

# **ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO GHP E EHP PARA CLASSIFICAÇÃO DE OBRAS LEED'S**

Misael Machado de Oliveira – misael\_mack2015@hotmail.com

Paulo Cesar Jacob Filho – paulinho\_jacob@hotmail.com

Jorge Alexandre Onoda Pessanha (Orientador) – jorgealexandre.pessanha@mackenzie.br

## **RESUMO**

Os sistemas de ar condicionado estão entre os que mais consomem energia elétrica. A substituição para gás natural poderá reduzir em grande escala esse consumo e trará como benefícios a utilização de uma energia limpa, que produz um baixo impacto ambiental e favorece a utilização de um único sistema para refrigerar e aquecer simultaneamente. A proposta do presente artigo consiste na análise da viabilidade técnica e econômica da utilização de sistemas de refrigeração que utilizam método endotérmico a gás natural, chamado de motor GHP (*Gas Heat Pump*), comparando com sistemas EHP, facilitando a classificação *LEED* para empreendimentos comerciais. Este artigo analisa dois prédios comerciais da Universidade Presbiteriana Mackenzie, prédio 35 e prédio 40, realizando o levantamento de utilização de dois tipos de sistemas VRF, sendo eles EHP e GHP. Os dados nessa análise são provenientes do estudo da planta de cada prédio, levantamentos de cargas e consumos, realizados por acadêmicos do curso de engenharia mecânica. Unificando os edifícios, 35 e 40 estudados em um só sistema, entre os resultados temos que se selecionarmos os equipamentos do tipo GHP para esse projeto teríamos um aumento de custo de implementação de 31,98% e de operação de 24,23%. Para que o mesmo seja viabilizado os sistemas deveriam possuir uma demanda horária acima de 14 horas diárias, que não é o caso da Universidade Presbiteriana Mackenzie que apresentou uma demanda com máxima de 14 horas diárias, ou seja, não ultrapassando da quantidade hora ideal, visto que a utilização dos sistemas estudados do tipo GHP são utilizados em projetos caracterizados como *heavy user*, com uma demanda horária acima de 14 horas diárias.

**Palavras-chave:** Sistemas GHP, Climatização, Viabilidade, Classificação LEED.

# **STUDY OF TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF THE IMPLEMENTATION OF THE GHP AND EHP AIR CONDITIONING SYSTEMS FOR CLASSIFICATION OF LEED'S WORKS**

## **ABSTRACT**

Air conditioning systems are among the most energy consuming. The substitution for natural gas can reduce this consumption on a large scale and will bring the benefits of using clean energy, which has a low environmental impact and favors the use of a single system to simultaneously cool and heat. The purpose of this article is to analyze the technical and economic feasibility of using refrigeration systems that use a natural gas endothermic method, called a GHP (Gas Heat Pump) engine, comparing with EHP systems, facilitating the LEED classification for commercial enterprises. This article analyzes two commercial buildings from Universidade Presbiteriana Mackenzie, building 35 and building 40, carrying out a survey of the use of two types of VRF systems, namely EHP and GHP. The data in this analysis come from the study of the plan of each building, surveys of loads and consumption, carried out by students of the mechanical engineering course. Unifying the buildings, 35 and 40 studied in a single system, among the results we have that if we select the GHP type equipment for this project we would have an increase in the cost of implementation of 31.98% and of operation of 24.23%. In order for it to be viable, the systems should have an hourly demand above 14 hours a day, which is not the case of the Mackenzie Presbyterian University, which presented a demand with a maximum of 14 hours a day, that is, not exceeding the ideal hour amount, since that the use of the studied systems of the GHP type are used in projects characterized as heavy user, with an hourly demand above 14 hours daily.

**Keywords:** GHP Systems, Air Conditioning, Feasibility, LEED Classification.

## **1 INTRODUÇÃO**

O cenário brasileiro atual enfrenta um aumento progressivo na utilização de sistemas de refrigeração, climatização e aquecimento. De acordo com Ricardo Dias CEO da Cubi Energia em seu artigo “Consumo de Ar Condicionado e seu Futuro Hoje” (DIAS, 2018) os sistemas de arrefecimento já somam 10% do consumo de energia elétrica global, e esse consumo só tende a crescer. A projeção é de que no ano de 2050 cerca de 67% dos lares do planeta tenham pelo menos um ar condicionado. No Brasil foram estimadas 27 milhões de unidades instaladas de ar condicionado operantes em 2018

e 165 milhões em 2050. Para isto, o sistema deve estar preparado para suprir a demanda energética de todos esses equipamentos.

Os sistemas de climatização são responsáveis por cerca 60% do consumo de um prédio sustentável, sendo o maior causador de consumo e gastos, sendo essencial a utilização de equipamentos de ar condicionado mais eficientes.

Afim de evitar à sobrecarga no sistema energético mundial e de preservar o sistema ambiental, à engenharia civil começou a incentivar a realização de novos empreendimentos tomando como medida principal a sustentabilidade, chamadas de “Construções Verdes” termo que na língua inglesa representa Green Building Council, essas obras buscam diminuir os impactos ambientais causados ao ser humano e ao ambiente utilizando a energia, água e todos os outros recursos de forma mais eficiente, os empreendimentos que seguem esses termos adquirem uma certificação nomeado de LEED (Leadership in Energy and Environmental Design).

Em empreendimentos de médio a grande porte essa necessidade pode gerar um custo econômico muito elevado, sendo assim alguns fabricantes de ar condicionado disponibilizam para seus clientes à escolha entre motores elétricos e motores a combustão, que utilizam como fonte energética o gás natural.

Os sistemas de ar condicionado estão entre os que mais consomem energia elétrica. A substituição para gás natural poderá reduzir, em grande escala, esse consumo e trará como benefícios a utilização de uma energia limpa, que produz um baixo impacto ambiental e favorece a utilização de um único sistema para refrigerar e aquecer simultaneamente.

Diversas abordagens já foram apresentadas para conscientizar as pessoas na necessidade de redução do consumo de energia utilizando sistemas de ar condicionados mais eficientes e certificações LEED's. Existem trabalhos que comparam os sistemas convencionais com sistemas mais tecnológicos que analisam a eficiência térmica e o consumo de energia elétrica, propondo a utilização de equipamentos com motores a combustão tendo como fonte de combustível o gás natural.

Esse artigo tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica e econômica da utilização de sistemas de refrigeração que utilizam método endotérmico a gás natural, chamado de motor GHP (Gas Heat Pump), e realizar uma comparação com sistemas EHP, facilitando a classificação LEED para empreendimentos comerciais.

