

ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO DE CONDICIONADORES DE AR DO TIPO SPLIT POR SISTEMA VRF

Lorenzo Negrelli Ferrari

Orientador Prof. Me. Filipe Arthur M. Monhol

RESUMO: A climatização em edifícios comerciais corresponde em torno de 40% do consumo energético total, a busca por sistemas mais eficientes se torna um ponto de melhoria na eficiência energética com grande potencial. Este trabalho tem como objetivo fazer a análise de viabilidade econômica de um sistema VRF para um edifício comercial com carga no recinto de cerca de 30TR em comparação ao sistema existente de condicionadores de ar do tipo split. Foi realizada uma análise das instalações do edifício, carga térmica instalada e por fim comparado o custo de aquisição de um sistema VRF e um tradicional Split. Foi calculado que o sistema VRF consome cerca de 64% do consumo de um sistema split, com payback em torno de 57 meses. Além disso, vale ressaltar o ganho no conforto térmico que o sistema pode trazer aos ambientes.

Palavras-chave: Eficiência energética; Ar condicionado VRF; Split; viabilidade econômica.

1 INTRODUÇÃO

A climatização em edificações comerciais corresponde a cerca de 47% do consumo de energia elétrica, de acordo com o Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2022 (EPE, 2022). Por ter uma parcela considerável do consumo de energia, o aprimoramento dos sistemas de climatização pode trazer um retorno econômico significativo.

Contudo, em muitas situações observamos que o dimensionamento e uso da tecnologia não é realizado da forma mais eficiente possível, muitas vezes por falta de conhecimento técnico, tanto dos prestadores de serviço quanto desconhecimento dos contratantes do serviço, opta-se por sistemas mais tradicionais ao invés de soluções mais apropriadas onde o custo inicial do investimento se mostra mais atrativo (ASBRAV, 2017).

Esse estudo tem como objetivo avaliar outro sistema de refrigeração disponível no mercado e pouco familiar para clientes de média capacidade, o sistema de refrigeração por compressão do tipo VRF (*Variable Refrigeration Flow*). Esse sistema apesar de inicialmente parecer mais complexo tem funcionamento semelhante aos já difundidos condicionadores de ar Split.

Para realizar essa análise será feito o estudo de um prédio comercial já em operação e com sistema de climatização do tipo split. Pretende ser feito um levantamento dos equipamentos instalados, carga do sistema e uma breve discussão do seu dimensionamento e por fim uma pesquisa de outros modelos disponíveis no mercado e a taxa de retorno do investimento para avaliar a viabilidade econômica.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

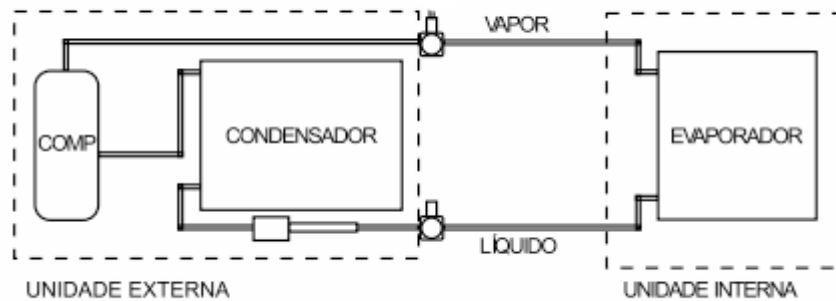
Os sistemas de climatização de ar têm como objetivo controlar principalmente a temperatura e umidade de ambientes internos em busca do conforto térmico, os parâmetros e recomendações desses critérios podem ser encontrados em normas técnicas como a NBR 16401 (ABNT, 2008).

O principal método de refrigeração se dá pelo ciclo de compressão a vapor (ASHRAE,2017), tendo basicamente dois tipos de sistema com expansão direta e indireta. No primeiro o fluido refrigerante troca calor diretamente com o ambiente, como é encontrado nos sistemas Split e VRF. Já na expansão indireta o fluido refrigerante troca calor com um fluido intermediário que por sua vez retira o calor do ambiente como podemos encontrar nos sistemas de água gelada.

2.1 CONDICIONADOR DE AR SPLIT

Os condicionadores de ar do tipo Split dominam o mercado com mais de 80% de participação no mercado e com crescimento constante nas vendas, tendo no período acumulado de 2020 e 2021 um aumento de 38%, ante o crescimento de 4,6% dos sistemas centrais (ABRAVA, 2021). Substituindo os condicionadores de ar de janela, que dominavam o mercado brasileiro na década de 90 sendo responsável por 94% das instalações do país (ASBRAV, 2017), o sistema Split se mostrou muito mais versátil, com equipamentos com maior capacidade de refrigeração, menor ruído e instalação mais flexível, visto que as unidades de condensação e evaporação passaram a serem módulos independentes.

