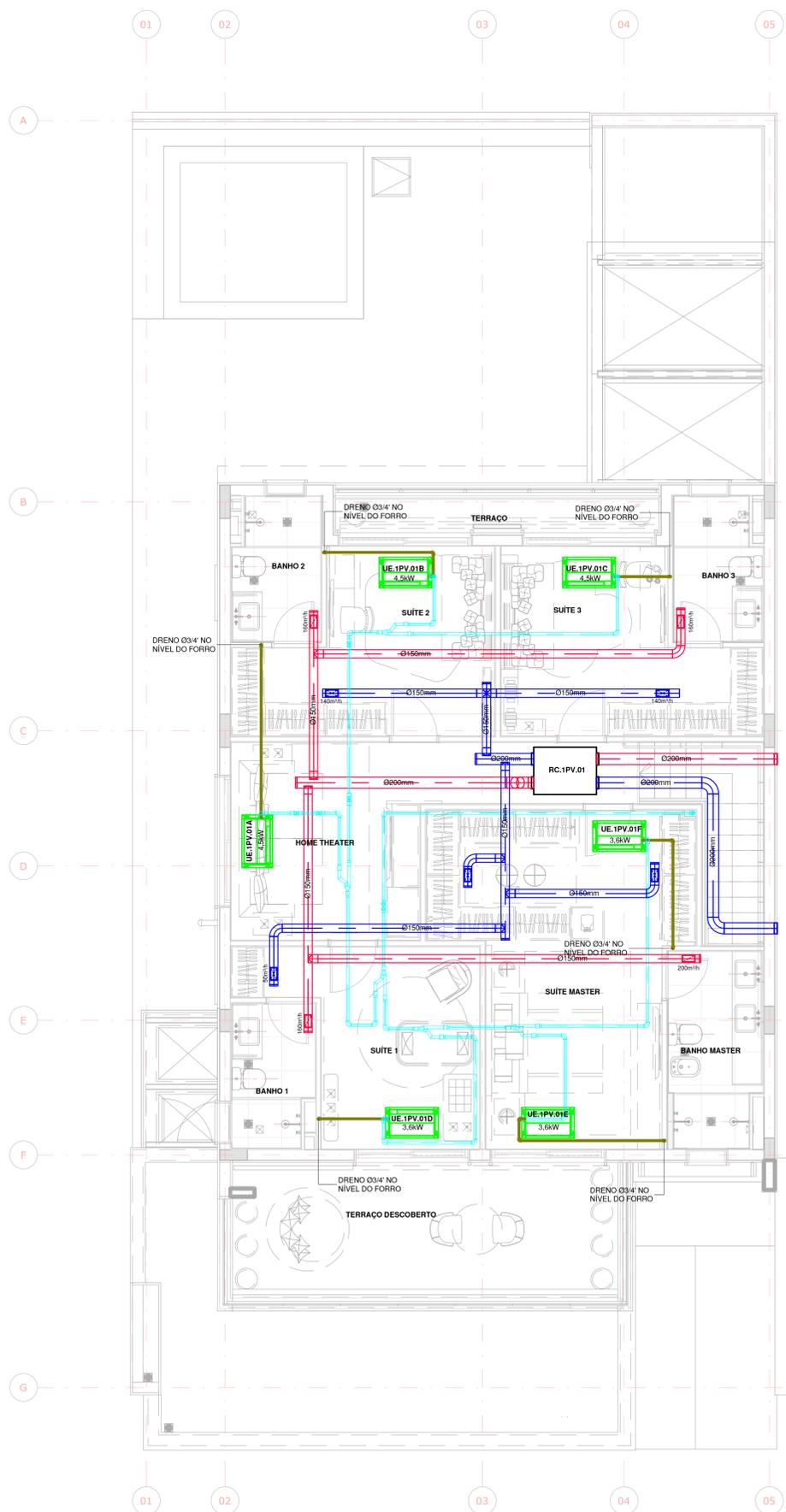
**CONSIDERANDO 4 PESSOAS NA ZONA 01 -LAYOUT**

Nº DE PESSOAS	CALOR TOTAL	CALOR SENSÍVEL TOTAL (W)	CALOR LATENTE TOTAL (W)
4	460	280	180
		CALOR SENSÍVEL TOTAL (kcal/h)	CALOR LATENTE TOTAL (kcal/h)
		240,744	154,764