## **2 METODOLOGIA**

Na primeira etapa foi realizada uma pesquisa conceitual voltada para investigação dos temas relevantes ao trabalho, de forma a permitir o entendimento de conceitos como, sistemas de refrigeração, cogeração e climatização, motores endotérmicos a gás natural e obras com classificação LEED

Na segunda etapa foi realizado um estudo de caso para analisar o consumo de energia e a viabilidade econômica para implementação de um sistema de ar condicionado do tipo VRF, com motor endotérmico e cogeração em um sistema secundário de aquecimento de água.

A disponibilidade de sistemas de ar condicionado de maior eficiência utilizando como insumo o gás natural, resulta em possíveis benefícios ao consumo de energia elétrica e menores impactos ambientais, possibilitando a cogeração com sistemas secundários e proporcionando ao consumidor o conforto térmico.

Sendo assim, na terceira etapa foi realizado o levantamento e comparação de todas as informações obtidas durante a realização do trabalho com o intuito de demonstrar a aplicação desses sistemas em um cenário sustentável.

O estudo sobre a viabilidade dos sistemas de refrigeração com utilização de um motor endotérmico a gás natural se iniciou por uma revisão de investigações que têm caráter bibliográfico e são denominadas “estado da arte” ou “estado do conhecimento” (FERREIRA, 1999), importante para fornecer, a esta dissertação, o embasamento sobre a metodologia utilizada e resultados para a comparação. Em seguida encontram-se os trabalhos que discutem a eficiência dos sistemas de refrigeração e as construções sustentáveis com certificações LEED's, e que ajudaram a ampliar as escolhas metodológicas e a determinar estritamente o objetivo de estudo.

### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1 SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO**

Refrigeração é um conceito muito amplo, e dentro desse conceito, a climatização se difere pois busca não somente o resfriamento, mas também o controle de umidade, pressão, temperatura e qualidade do ar, procurando melhor atender seus usuários, com um conforto térmico ideal, proporcionando assim uma melhor qualidade de vida, e proporcionando também melhoria de produtividade e convivência.

Sabemos a importância dos sistemas de condicionamento de ar, e da grande melhoria proporcionada na qualidade de vida de seus usuários, o tempo que as pessoas despendem no interior de ambientes refrigerados é muito significativo nos dias atuais, tomando como exemplo: grandes sedes comerciais, ambientes acadêmicos, supermercados, academias, shoppings, bares dentre muitos outros.

Estimasse um grande crescimento na demanda de eletricidade devido ao uso de condicionadores de ar no setor residencial, podendo crescer 5,4% ao ano e chegar a 48,5 TWh em 2035. Com a projeção de crescimento do cenário atual de 0,43 unidades/residência em 2018 para 0,96 em 2035 é cogitado a renovação do estoque atual de sistemas, partindo do ponto que os atuais se tornarão obsoletos.

Atualmente no mercado existem dois tipos de sistemas de condicionamento de ar, expansão direta e expansão indireta, com condensação a ar ou a água. Cada um tem sua particularidade seja na maneira de resfriar o fluido refrigerante, transferir a energia do mesmo a um fluido secundária ou diretamente ao ambiente

### 3.2 GÁS NATURAL

O gás natural é um combustível fóssil encontrado em reservatórios subterrâneos, tanto em terra quanto em mar podendo estar associado ou não ao petróleo. É uma mistura gasosa de hidrocarbonetos saturados constituído em sua maior parte por metano, seguido por nitrogênio, dióxido de carbono, etano, propano, butano e pentano em menores quantidades. (GASENERGIA, 2006).

No final de 1930, os avanços em tecnologia viabilizaram a construção de gasodutos para o transporte do gás natural para longos percursos. O mercado industrial do gás natural era relativamente pequeno até a II Guerra Mundial, quando então se tornou extremamente disponível. Entre 1927 e 1931, já existiam mais de 10 linhas de transmissão de grande porte nos Estados Unidos, mas sem alcance interestadual. A descoberta de vastas reservas também contribuiu para reduzir o preço do gás, que o tornou uma opção mais atraente. (GASENERGIA, 2006).

A Figura 1 abaixo demonstra a configuração da exploração do gás natural no mundo, onde as reservas mundiais de Gás Natural totalizam (1.129 bilhão boe<sup>2</sup>) equivalendo a 95% das de Petróleo (1.188 bilhão boe).

Figura 1 – Reservas Mundiais de Gás Natural



Fonte: Anuário Estatístico de Energia – 2005.

O gás natural pode ser utilizado como combustível para fornecimento de calor, geração de eletricidade e de força motriz, como matéria prima nas indústrias de siderurgia, química, petroquímica e de fertilizantes (GASENERGIA, 2006). No transporte pode substituir o óleo diesel, a gasolina e o álcool. No setor comercial e industrial pode ser utilizado para climatização de ambientes, produção de água quente e cocção.

Desta forma o posto tarifário de ponta é formado por três horas consecutivas com maior demanda normalmente no período das 19 horas às 22 horas. Já a leitura correspondente ao horário intermediário é composta uma hora antes e depois do horário de ponta, sendo fixa normalmente das 18 horas às 19 horas e das 22 horas às 23 horas. As demais horas do dia são chamadas de posto tarifário fora de ponta.

Os benefícios apontados para o investimento no gás natural destacam alguns itens:

- Seu combustível é pouco poluente quando de sua combustão;
- Possui preço competitivo em relação aos seus concorrentes tradicionais;
- Funciona como indutor de desenvolvimento por sua capacidade de atrair investimentos e pelas oportunidades de negócios advindos de sua disponibilidade

### **3.3 CLASSIFICAÇÃO DE OBRAS LEED'S PARA REFRIGERAÇÃO**

O US GBC desenvolveu em 1994 o LEED como um sistema de avaliação de desempenho ambiental da construção, fornecendo orientações para promover a sustentabilidade neste setor (GBC BRASIL, 2011). No Brasil, esta Certificação é recente e vem sendo adequada a realidade brasileira através do Green Building Council Brasil (GBC Brasil), criado em 2007, e que desde então, tem interpretado as ferramentas disponíveis e adaptando-as ao mercado nacional.

Para a obtenção da Certificação em uma edificação, deve seguir o processo descrito pelo GBC Brasil, a começar pelo registro do projeto no sistema internacional de certificação LEED através da plataforma LEED Online, onde deverão ser fornecidos os dados gerais do empreendimento (GBC BRASIL, 2011).