Figura 1 – Condicionador de ar Split

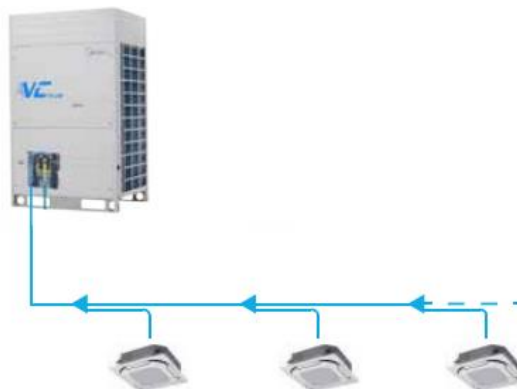


Fonte: Elgin adaptado (2020)

A vantagem dos sistemas Split em relação aos sistemas de climatização central se dá pela sua simplicidade, por se tratar de um sistema único e independente, além de ser o padrão de equipamento para pequenas e médias instalações, proporcionando grande oferta de produtos e mão de obra para esses equipamentos. Contudo, pode-se considerar como pontos negativos o superdimensionamento das unidades, uma vez que cada ambiente terá uma unidade independente, o que também se resume a um excesso de unidades externas instaladas, aumentando o custo de instalação, mão de obra e consumo de energia (ASBRAV, 2017).

2.2 SISTEMA VRF

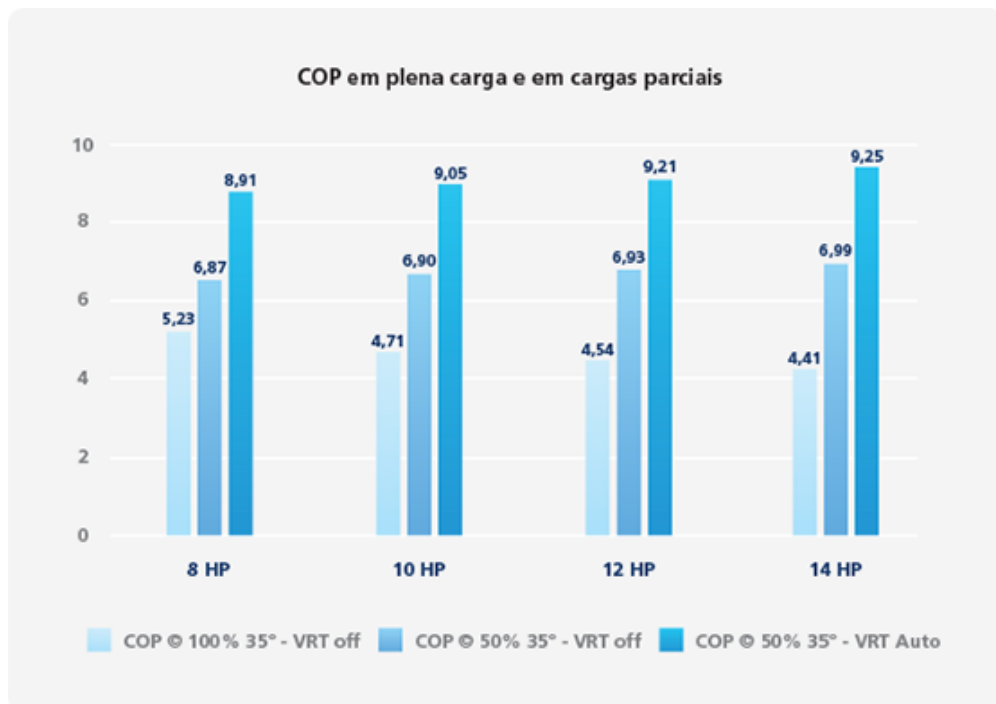
Figura 2 – Sistema VRF



Fonte: Carrier adaptado (2021)

O sistema VRF (ou fluxo de refrigerante variável) teve sua aparição no início dos anos 80 no Japão, desenvolvido pela Daikin. Apesar de existir há 4 décadas a popularização do sistema na América é recente (ASHRAE, 2013). Esses equipamentos permitem a ligação de várias unidades internas em uma única unidade condensadora e, ao contrário dos sistemas de água gelada, utiliza o próprio fluido refrigerante para o transporte da energia térmica. Dotados de um controle eletrônico, as unidades internas podem trabalhar de forma independente entre si, podendo em alguns modelos até operar em funções de resfriamento ou aquecimento simultaneamente. Isso se deve à capacidade de cada unidade interna ter o seu próprio controle do fluxo do fluido refrigerante, adaptando a demanda conforme necessidade. Já a unidade externa também ajusta a carga nos compressores por meio de inversores de frequência otimizando a eficiência do sistema. São nessas condições que o sistema VRF revela a sua eficiência, em cargas parciais o rendimento do sistema aumenta consideravelmente (DAIKIN, 2023).