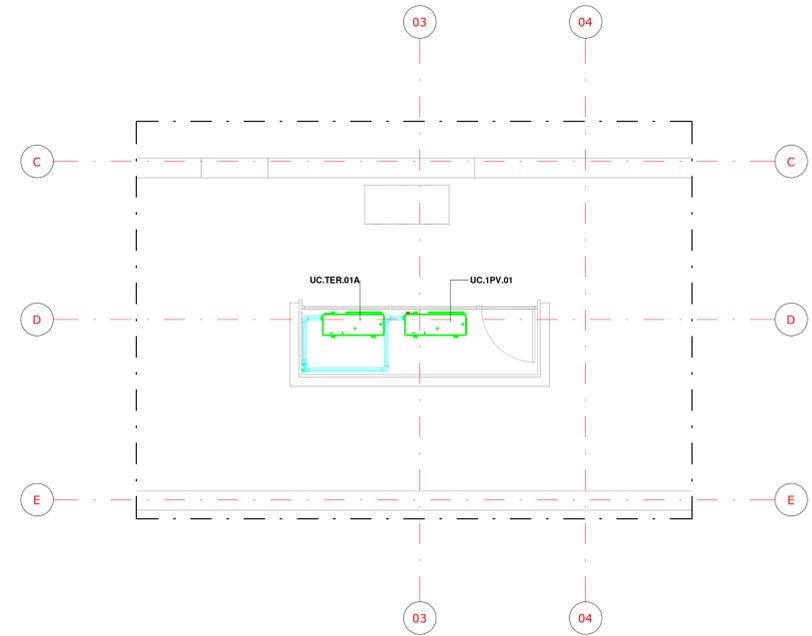
Apêndice F - Projeto Completo



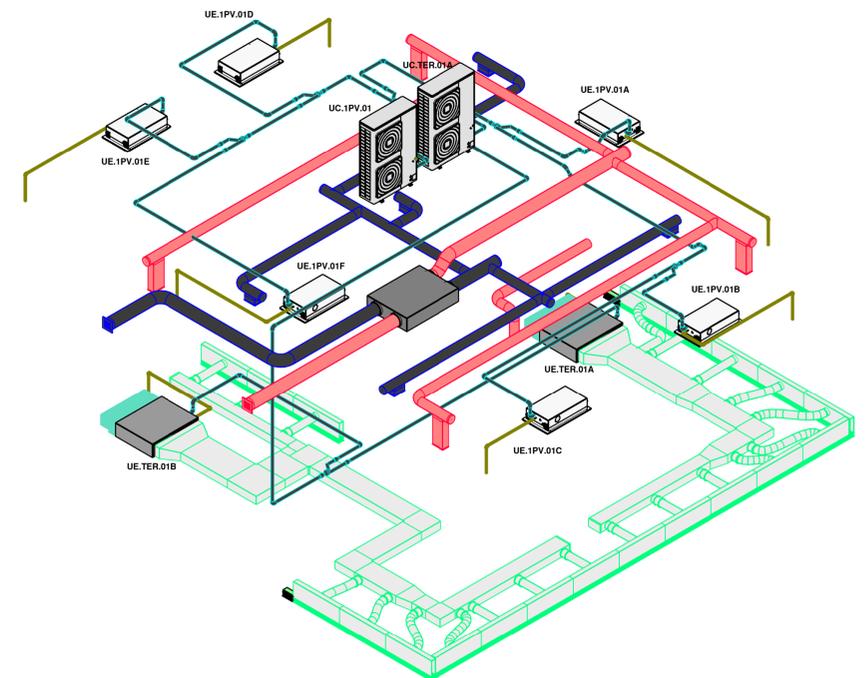
**PLANTA DO PAVIMENTO TÉRREO - CLIMATIZAÇÃO**  
Esc. 1:50



**PLANTA DO PAVIMENTO SUPERIOR - CLIMATIZAÇÃO**  
Esc. 1:50



**PLANTA PARCIAL DA COBERTURA CLIMATIZAÇÃO**  
Esc. 1:50



**SISTEMA COM RECUPERAÇÃO DE CALOR**  
S/ESC.