Os sistemas de climatização estão entre os principais em consumo de energia dos edifícios. Assim torna-se viável optar por sistemas que em tecnologia são mais sustentáveis do que os convencionais. Com isso torna-se possível caminhar entre os quatro critérios estabelecidos o de espaços sustentáveis, eficiência energética, qualidade interna e inovação

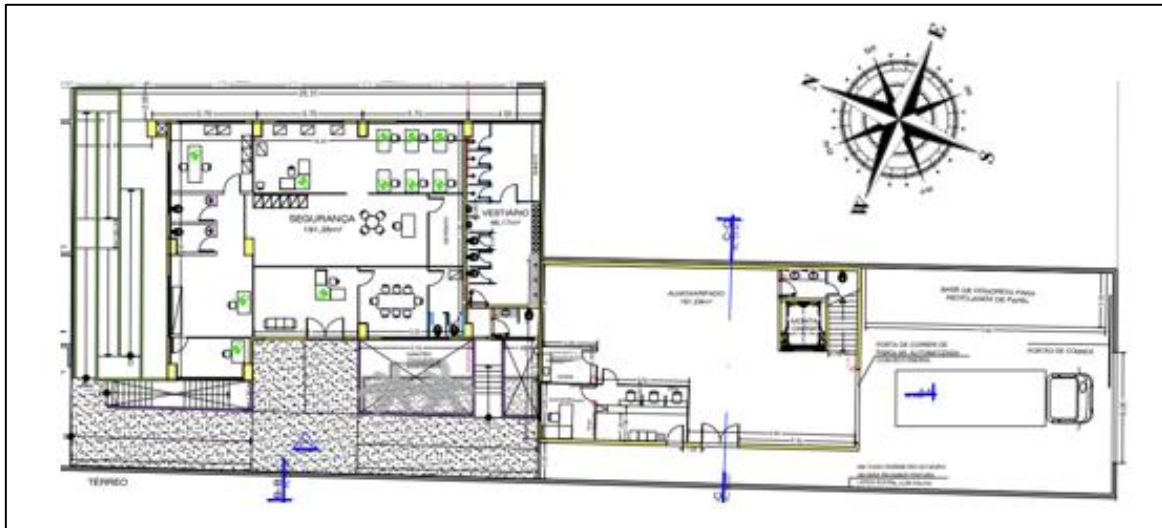
## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Para a realização deste trabalho, foi realizado o cálculo de carga térmica, anteprojeto dos sistemas analisados e análise de resultados de dois prédios localizados na Universidade Presbiteriana Mackenzie, classificados em: Prédio 35 e Prédio 40. Os dados de planta dos prédios a serem apresentados foram coletados diretamente com a coordenação da universidade. Para o cálculo de carga térmica, foi utilizado o método da ASHRAE CLTD/CLF – Cooling Load Temperature Difference/ Cooling Load Factor, conforme item 6.1.3.3 da ABNT NBR 16401:1 (ABNT, 2008), que determina a metodologia que deve ser aplicada no cálculo de carga térmica no Brasil. O anteprojeto

dos sistemas analisados foi realizado com base na experiência dos autores, especificando de acordo com os cálculos os equipamentos para cada ambiente e os dados normativos pertinentes ao projeto de sistemas de climatização. Por fim, foi realizada uma análise comparativa entre os sistemas com base nos parâmetros técnicos e custos de instalação e operação buscando estudar a viabilidade das opções.

Considerado a análise do Prédio 35 temos um edifício térreo de uso interno dos colaboradores da área de segurança da Universidade, sendo dividido conforme Figura 2.

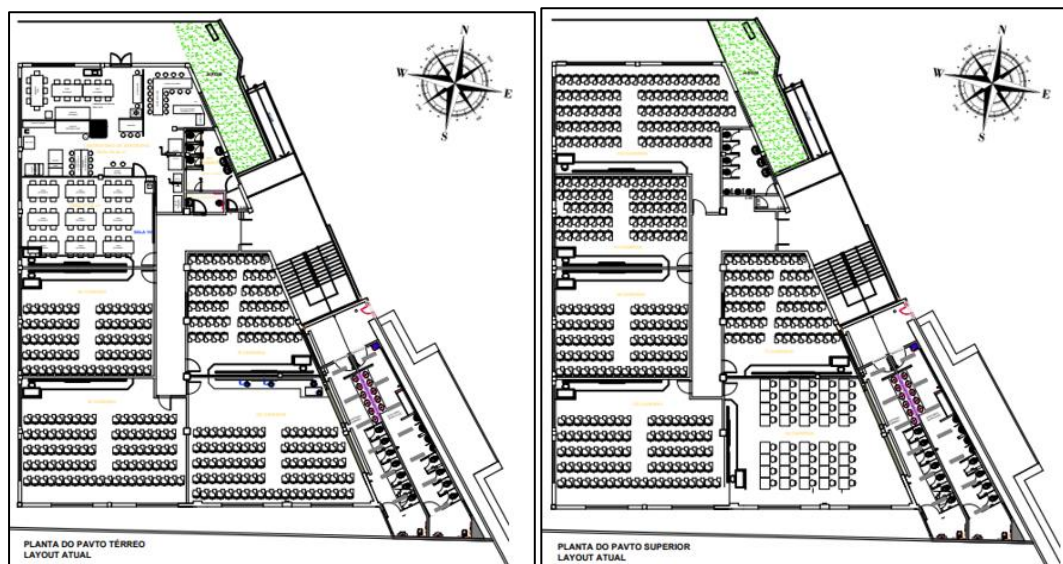
Figura 2 – Prédio 35 da UPM



Fonte: Adaptado de UPM.

Já para o Prédio 40 temos um edifício com dois pavimentos de uso rotativo dos estudantes da Universidade, sendo dividido em piso inferior e piso superior conforme Figura 3.

Figura 3 – Piso inferior e superior do Prédio 40 da UPM



Fonte: Adaptado de UPM.

Para darmos início ao projeto foi necessário, inicialmente, realizar o cálculo da carga térmica de cada ambiente. Com esse cálculo teremos os resultados suficientes para análise e seleção dos equipamentos a serem estudados, em modo de operação, nos prédios selecionados para esse estudo.

Foi realizada a separação dos ambientes existentes em cada prédio. Na Tabela 1 é apresentado cada área existente na planta dos prédios, a capacidade máxima de pessoas suportadas em cada ambiente e o levantamento da superfície de trocas térmicas considerando sua relação com a insolação e condução existentes nas paredes externas e vidros.