Figura 3 – Rendimento de um sistema VRF em diferentes cargas

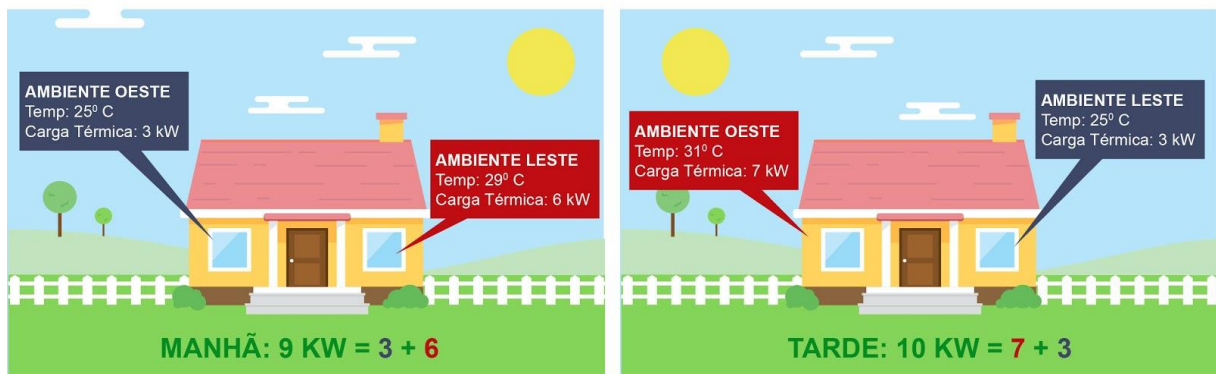


Fonte: Daikin (2023)

Sistemas de climatização central como o VRF apresentam também uma característica positiva, a da simultaneidade, isso ocorre porque geralmente os sistemas de climatização não operam em sua capacidade máxima durante todo o momento, algum

ambiente por exemplo pode não ser utilizado com frequência então aquela carga instalada não é aproveitada integralmente. Nos sistemas centrais a carga do conjunto é agregada um único conjunto externo, que devido aos recursos eletrônicos podem modular a carga de 50 a 130% da capacidade nominal. Em resumo, a simultaneidade é possibilita reduzir a carga operacional uma vez que as unidades internas não operam todas ao mesmo tempo a 100% da sua capacidade (CARRIER, 2023). Na figura 4 é possível compreender a simultaneidade, com a carga nos ambientes se alterando de acordo com o incidência solar ao longo do dia por exemplo, onde num momento o ambiente precisa de maior refrigeração e depois passa a necessitar de menos.

Figura 4 – Exemplo de simultaneidade



Fonte: Irwing (2023)

2.4 LEVANTAMENTO DA CARGA TÉRMICA

O dimensionamento da carga térmica do ambiente é uma importante etapa do projeto de climatização, a correta execução dessa fase garantirá um sistema na medida correta, sem afetar o conforto térmico do ambiente e nem superdimensionar o sistema, acarretando em maior custo de implementação do sistema e custos de operação.

Alguns requisitos são necessários para o correto dimensionamento do sistema, uma delas é a questão do conforto térmico para os ambientes, assunto tratado pela norma brasileira **ABNT NBR 16401 Parte 2**, que usa como referência a norma

ASHRAE 55-2013. Uma outra norma brasileira que trata mais especificamente do dimensionamento é a **NBR 5858 Cálculo Simplificado de Carga Térmica.**

Como o objetivo desse estudo não é o dimensionamento de carga, será usado como base de comparação a relação tradicional de $15\text{m}^2/\text{ton}$ ($800\text{BTU}/\text{m}^2$) (MMA, 2017), dentro de uma margem sobredimensionada uma vez que esse valor considera basicamente a área do ambiente.