Tabela 1 – Parâmetro dos ambientes

PRÉDIOS	Ambientes	Área (m <sup>2</sup> )	PAREDE EXTERNAS (m <sup>2</sup> )				VIDROS (m <sup>2</sup> )				LAJES (m <sup>2</sup> )	Qtde. de Pessoas
			N	W	S	E	N	W	S	E		
PRÉDIO 35	Segurança 01	43,6				34,2				8,9	43,6	10
	Segurança 02	37,9			12						37,9	6
	Segurança 03 (Reunião)	23		8,7				3			23	6
	Hall Entrada	21,6		17,2							21,6	6
	Sala 01	16,9	11,2			11,6	2,7			4,4	16,9	3
	Sala 02	25,2	24				16				25,2	4
	Sala 03	10,4	7	12,1	7						10,4	2
	Almoxarifado	112,4		54,8	61	104,2					112,4	0
	Encarregado	10	3,8	9,2							10	2
Espera Encarregado	16,6		14,9							16,6	6	
PRÉDIO 40	Sala 101	65,00			12,8		11,1		5,7			54
	Sala 102	77,80			16,2		16,2		7,2			90
	Sala 103	108,80			27,6	30,6	3,9		7,2	7,2		84
	Sala 104	109,60				32,4	30,6			7,2		103
	Sala 105	71,20	6,6				29,4					73
	Laboratório de Gravura / Serigrafia	108,70	32,1	13,5		10,5	4,8	9,6		3,6		53
	Sala 201	65,00			11,7		11,8		5,7		65	71
	Sala 202	77,80			13,32		22,2		7,2		77,8	87
	Sala 203	108,80			20,5	29,5	10,3		7,2	7,2	108,8	124
	Sala 204	109,60				29	32,3			7,2	109,6	86
	Sala 205	71,20	18,4	27,1		27,5					71,2	76
	Sala 206	108,70	33,6	18	15,1	21,3	4,8	9,6		3,6	108,7	55

Fonte: Autoria própria

Além dos aspectos construtivos, a localização geográfica da construção e suas condições climáticas também são fatores importantes para a definição das hipóteses no cálculo da carga térmica. Conforme a Norma ABNT NBR 16401-1, criada no ano de 2008, os prédios em estudo possuem as condições de temperatura e umidade descritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Condições de Temperatura e Umidade relativa

Condições de Projeto ABNT NBR 16401-1 (2008) - São Paulo			
Ambientes	TBS °C	TBU °C	UR %
<b>Interno</b>	23		40,00%
<b>Externo</b>	30	22,1	74,00%
<b>Diferença de temperatura</b>	7		

Fonte: Autoria própria

A norma ABNT NBR 6401 (1980) estabelece os parâmetros ideais para o conforto térmico dos ocupantes. A Tabela 3 apresenta as condições internas de conforto térmico para os ambientes.



Tabela 3 – Condições internas para o verão

Finalidade	Local	Recomendável		Máxima	
		(A) TBS (°C)	(B) UR (%)	(A) TBS (°C)	(B) UR (%)
Conforto	Residências Hotéis Escritórios Escolas	23 a 25	40 a 60	26,5	65

Fonte: Adaptado de ABNT (1980)

Através disso, conforme a finalidade do projeto, é necessário a consideração e utilização de 23°C para a temperatura de bulbo seco e 40% de umidade relativa. Esses dados são fundamentais para a continuidade do método de cálculo da carga térmica.

A norma ABNT NBR 16401-1 (2008), estabelece os parâmetros de temperatura e umidade ideais dos ambientes, os dados climáticos relativos a um dia típico do mês mais quente e do mês mais frio do ano.

Tabela 4 – Condições externas o para verão

SP	São Paulo Congonhas	Latitude	Longit.	Altitude	Pr.atm	Período	Extrem. anuais	TBU	TBSmx	s	TBSmn	s		
		23,62S	46,65W	803m	92,04	82/01		28,2	34,3	0,9	5,8	2,5		
Mês>Qt	Freq. anual	Resfriamento e desumidificação				Baixa umidade			Mês>Fr	Freq. anual	Aquec.	Umidificação		
Fev	0,4%	TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc	Jul	TBS	TPO	w	TBSc	
$\Delta T_{md}$	1%	31,0	20,4	23,2	27,8	22,1	18,5	25,3		99,6%	8,8	3,9	5,5	18,4
8,3	2%	30,0	20,4	22,1	26,7	21,0	17,2	24,0		99%	10,0	5,8	6,3	17,4

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 16401-1 (2008)

De acordo com os dados apresentados, para a cidade de São Paulo, o mês mais quente do ano é fevereiro. Então para o ambiente externo dos prédios em estudo é adotado 30°C para TBS e 22,1°C para TBU, com uma variação média de temperatura de 8,3°C.

Em estudo das variáveis ideais para utilização e realização do cálculo de transmissão de calor por condução, A Tabela 5 mostra as variáveis ideais para o cálculo da transmissão de calor por condução.

Tabela 5 – Ganhos por condução

	U	DT
4.1 Parede externa (Total)		
4.2 Janelas com vidro	5,18	10
4.3 Parede excluindo janela	0,85	10
4.4 Paredes divisórias	0,85	6,1

Fonte: Adaptado de Hélio Creder (2004)

Obtendo as variáveis acima, na Tabela 6 é realizado o cálculo para definição da transmissão do calor por condução.

Tabela 6 – Transmissão de Calor devido a condução

Coeficientes de Transmissão por condução			
Descrição	U (Kcal/h * m <sup>2</sup> * °C)	DT	Kcal/h
Paredes	0,85	6,1	5226,74
Teto	1,351	6,1	7076,63
Janelas com vidro	5,18	10	7252,00
Calor sensível devido a condução			19555,37

Fonte: Adaptado de CREDER (2004)

Existem tabelas que padronizam alguns coeficientes globais para cálculos que não requerem uma alta precisão do processo de levantamento do calor transmitido. A Tabela 7 representa os coeficientes de transmissão de calor obtendo como referência a localização e horários de incidência do sol, que são fundamentais para o cálculo de transmissão de calor por vidros.

Tabela 7 – Coeficientes de transmissão do calor solar através de vidros (Fator Solar)