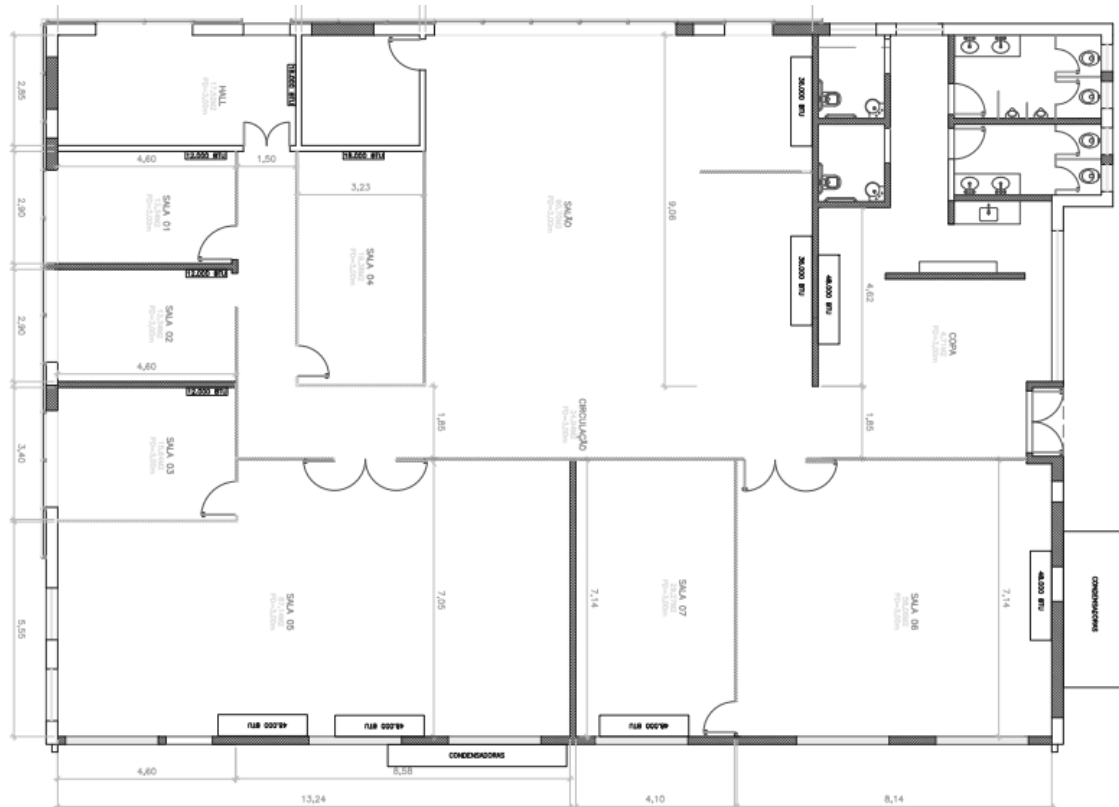
3 RESULTADOS

3.1 ANÁLISE

O edifício de estudo é uma construção recente, do tipo laje corporativa, ou seja, um prédio térreo com as paredes externas em alvenaria, telhado de estrutura metálica e as divisões internas de ambientes em sua maioria de vidros. O teto conta com um forro de isolamento térmico o que permite o fácil acesso ao telhado, onde toda a infraestrutura elétrica e de climatização é passada. Por não contar com obstáculos esse tipo de construção permite uma fácil instalação e passagem de dutos.

Na figura 5 pode ser vista a planta baixa, com os ambientes e a localização das unidades internas (evaporadores) e externas dos condicionadores de ar.

Figura 5 – Planta Baixa da construção



Fonte: Autor (2023)

A edificação tem no total uma área interna climatizada de 370m². Na tabela 1 estão as unidades de climatização com suas respectivas capacidades de refrigeração nos seus respectivos ambientes, e uma comparação com o valor padrão de 800BTU/m² discutido anteriormente.

Tabela 1 – Equipamentos instalados

AMBIENTE	ÁREA (m ²)	EQUIPAMENTOS INSTALADOS	BTU/m ²	CARGA INSTALADA/PADRÃO
Hall	17,4	1x Hi-wall 18.000 BTU	1034	130%
Sala 01	13,5	1x Hi-wall 12.000 BTU	889	111%
Sala 02	13,3	1x Hi-wall 12.000 BTU	902	113%
Sala 03	15,5	1x Hi-wall 12.000 BTU	774	97%
Sala 04	19,8	1x Hi-wall 18.000 BTU	909	114%
Sala 05	86,3	2x Teto Piso 48.000 BTU	1112	139%
Sala 06	56,8	1x Teto Piso 48.000 BTU	845	105%
Sala 07	29,2	1x Teto Piso 48.000 BTU	1643	205%
Salão	90,5	2x Teto Piso 36.000 BTU	796	100%
Copa	27,8	1x Teto Piso 48.000 BTU	1726	215%
Total	370,1	384.000 BTU	1038	130%

Fonte: Autor (2023)

Tem-se no total uma carga instalada de 384.000 BTU/h ou 32 TR (Toneladas de Refrigeração). Essa carga já se mostra razoável para se utilizar sistemas de climatização de maior porte, como os VRF e Chiller.

Uma das desvantagens do sistema split simples é a grande quantidade de unidades externas (condensadoras) instaladas, causando uma poluição visual da fachada além da maior complexidade de manutenção, visto que são vários equipamentos. É importante notar também que alguns ambientes não são utilizados com frequência, o que causa uma vacância em várias unidades, o que por si só já acusa um possível superdimensionamento da carga instalada.

Figura 6 – Fachadas externas com as unidades condensadoras instaladas.



Fonte: Autor (2023)

Há no total 4 modelos de equipamentos para as quatro capacidades instaladas (12000, 18000, 36000 e 48000 BTU/h), unidades de mesma capacidade são do mesmo modelo, suas respectivas especificações estão listadas na figura 7, onde a unidade de 12000 tem especificações iguais às de 18000BTU/h.