Tabela 3.5 Coeficientes de Transmissão do Calor Solar Através de Vidros (Fator Solar)																	
22° 54' Latitude Sul		kcal/h · m <sup>2</sup> (Fator Solar) de Áreas de Vidro												Valores Máximos em Cada Orientação entre Setembro e Março			
Verão		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	kcal/h · m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	
Hora Local																	
Dia do Ano	Face do Prédio																
22 DEZEMBRO	S	87	98	68	54	49	43	41	43	49	54	65	98	87	98	113,5	
	SE	260	421	388	290	190	73	41	38	38	38	38	27	11	420	488,8	
	E	263	440	475	426	277	122	38	38	38	38	38	27	11	474	551,8	
	NE	95	193	222	214	157	84	43	38	38	38	38	27	11	222	358,6	
	N	11	27	33	38	41	49	49	41	38	38	38	27	11	49	56,7	
	NO	11	27	33	38	38	38	43	84	157	214	217	193	95	217	352,2	
	O	11	27	33	38	38	38	38	122	277	426	434	440	263	440	510,8	
SO	11	27	33	38	38	38	41	73	190	290	364	421	260	420	488,8		
	CLARABÓIA	41	176	361	515	629	684	738	412	629	515	429	176	41	740	857,8	
21 JANEIRO 21 NOVEMBRO	S	60	65	49	41	41	38	38	38	41	41	43	65	60	65	75,6	
	SE	228	383	372	279	160	65	38	38	38	35	35	24	11	384	444,6	
	E	244	442	480	431	296	130	38	38	38	35	35	24	11	480	558,2	
	NE	100	214	260	250	193	109	49	38	38	35	35	24	11	245	302,7	
	N	11	24	33	38	46	54	57	54	46	38	35	24	11	57	66,2	
	NO	11	24	33	35	38	38	38	109	193	250	247	214	100	250	290,1	
	O	11	24	33	35	38	38	38	130	296	431	440	442	244	443	514,0	
SO	11	24	33	35	38	38	38	65	160	279	334	383	228	384	444,6		
	CLARABÓIA	30	171	347	515	624	692	733	692	624	515	407	171	30	734	851,4	
20 FEVEREIRO 23 OUTUBRO	S	16	24	30	35	38	38	38	38	35	35	24	16	38	44,1		
	SE	141	342	307	214	103	43	38	38	38	35	35	22	5	342	397,3	
	E	168	415	488	440	285	138	38	38	38	35	35	22	5	489	567,6	
	NE	92	269	342	334	304	187	79	41	38	35	35	22	5	343	397,3	
	N	5	22	33	35	38	41	106	114	106	84	52	38	22	5	114	132,4
	NO	5	22	30	35	38	41	79	187	304	334	331	269	92	334	387,9	
	O	5	22	30	35	38	38	38	152	285	440	448	415	168	448	520,3	
SO	5	22	30	35	38	38	38	43	103	214	269	342	168	342	397,3		
	CLARABÓIA	16	138	320	472	597	662	692	662	597	472	372	138	16	691	804,1	

Fonte: Adaptado de CREDER (2004)

Conforme os dados apresentados na Tabela 7, foi necessário que considerássemos janelas padrão com 1,20m de altura instaladas com persianas internas refletoras.

Para a estimativa de carga térmica, será importante saber o horário de utilização da dependência e fazer cálculo para a incidência máxima do Sol (CREDER, 2004). O horário de

funcionamento da Universidade Presbiteriana Mackenzie é das 6h00 da manhã até 00h00. Com isso é estabelecido 3 horários de maior incidência solar, ocorrendo nos horários: 9h00, 13h00 e às 16h00.

Utilizando os dados estabelecidos anteriormente, é extraído da Tabela 7 no mês de fevereiro os coeficientes de transmissão de calor conforme os horários mencionados, para realização do cálculo da transmissão de calor por vidros. Os resultados são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Calculo de transmissão de calor sensível por vidros

Coeficientes de Transmissão em Vidros (Kcal/h * m <sup>2</sup> )					
Mês	Fevereiro			Fator de Redução	
Face do Prédio	9h	13h	16h	Persianas internas e refletoras	Coef. Selecionados (Kcal/h * m <sup>2</sup> )
N	33	106	38	0,56	38
W	30	152	448	REF: TAB. 1	448
S	30	38	35		35
E	488	38	35		35
Calor sensível devido a insolação - VIDROS	9h	13h	16h	Considerar (Kcal/h * m <sup>2</sup> )	Horário de Maior Incidência
	7657,38	8040,48	17223,42	17223,42	16h

Fonte: Autoria própria.

O acréscimo ao diferencial de temperatura é dado na Tabela 9 a seguir:

Tabela 9 – Acréscimo ao diferencial de temperatura

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

Fonte: Adaptado de CREDER (2004)

Conforme apresentado na Tabela 9, foi admitido parede de cores claras, por conta de que tons mais claros refletem mais a luminosidade, proporcionando uma menor taxa de transferência de calor ao meio interno, o que beneficiará o projeto em questão de menor taxa de calor admitida pelos ambientes internos.

A Tabela 10 a seguir é expressado a taxa de calor encontrada utilizando os dados informados.

Tabela 10 – Calculo de transmissão de calor sensível por paredes, pisos e telhados

Calor sensível devido a insolação - PAREDES/TELHADOS		
Parâmetros	U = Coef. De Transf. Kcal/(h * m <sup>2</sup> ) (PAREDES)	U = Coef. De Transf. Kcal/(h * m <sup>2</sup> ) (TELHADOS)
		1,95
Superfície	Calor Total Kcal/h (PAREDES)	Calor Total Kcal/h (TELHADOS)
Norte	2585,68	
Oeste	6766,99	
Sul	2956,59	
Leste	9192,54	
Telhados		33807,02
Calor Total	55308,82	

Fonte: Autoria própria.

A norma ABNT NBR 6401, elaborada em 1980, estabelece os valores de calor sensível e latente ideais para as pessoas em função da temperatura e da atividade.

Tabela 11 – Taxas típicas de calor liberado por pessoas em Kcal/h

Local	Metabolismo homem adulto	Metabolismo médio <sup>(A)</sup>	TBS									
			28		27		26		24		21	
			S	L	S	L	S	L	S	L	S	L
Teatro, escola primária	98	88	44	44	49	39	53	35	58	30	65	23
Escola secundária	113	100	45	55	48	52	54	46	60	40	68	32
Escr., hotéis, apartamentos, Univ.	120	113	45	68	50	63	54	59	61	52	71	42
Supermercados varejistas, lojas												

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6401 (1980).

Conforme a Tabela 11, é retirado as informações do calor transmitido por cada pessoa em relação ao local universitário considerando um TBS de 24°C.

A Tabela 12 abaixo mostra os dados obtidos após o cálculo do calor devido as pessoas.

Tabela 12 – Taxa de calor devido as pessoas

Taxa de Transferência de calor devido as Pessoas	
TBS = 24°C	Kcal/h
Calor Senível	58
Calor Latente	30
Descrição	Calor Total Kcal/h
Calor Senível	58058,00
Calor Latente	30030,00
<b>Total</b>	<b>88088,00</b>

Fonte: Autoria própria.

Para facilitar e utilização de forma consciente de luminárias, a ABNT NBR 16401-1 descreve em tabelas os níveis de luminosidade ideal para cada aplicação.

Tabela 13 – Taxas típicas de calor liberado pela iluminação

Local	Tipos de iluminação	Nível de iluminação Lux	Potência dissipada W/m <sup>2</sup>
Escritórios e bancos	Fluorescente	500	16
Lojas	Fluorescente	750	17
	Fluorescente compacta		23
	Vapor metálico		28
Residências	Fluorescente compacta	150	9
	Incandescente		30
Supermercados	Fluorescente	1 000	21
	Vapor metálico		30
Armazéns climatizados	Fluorescentes	100	2
	Vapor Metálico		3
Cinemas e teatros	Fluorescente compacta	50	6
	Vapor metálico		4
Museus	Fluorescente	200	5
	Fluorescente compacta		11
Bibliotecas	Fluorescente	500	16
	Fluorescente compacta		28

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 16401-1 (2008).