Figura 7 – Especificações dos equipamentos

ITEM		UNIDADE INT.	PEF136B2ND	PTFI48B2ID	ITEM		UNIDADE INT.	HEF118B2FB
		UNIDADE EXT.	OUFE36B2CB	OUFE48B3CB			UNIDADE EXT.	HEFE18B2NB
CAPACIDADE	REFRIGERAÇÃO	W	10548	14064	CAPACIDADE	REFRIGERAÇÃO	W	5274
		(Btu/h)	36000	48000			(Btu/h)	18000
	COP		3,0	3,2		COP		3,25
ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA		V	220	220 / 3	ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA		V	220
FREQUÊNCIA		Hz	60	60	FREQUÊNCIA		Hz	60
POTÊNCIA		W	3486	4346	POTÊNCIA		W	1623
CORRENTE		A	14,8	13,8	CORRENTE		A	8,1
TIPO DE REFRIGERANTE ⁽¹⁾		TIPO	R-410A	R-410A	TIPO DE REFRIGERANTE ⁽¹⁾		TIPO	R-410A
POTÊNCIA MÁXIMA (PARA DIMENSIONAMENTO DO CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA)		W	4061	5375	POTÊNCIA MÁXIMA (PARA DIMENSIONAMENTO DO CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA)		W	2060
CORRENTE MÁXIMA (PARA DIMENSIONAMENTO DO CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA)		A	18,3	15,4	CORRENTE MÁXIMA (PARA DIMENSIONAMENTO DO CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA)		A	9,5
DISJUNTOR		A	25	20	DISJUNTOR		A	13
CABO DE INTERLIGAÇÃO ⁽²⁾		mm ²	PP 4x1,5mm ² (até 10m)	PP 4x1,5mm ² (até 10m)	CABO DE INTERLIGAÇÃO ⁽²⁾		mm ²	PP 3x1,5mm ² até 10m
CABO DE ALIMENTAÇÃO ⁽²⁾		mm ²	PP 3x4,0mm ² (até 10m)	PP 4x4,0mm ² (até 10m)	CABO DE ALIMENTAÇÃO ⁽²⁾		mm ²	Padrão
COMPRIMENTO DOS TUBOS	PADRÃO		7,5	7,5	COMPRIMENTO DOS TUBOS	PADRÃO		7,5
	MÍNIMO	m	2	2		MÍNIMO	m	2
	MÁXIMO		30	30			MÁXIMO	
DESNÍVEL MÁXIMO		m	15	15	DESNÍVEL MÁXIMO		m	8
TUBULAÇÕES ⁽³⁾	LÍQUIDO	mm (Polegada)	9,53 (3/8)	9,53 (3/8)	TUBULAÇÕES ⁽³⁾	LÍQUIDO	mm (Polegada)	6,35 (1/4)
			-	19,05 (3/4) - Até 10m		SUCÇÃO		12,7 (1/2)
	19,05 (3/4) - Até 20m		22,22 (7/8) - Até 30m					
	22,22 (7/8) - Até 30m		-					
MASSA (sem embalagem)		kg	29	33,5	MASSA (sem embalagem)		kg	12,4
UNIDADE INTERNA			64,6	90,2	UNIDADE EXTERNA			33

Fonte – Elgin adaptado (2022)

3.2 SISTEMAS ALTERNATIVOS

3.2.1 AJUSTE DE CARGA

Antes de seguir para o orçamento dos sistemas alternativos, um passo válido é avaliar a situação e capacidades instaladas atualmente em cada ambiente, como pode ser visto na Tabela 1 alguns ambientes estão superdimensionados em mais de 100% em relação aos 800BTU/m² que fora adotado como referência. Alguns ambientes também não são utilizados com tanta frequência, o que influencia na simultaneidade da instalação, isto é, pode-se instalar uma carga inferior a soma total das cargas dos evaporadores uma vez que as unidades não funcionarão em sua capacidade total simultaneamente. Para esse caso será usado o fator de simultaneidade de 130% que os fabricantes geralmente recomendam nos manuais técnicos. Em situações extraordinárias esse fator pode superar os 130%, porém deverá ser validado pelo fabricante com o devido projeto do sistema (MIDEA, 2023).

Tabela 2 – Nova proposta com evaporadoras redimensionadas.

AMBIENTE	ÁREA (m ²)	EQUIPAMENTOS INSTALADOS	BTU/m ²	CARGA INSTALADA/PADRÃO	DEMANDA
Hall	17,4	1x Hi-wall 12.000 BTU	690	86%	0%
Sala 01	13,5	1x Hi-wall 12.000 BTU	889	111%	25%
Sala 02	13,3	1x Hi-wall 12.000 BTU	902	113%	25%
Sala 03	15,5	1x Hi-wall 12.000 BTU	774	97%	100%
Sala 04	19,8	1x Hi-wall 18.000 BTU	909	114%	20%
Sala 05	86,3	1x Teto Piso 48.000 BTU +1x TP 36.000 BTU	973	122%	20%/100%
Sala 06	56,8	1x Teto Piso 48.000 BTU	845	106%	40%
Sala 07	29,2	1x Teto Piso 36.000 BTU	1233	154%	100%
Salão	90,5	2x Cassete 36.000 BTU	796	100%	100%
Copa	27,8	1x Teto Piso 36.000 BTU	1295	162%	10%
Total	370,1	342.000 BTU	924	116%	

Fonte: Autor (2023)

A proposta de alteração acima, com destaque para os itens alterados, tem como objetivo reduzir a carga instalada nos ambientes: Sala 07, que estava superdimensionado em mais de 100%, na Copa, sala 05 e hall. No salão devido às grandes dimensões do ambiente foi substituído os modelos teto piso para do tipo cassete por ter melhor distribuição do ar.

A coluna “demanda” representa uma estimativa do uso das unidades durante o horário laboral. Os ambientes com demanda abaixo de 100% são geralmente salas de reunião que não ficam ocupadas a todo momento, nesses casos os equipamentos ficam desligados.

3.2.2 ORÇAMENTO DOS SISTEMAS

Para efeito de comparação foi realizado um orçamento com os equipamentos Split similares aos instalado atualmente. Em contato com orçamento em empresas especializadas em refrigeração foi dada uma referência de custo de mão de obra e material para instalação de R\$1400,00 por unidade (R\$700,00 de mão obra e R\$700,00 de material). A estimativa total se encontra na tabela abaixo.

Tabela 3 – Orçamento de aquisição de equipamentos Split

ORÇAMENTO SPLIT					
Equipamento	Descrição	Capacidade (BTU/h)	Valor	Qtd.	Total
Split	Carrier Teto Piso	48.000	R\$ 12.710,00	2	R\$ 25.420,00
Split	Carrier Teto Piso	36.000	R\$ 9.080,00	3	R\$ 27.240,00
Split	Carrier Cassete	36.000	R\$ 12.000,00	2	R\$ 24.000,00
Split	Midea Hi-wall	18.000	R\$ 3.350,00	1	R\$ 3.350,00
Split	Midea Hi-wall	12.000	R\$ 2.370,00	4	R\$ 9.480,00
Serviço	Instalação		R\$ 700,00	12	R\$ 8.400,00
Infraestrutura	Material para instalação		R\$ 700,00	12	R\$ 8.400,00
Total		342000	BTU/h		R\$ 106.290,00

Fonte: Autor (2023)

No mesmo fornecedor foi possível orçar o sistema VRF, nesse caso são adquiridas as unidades centrais externas separadamente e as unidades internas de acordo com a demanda. As unidades internas do sistema VRF necessitam de uma derivação especial denominadas “refnet” e que estão inclusas no orçamento. Para estimativa de custo de instalação nesse caso o profissional da área estimou em R\$2000,00 por unidade interna (R\$1000,00, de mão de obra e R\$1000,00 de material). Na figura 8 se encontra os dados técnicos das unidades centrais, com seus respectivos coeficientes de performance, com atenção especial ao ICOP, que é o rendimento da máquina operando em cargas parciais.

Figura 8 – Especificações das unidades centrais VRF

HP			10	18
Nome do modelo			MVC-280WV2WN1	MVC-500WV2WN1
Fonte de alimentação		V/Ph/Hz	220 V 3N ~ 50/60Hz	
Refrigeração ¹	Capacidade	kW	28,0	50,0
		kBtu/h	95,6	170,8
	Potência	kW	7,10	13,7
	COP / iCOP		3,94 / 5,76	3,65 / 5,03
N° Un. Terminais Conectadas	Capacidade máxima recomendada		130%	
	Quantidade máxima		16	29
Compressor	Tipo		DC inverter	
	Quantidade		1	2
Ventilador	Tipo		DC	
	Modelo		ZKSN-560-8-42L	ZKSN-560-8-42L
	Quantidade		1	2
	Saída do motor	kW	0,56	0,56x2
	ESP máx.		20 como padrão; 60 como opcional	
Taxa de fluxo de ar		m³/h	10400	12000
Gás refrigerante	Tipo		R410A	
	Carga de fábrica	kg	8	13
Conexões da tubulação ²	Tube de líquido	mm	Φ12,7	Φ15,9
	Tube de gás	mm	Φ25,4	Φ31,8
Nível de pressão sonora ³		dB(A)	57	62
Dimensões (LxAxP)		mm	960x1615x765	1250x1615x765
Embalagem (LxAxP)		mm	1025x1790x830	1305x1790x820
Peso líquido		kg	193	296
Peso bruto		kg	209	313
Temp. ambiente	Refrigeração	°C	-5°C a 55°C	

Fonte: Midea adaptado (2022)