É então selecionado áreas como de bibliotecas que mais se aproximam ao ambiente universitário, com lâmpadas do tipo fluorescente convencionais.

Outros componentes como computadores e projetores também entram no cálculo da taxa de calor liberada. Valores de potência dissipada também estão normatizados pela norma ABNT NBR 16401-1.

A Tabela 14 a seguir representa a taxa de calor dissipada nos ambientes através desses equipamentos.

Tabela 14 – Taxas típicas de calor liberado pelos equipamentos

Taxa de Transferência de calor devido as Luminárias	
Potência dissipada (W/m <sup>2</sup> )	16
Calor Total (kcal/h)	19256,77

Taxa de Transferência de calor devido aos Computadores	
Potência dissipada (W) Monitor + CPU	135
Potência dissipada (kcal/h) Monitor + CPU	116,073
Calor Total	5803,65

Fonte: A autoria própria.

Segundo a norma ABNT NBR 6401, a infiltração pode ser calculada de forma a considerar a metragem linear total de frestas. É adotado como parâmetro de projeto portas bem ajustadas.

Tabela 15 – Infiltração de Ar

A) Pelas frestas		
Tipo de abertura	Observação	m <sup>3</sup> /h por metro de fresta <sup>(N)</sup>
Janelas		
- comum		3,0
- basculante		3,0
- guilhotina com caixilho de madeira	Mal ajustada	6,5
	Bem ajustada	2,0
- guilhotina com caixilho metálico	Sem vedação	4,5
	Com vedação	1,8
Portas	Mal ajustada	13,0
	Bem ajustada	6,5

B) Pelas portas

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6401 (1980).

É então demonstrado na Tabela 16 os resultados obtidos.

Tabela 16 – Taxas típicas de calor liberado pela infiltração

Taxa de Transferência de calor devido a infiltração (PORTAS)	
Metragem de Fresta	5,84
M <sup>3</sup> /h por metro de fresta	13,00
Calor Total (kcal/h)	5394,12

Fonte: A autoria própria.

Os parâmetros  $F_p$  e  $F_s$  são retirados da Tabela 17. Para o projeto é selecionado o nível 1, reduzindo a dimensão dos equipamentos necessários para promover a troca de ar e controle de temperatura interno.

Tabela 17 – Taxas típicas de calor liberado pela infiltração

Local	D pessoas/ 100 m <sup>2</sup>	Nível 1		Nível 2		Nível 3		Exaustão mecânica L/s* m <sup>2 a</sup>
		$F_p$ L/s*pess.	$F_a$ L/s*m <sup>2</sup>	$F_p$ L/s*pess.	$F_a$ L/s*m <sup>2</sup>	$F_p$ L/s*pess.	$F_a$ L/s*m <sup>2</sup>	
Sala de aula	35	5	0,6	6,3	0,8	7,5	0,9	--
Laboratório de informática	25	5	0,6	6,3	0,8	7,5	0,9	--
Laboratório de ciências	25	5	0,9	6,3	1,1	7,5	1,4	5,0

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 16401-3 (2008).

A Tabela 18 seguir representa os resultados obtidos levando em consideração os parâmetros adotados.

Tabela 18 – Taxas típicas de calor liberado pela ventilação

Taxa de Transferência de calor devido a Ventilação	
Local	Salas de Aula
$F_p$	5
$F_s$	0,60
Vazão eficaz	21041,57
Resultados	
Calor sensível (kcal/h)	42714,38
Calor latente (kcal/h)	210505,74
<b>Total</b>	<b>253220,12</b>
Umidade Específica (kg/ka ar seco)	
Ambiente Externo	0,022
Ambiente Interno	0,0077

Fonte: Autoria própria

## 4.1 RESULTADO

Após cálculo das taxas de calor, acrescentadas ao ambiente interno, é obtido a carga total necessária para suprir a necessidade de cada ambiente. A Tabela 19 abaixo representa os resultados obtidos para o selecionamento dos equipamentos.

Tabela 19 – Carga Térmica total

		Vazão de Ar Externo (m³/h)	ESTUDO DE BTU/(h * m²)	CARGA TÉRMICA TOTAL			
				Kcal/h	TR	BTU/h	HP
PRÉDIO 35	Térreo Segurança 01	274,18	822	9.938	3,3	39.438	4,1
	Térreo Segurança 02	189,86	565	5.933	2,0	23.545	2,5
	Térreo Segurança 03 (Reunião)	157,68	956	6.097	2,0	24.194	2,5
	Térreo Hall Entrada	154,66	774	4.636	1,5	18.395	1,9
	Térreo Sala 01	90,50	838	3.925	1,3	15.575	1,6
	Térreo Sala 02	126,43	803	5.606	1,9	22.246	2,3
	Térreo Sala 03	58,46	851	2.453	0,8	09.732	1,0
	Térreo Almoarifado	242,78	575	17.914	5,9	71.089	7,4
	Térreo Encarregado	57,60	840	2.328	0,8	09.239	1,0
	Térreo Espera Encarregado	143,86	953	4.387	1,5	17.410	1,8
PRÉDIO 40	Térreo Sala 101	1112,40	1341	24.164	8,0	95.889	10,0
	Térreo Sala 102	1788,05	1736	37.435	12,4	148.550	15,5
	Térreo Sala 103	1747,01	1258	37.950	12,5	150.595	15,7
	Térreo Sala 104	2090,74	1381	41.962	13,9	166.516	17,3
	Térreo Sala 105	1467,79	1476	29.130	9,6	115.595	12,0
	Térreo Laboratório de Gravura / Serigrafia	1188,79	992	29.880	9,9	118.570	12,4
	1º Ppto. Sala 201	1418,40	1825	32.886	10,9	130.498	13,6
	1º Ppto. Sala 202	1734,05	1872	40.367	13,3	160.187	16,7
	1º Ppto. Sala 203	2467,01	1882	56.757	18,8	225.267	23,5
	1º Ppto. Sala 204	1784,74	1374	41.752	13,8	165.684	17,3
	1º Ppto. Sala 205	1521,79	1761	34.758	11,5	137.928	14,4
	1º Ppto. Sala 206	1224,79	1175	35.408	11,7	140.509	14,6

Fonte: Autoria própria.

Com isso foi selecionado o tipo, quantidade e modelo dos equipamentos para cada ambiente, como também o levantamento do consumo elétrico total dos equipamentos. A Tabela 20 mostra as informações pontuadas acima.