Tabela 4 – Orçamento de aquisição de equipamentos VRF

ORÇAMENTO VRF						
Equipamento	Descrição	Capacidade (BTU/h)	Valor	Qtd.	Total	
Unidade central	Midea 10Hp 220v3F	95.600	R\$ 21.340,00	1	R\$	21.340,00
Unidade central	Midea 18Hp 220v3F	170.800	R\$ 34.751,00	1	R\$	34.751,00
Unidade int.	Midea Teto Piso	47.800	R\$ 4.173,00	2	R\$	8.346,00
Unidade int.	Midea Teto Piso	38.200	R\$ 3.880,00	3	R\$	11.640,00
Unidade int.	Midea Cassete	38.200	R\$ 3.515,00	2	R\$	7.030,00
Unidade int.	Midea Hi-wall	19.100	R\$ 2.397,00	1	R\$	2.397,00
Unidade int.	Midea Hi-wall	12.300	R\$ 2.234,00	4	R\$	8.936,00
Infraestrutura	Junta condensador 2 módulos		R\$ 1.315,00	1	R\$	1.315,00
Infraestrutura	Refnet - Derivação evaporadoras		R\$ 510,00	12	R\$	6.120,00
Infraestrutura	Material para instalação		R\$ 1.000,00	12	R\$	12.000,00
Serviço	Instalação		R\$ 1.000,00	12	R\$	12.000,00
Total Condensadora		266.400	BTU/h		R\$	125.875,00
Total Evaporadoras		354900	BTU/h			
Simultaneidade		133%				

Fonte: Autor (2023)

Optou-se por duas unidades centrais separadas para atender as recomendações do fabricante que determina uma demanda mínima de 20% para o correto funcionamento de cada central (MIDEA, 2023). Dessa forma, a unidade de 10 HP conseguiria suprir a demanda mínima 19.000 BTU/h com segurança, mesmo com o funcionamento de apenas uma ou duas unidades pequenas. Apesar de serem unidades separadas ambas são instaladas de forma comum, e o próprio controle eletrônico da unidade ajusta a carga e utilização de cada unidade de acordo com a demanda.

3.2.3 ANÁLISE DE RENDIMENTO

Para o estabelecer o coeficiente de performance de ambos os sistemas, será feita uma média ponderada de todas as unidades instaladas de acordo com a capacidade de cada uma, determinada pela equação abaixo:

$$x = \frac{(x1 * p1) + (x2 * p2) + \dots + (xn * pn)}{p1 + p2 + \dots + pn}$$

Para o sistema split temos:

$$COP = \frac{(3,0 * 180000) + (3,2 * 96000) + (3,25 * 66000)}{180000 + 96000 + 66000}$$

$$\mathbf{COP_{split} = 3,10}$$

Para o sistema VRF temos:

$$COP = \frac{(3,94 * 95600) + (3,65 * 170800)}{95600 + 170800}$$

$$\mathbf{COP_{vrf} = 3,75}$$

$$ICOP = \frac{(5,76 * 95600) + (5,03 * 170800)}{95600 + 170800}$$

$$\mathbf{ICOP_{vrf} = 5,29}$$

De acordo com a Tabela 2 podemos estimar que todo o sistema funciona em carga parcial por aproximadamente 70% do tempo, sendo assim podemos definir o COP médio da seguinte forma:

$$COP_{vrfM} = (5,29 * 0,7) + (3,75 * 0,3)$$

$$\mathbf{COP_{vrfM} = 4,83}$$

3.2.4 ANÁLISE ENERGÉTICA E FINANCEIRA

Na questão de consumo de energia, será feita uma relação entre o coeficiente de performance dos dois sistemas a fim de se estabelecer um fator de consumo de energia elétrica entre o sistema VRF e o de split tradicional considerando que os dois sistemas trabalhariam com a mesma demanda de carga.

$$W_{vrf} = W_{split} * \left(\frac{COP_{split}}{COP_{vrfM}} \right) = W_{split} \left(\frac{3,1}{4,83} \right)$$

$$\mathbf{W_{vrf} = W_{split} * 0,64}$$

Temos então que o sistema VRF consumiria apenas 64% do que um sistema comum, uma economia bastante expressiva.

Para estimativa de consumo elétrico será usado como referência a tabela de eficiência energética de condicionadores de ar do INMETRO, o método de medição de consumo utilizado tem como base o uso de aparelho por 1 hora por dia por todo o mês. Os valores serão reajustados proporcionalmente para 20 dias de uso, visto que o escritório não funciona nos finais de semana e de acordo com a Tabela 2 as horas de funcionamento diários (expediente de 8h) serão ajustados de acordo com a demanda.

Tabela 5 – Consumo de energia mensal

AMBIENTE	ÁREA (m ²)	EQUIPAMENTOS INSTALADOS	DEMANDA	CONSUMO (KWh/mês)
Hall	17,4	1x Hi-wall 12.000 BTU	0%	0
Sala 01	13,5	1x Hi-wall 12.000 BTU	25%	30
Sala 02	13,3	1x Hi-wall 12.000 BTU	25%	30
Sala 03	15,5	1x Hi-wall 12.000 BTU	100%	120
Sala 04	19,8	1x Hi-wall 18.000 BTU	20%	36,3
Sala 05	86,3	1x TP 48.000 BTU +1x TP 36.000 BTU	20%/100%	479,8
Sala 06	56,8	1x Teto Piso 48.000 BTU	40%	196,5
Sala 07	29,2	1x Teto Piso 36.000 BTU	100%	381,6
Salão	90,5	2x Cassete 36.000 BTU	100%	763,2
Copa	27,8	1x Teto Piso 36.000 BTU	10%	38,16
Total				2075,6

Fonte: Autor (2023)

Tendo como base o consumo mensal de 2075,6KWh/mês para o sistema split convencional, podemos estimar um consumo para o sistema VRF de 1328,4KWh/mês, uma economia de 747,2KWh mensais.