Tabela 20 – Evaporadoras e seus consumos elétricos

	Qtde. de Equip.	Modelo	VRF GHP PANOSIC			VRF CONVENCIONAL LG	
			(BTU/h)/Equip.	Mod. Referência	Potência Consumida (KW) - TOTAL	Mod. Referência	Potência Consumida (KW) - TOTAL
Segurança 01	2	Hiwall	19.000	S-56MK2E5A	0,070	ARNU18GSKN4	0,064
Segurança 02	1	Hiwall	25.000	S-73MK2E5A	0,055	ARNU24GSKC4	0,039
Segurança 03 (Reunião)	1	Hiwall	25.000	S-73MK2E5A	0,055	ARNU24GSKC4	0,039
Hall Entrada	1	Hiwall	19.000	S-56MK2E5A	0,035	ARNU18GSKN4	0,032
Sala 01	1	Hiwall	15.000	S-45MK2E5A	0,030	ARNU15GSJC4	0,023
Sala 02	1	Hiwall	25.000	S-73MK2E5A	0,055	ARNU24GSKC4	0,039
Sala 03	1	Hiwall	9.600	S-28MK2E5A	0,025	ARNU09GSJN4	0,013
Almoarifado	3	Hiwall	25.000	S-73MK2E5A	0,165	ARNU24GSKC4	0,117
Encarregado	1	Hiwall	9.600	S-28MK2E5A	0,025	ARNU09GSJN4	0,013
Espera Encarregado	1	Hiwall	19.000	S-56MK2E5A	0,035	ARNU18GSKN4	0,032
Sala 101	2	Cassete 04 Vias	47.800	S-140MU2E5A	0,200	ARNU48GTMC4	0,240
Sala 102	4	Cassete 04 Vias	36.000	S-106MU2E5A	0,360	ARNU36GTNC4	0,280
Sala 103	4	Cassete 04 Vias	36.000	S-106MU2E5A	0,360	ARNU36GTNC4	0,280
Sala 104	4	Cassete 04 Vias	47.800	S-140MU2E5A	0,400	ARNU48GTMC4	0,480
Sala 105	4	Cassete 04 Vias	30.000	S-90MU2E5A	0,160	ARNU30GTTC4	0,160
Laboratório de Gravura / Serigrafia	4	Cassete 04 Vias	30.000	S-90MU2E5A	0,160	ARNU30GTTC4	0,160
Sala 201	4	Cassete 04 Vias	36.000	S-106MU2E5A	0,360	ARNU36GTNC4	0,280
Sala 202	4	Cassete 04 Vias	36.000	S-106MU2E5A	0,360	ARNU36GTNC4	0,280
Sala 203	4	Cassete 04 Vias	54.600	S-160MU2E5A	0,440	ARNU54GTMC4	0,540
Sala 204	4	Cassete 04 Vias	47.800	S-140MU2E5A	0,400	ARNU48GTMC4	0,480
Sala 205	4	Cassete 04 Vias	36.000	S-106MU2E5A	0,360	ARNU36GTNC4	0,280
Sala 206	4	Cassete 04 Vias	36.000	S-106MU2E5A	0,360	ARNU36GTNC4	0,280
					4,270		4,031

Fonte: Autoria própria.

Tabela 21 – Condensadoras e seus consumos energéticos

Elétrica	Sistemas	Qtde. de Equip.	HP/Equip.	HP/Equip.	(BTU/h)/Equip.	Potência Consumida (KW)	Potência Consumida (KW) - TOTAL
	VRF CONVENCIONAL LG	6	24,4	26,0	RUM240LTS5	18,03	108,18
VRF GHP PANOSIC	6	24,4	25,0	U-25GE3V4	1,8	10,8	

Gás Natural	Sistemas	Qtde. de Equip.	Consumo de Gás em modo de resfriamento (KW)	Consumo de Gás em modo de resfriamento (m³)	Mod. Referência	Consumo de Gás em modo de resfriamento (KW) - Total	Consumo de Gás em modo de resfriamento (M³)
	VRF GHP PANOSIC	6	67,2	6,4	U-25GE3V4	403,2	38,22

Fonte: Autoria própria

## 5. COMPARAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DOS SISTEMAS VRD DO TIPO EHP E GHP

Após o selecionamento de todos os equipamentos é feito então um estudo comparativo para instalação e operação dos sistemas apresentados neste trabalho. Para isso algumas premissas são consideradas a partir do conhecimento de técnicos e engenheiros que atuam no setor de climatização.

A Tabela 22 contempla as premissas utilizadas para os cálculos de viabilidade.

Tabela 22 – Condensadoras e seus consumos energéticos

Descrição	Qtde.	Unidade
Consumo elétrico do Chuveiro	0,15	KWh
Tempo de operação diário	14	horas
Dias uteis de operação	252	dias
Tempo total de operação anual	3528	hoas
Consumo elétrico do Chuveiro anual	453,6	KWh
Custo de Manutenção VRF Convencional	600	R\$/TR
Custo de Manutenção VRF Gás Natural	700	R\$/TR
Custo de Equipamentos Elétricos	R\$7.500,00	R\$/TR
Custo de Equipamentos a Gás	R\$13.000,00	R\$/TR
Custo de materiais e instalação de um sistema EHP e GHP	60,00%	%/Custo dos equip. EHP
Custo de Interligação Elétrica - Em relação a Infraestrutura (Sistema Convencional)	10,00%	%
Custo de Interligação Elétrica - Em relação a Infraestrutura (Sistema GHP)	0,75%	%/Custo dos equip. GHP
Custo de interligação de Gás para Condensadora	R\$2.500,00	R\$/Equip. GHP

Fonte: Autoria própria

Também foi realizado uma estimativa do uso de um vestiários considerando um uso rotativo médio de pessoas por turno para o local, no intuito de utilizar o calor despejado pelo sistema do tipo GHP para o aquecimento da água dos chuveiros.

A Tabela 23 representa a estimativa de uso dos vestiários em relação aos chuveiros.

Tabela 23 – Uso estimado de tempo dos chuveiros

Pessoa	Manhã	Tarde	Noite
1	00:20:00	00:20:00	00:20:00
2	00:25:00	00:25:00	00:20:00
3	00:20:00	00:20:00	00:20:00
4	00:25:00	00:25:00	00:20:00
5	00:20:00	00:20:00	00:20:00
6	00:25:00	00:25:00	00:20:00
7	00:20:00	00:20:00	00:20:00
7	00:25:00	00:25:00	00:25:00
8	00:20:00	00:20:00	00:20:00
9	00:25:00	00:25:00	00:25:00
10	00:20:00	00:20:00	00:20:00
TOTAL		12:00:00	

Fonte: Autoria própria



Com os dados apresentados nas Tabelas 22 e 23 é calculado a viabilidade econômica de implementação dos dois sistemas apresentados. Os resultados são representados na Tabela 24.

Tabela 24 – Comparativo da viabilidade econômica de implementação e operação dos sistemas EHP e GHP

<b>Dados do Projeto</b>		
<i>Descrição</i>	<i>VRF Convencional</i>	<i>VRF GHP</i>
Capacidade total (TR)	120	120
Potência de aquecimento de água - T = 65°C (KW)	-	218,4
Potência Anual de aquecimento de água - T = 65°C (KW)	-	770.515

<b>Ánalyse de Projeto</b>		
Custo dos equipamentos (R\$)	R\$900.000,00	R\$1.560.000,00
Custo de instalação de Infraestrutura e instalação	R\$540.000,00	R\$540.000,00
Custo de interligação Elétrica para condensadora	R\$54.000,00	R\$11.700,00
Custo de interligação à Gás para Condensadora	-	R\$15.000,00
<b>Resumo</b>		
Custo Total de Investimento	R\$1.494.000,00	R\$2.126.700,00

<b>Ánalyse de Operação</b>		
<b>Consumo de Energia Elétrica</b>		
Consumo anual das evaporadoras (KWh) - EE	14.221	15.065
Consumo anual das condensadoras (KW) - EE	381.659	38.102
Custo específico de EE (R\$/Kw)	R\$0,5342	R\$0,5342
Custo Anual de Energia Elétrica (R\$)	R\$211.475,36	R\$28.401,26
Custo Anual de Energia Elétrica dos Chuveiros (R\$)	R\$0,0000	Promove aquecimento de água sem custo adicional a uma temperatura de 65° C, com potência de 36,40 KW em modo de resfriamento
<b>Consumo de Gás Natural</b>		
Potência total das condensadoras (KWh) - Gás Natural	-	403,2
Consumo anual das condensadoras (m³) - Gás Natural	-	134.840
Custo específico de Gás Natural (R\$/m³) - Climatização (com imposto ICMS)	-	R\$1,9706
Custo Anual de Gás Natural	-	R\$265.710,63
Custo de Manutenção Anual	R\$72.000,00	R\$84.000,00
<b>Resumo</b>		
Custo Total	R\$283.475,36	R\$378.111,88

Aumento do Custo de Investimento	33,38%
Aumento de Custo de Operação	25,03%

Fonte: Autoria própria

Observando os resultados obtidos, conclui-se que se selecionarmos os equipamentos do tipo GHP para o projeto em referência teríamos um aumento de custo de implementação de 31,98% e de operação de 24,23%.

A utilização desses sistemas do tipo GHP são utilizados em projetos os quais são caracterizados como *heavy user*, ou seja, sistemas com uma demanda horária acima de 14 horas diárias, que não é o caso da Universidade Presbiteriana Mackenzie que apresentou uma demanda com máxima de 14 horas diárias.

Para que o mesmo seja viabilizado de maneira a proporcionar a melhor viabilidade econômica deverá ser realizado um estudo mais específico sobre o local de maneira a conciliar outros sistemas e operações que demandam energia térmica.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O recente desenvolvimento pode evidenciar o problema de utilização de energia elétrica como fonte principal para fornecimento de energia aos equipamentos de climatização. A utilização da energia de gás natural não é viável a qualquer edifício. A troca de EHP por GHP não seria totalmente viável para todas as obras em si. Fato que este tem impacto no custo final de implementação e operação.

Por meio de atividades supervisionadas realizadas por acadêmicos do curso de engenharia mecânica na Universidade Presbiteriana Mackenzie, foram obtidos dados para uma análise sobre o impacto deste modelo de sistema de climatização GHP. Os dados levantados apresentaram que, unificando os edifícios 35 e 40 estudados, temos entre os resultados que se selecionarmos os equipamentos do tipo GHP para esse projeto teríamos um aumento de custo de implementação de 31,98% e de operação de 24,23%. Para que o mesmo seja viabilizado os sistemas deveriam possuir uma demanda horária acima de 14 horas diárias, que não é o caso da Universidade Presbiteriana Mackenzie que apresentou uma demandando com máxima de 14 horas diárias, ou seja, não ultrapassando da quantidade hora ideal, visto que a utilização dos sistemas estudados do tipo GHP são utilizados em projetos caracterizados como *heavy user*, com uma demanda horária acima de 14 horas diárias

Contudo, com a etapa presente da pesquisa, concluímos que é importante que antes de optar pelos sistemas VRH do tipo EHP ou GHP é necessário realizar um estudo mais específico sobre o local da implantação de maneira a conciliar outros sistemas e operações que demandam energia térmica.

## REFERÊNCIAS

DIAS, Ricardo. **Consumo do Ar Condicionado e seu futuro**. 2018. Disponível em: <https://www.cubienergia.com/consumo-ar-condicionado-seu-futuro/>. Acesso em: 24 de Agosto de 2020.

FERREIRA, Thiago. **Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética**. 2018. Disponível em: [https://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-tos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-341/NT%20EPE%20030\\_2018\\_18Dez2018.pdf](https://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-tos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-341/NT%20EPE%20030_2018_18Dez2018.pdf) Acesso em: 05 de junho de 2020.

GASENERGIA. Disponível em < //http: www.gasenergia.com.br>. Acesso em 23/11/2020.

Green Building Council. **Leadership in Energy and Environmental Design**. 2018. Disponível em: <https://www.gbcbrazil.org.br/wp-content/uploads/2017/09/Compreenda-o-LEED-1.pdf>. Acesso em: 24 de agosto de 2020.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR – 16401-1. Instalações de ar condicionado - Sistemas Centrais Unitários: Parte 1 - Projetos das instalações**. 1a. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2008. 7 p.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR – 16401-2. Instalações de ar condicionado - Sistemas Centrais Unitários: Parte 2 - Parâmetros de Conforto Térmico**. 1a. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR – 16401-3. Instalações de ar condicionado - Sistemas Centrais Unitários: Parte 3 – Qualidade do Ar Interior**. 1a. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR – 6401. Instalações centrais de ar condicionado para conforto – Parâmetros básicos de projeto**. 1a. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, fonte de toda sabedoria, pela força e pela coragem que nos concedeu, permanecendo ao nosso lado em todo o percurso desta caminhada.

Ao Prof. Dr. Jorge Alexandre Onoda Pessanha, nossa eterna gratidão, por sermos orientados, com diretrizes seguras, muita paciência, constante acompanhamento e incentivo, nos aceitando com todas as nossas teorias e ideias.

A nossa família, pela paciência e compreensão.

Aos nossos colegas de sala, pelas palavras de incentivo, apoio e companhia nesses anos de estudos.