Para a análise de viabilidade econômica será feita uma análise de retorno econômico (payback) baseando o custo adicional do sistema VRF face a economia de energia este proporciona.

Para a composição do custo de energia será considerado uma instalação modalidade VERDE com fornecimento da EDP, os custos tarifários foram obtidos de

acordo com a Resolução Homologatória nº 3091 (ANEEL, 2022). O expediente do escritório é das 8h da manhã até as 17h, portanto será considerado apenas o consumo fora ponta. Tem-se o valor de R\$398,13 por MWh.

Foi utilizado o método de payback descontado, com taxa de juros de 1%a.m baseado na SELIC. Tem-se como custo inicial a diferença entre o sistema VRF e o split, de R\$19585,00 e fluxo de mensal a economia de energia, de R\$297,5. Dessa forma obtemos uma taxa de retorno no 57º mês. Para fortalecimento da análise também foi realizado o VPL no mesmo período com taxa de atratividade mínima de 1%a.m, obteve-se um resultado de -R\$3206,33.

4 CONCLUSÃO

A análise vista mostra como positiva o investimento no sistema VRF, tendo retorno do investimento em 57 meses assim como VPL negativo de R\$3206,33. O cálculo de VPL foi estimado de acordo com a vida útil desses equipamentos, que são estimados em 15 anos (ASHRAE, 2015). Apesar do resultado negativo do VPL, é importante ressaltar que não foi calculado no período de análise o aumento do custo de energia, caso considere-se esse fator a tendência da taxa de retorno é ser mais cedo e o VPL tornar-se positivo.

Outros pontos devem ser analisados para compor a viabilidade do investimento como o ganho em conforto térmico, custos de manutenções futuras etc. Esses fatores, porém, carecem de uma análise mais profunda e com uma maior quantidade de dados. Mas no que pode ser visto nessa análise inicial, o sistema VRF passa a ter um potencial mais vantajoso em relação ao split nessa situação.

REFERÊNCIAS

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2022**. Brasil, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14601: informação e documentação – referências – elaboração**. Rio de Janeiro, 2018.

ASBRAV. **Splits Dominam Mercado de Ar Condicionado**. Disponível em < <https://revistadofrio.com.br/splits-dominam-mercado-de-ar-condicionado/>> Acesso em 27 de nov. de 2023

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **The Ashrae Handbook 2017: Fundamentals: SI Editions**. Atlanta, 2017

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **The Ashrae Handbook 2015: Applications: SI Editions**. Atlanta, 2015

CARRIER DO BRASIL, **Catálogo Comercial VRF Midea VCPlus ver.02**. Brasil, 2021

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, **Boletim Econômico ABRAVA 3º Trimestre de 2021**. São Paulo 2021

MMA. **Ar Condicionado: Manual sobre Sistemas de Água Gelada Vol. 2**. Brasília, 2017

ELGIN. **Manual de instalação de Unidade Externa Universal**. Brasil, 2022

ELGIN. **Manual de instalação Condicionadores de Ar Split High Wall Eco Plus II**. Brasil, 2020

DAIKIN, **VRV Inova**. Disponível em < > Acesso em: 27 de nov. de 2023

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Eficiência Energética – Condicionadores de Ar Split Hi-Wall Com Rotação Fixa**. Brasil, 2014

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Eficiência Energética – Condicionadores de Ar Split Piso Teto Com Rotação Fixa**. Brasil, 2014

ANEEL. **Resolução Homologatória nº 3091**. Brasil, 2022

IRWING. **Como Funciona a Simultaneidade?**. Disponível em <https://manualdovrf.blogspot.com/2017/10/explicando-famosa-simultaneidade.html> Acessado em: 27 de nov. de 2023

LORENZO NEGRELLI FERRARI

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO
DE CONDICIONADORES DE AR DO TIPO SPLIT POR SISTEMA VRF**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Curso de Pós-Graduação Especialização em Eficiência Energética, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Eficiência Energética.

Aprovado em 15 de dezembro de 2023

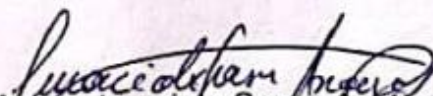
COMISSÃO EXAMINADORA

Filipe Arthur J. Monhol

Mestre Filipe Arthur Firmino Monhol
Instituto Federal do Espírito Santo - Ifes
Orientador



Mestre Igor Chaves Belisario
Instituto Federal do Espírito Santo - Ifes
Membro Interno



Mestre Juraci de Sousa Araújo Filho
Instituto Federal do Espírito Santo - Ifes
Membro Interno