

TECNOLOGIAS DE RESFRIAMENTO DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL

Data de aceite: 01/03/2024

Alexandre Fernandes Santos

Fapro Faculdade Profissional
<https://orcid.org/0000-0001-5306-6968>

Heraldo José Lopes de Souza

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná
<https://orcid.org/0000-0002-8471-7804>

Márcia Cristina de Oliveira

Fapro Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná
Mestre Sariah Torno
Fapro - Faculdade Profissional

Daiane Busanello

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná

Darlo Torno

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná

Sandro Adriano Zandoná

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná

Natalia Tinti

Fapro Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná

Eliandro Barbosa de Aguiar

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -
Paraná

RESUMO: É extremamente importante a climatização e refrigeração, mas o GWP (*Global Warming Potencial*) é essencial na tomada de decisão do tipo de equipamento que possui menor impacto ambiental, esse trabalho se refere a comparar sistemas de climatização na tomada de decisão do sistema a ser adotado.

PALAVRAS-CHAVE: Climatização, Refrigeração, GWP, TEWI.

ABSTRACT: Air conditioning and refrigeration are extremely important, but GWP (Global Warming Potential) is essential in making decisions about the type of equipment that has the lowest environmental impact. This work refers to comparing air conditioning systems when making decisions about the system to be adopted.

KEYWORDS: Climatization, Refrigeration, GWP, TEWI.

INTRODUÇÃO

Após a adesão brasileira ao Protocolo de Montreal no ano de 1990, no ano de 2009, o Seminário Nacional “Governo e Sociedade a caminho da eliminação dos HCFCs” marcou o início da elaboração do Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH), documento que define as diretrizes e ações a serem executadas no Brasil relacionadas ao cumprimento das metas de eliminação do consumo de HCFCs (hidroclorofluorcarbonos). No contexto de climatização e refrigeração, o programa define que até o ano de 2040 o consumo de HCFCs seja completamente eliminado. Já com a Emenda de Kigali, foram definidos prazos para a eliminação dos HFCs, tornando-se necessário um aprofundamento sobre as tecnologias com menor impacto ambiental. A tendência de mercado é a migração para fluidos refrigerantes naturais, como amônia (R-717), dióxido de carbono (R-744) e hidrocarbonetos, que apesar de apresentarem melhores taxas GWP¹ (sigla do inglês, *Global Warming Potential*), podem ser tóxicos, inflamáveis ou trabalhar somente com altas pressões, exigindo fiscalizações mais criteriosas e adoção de medidas e normas de segurança adequadas (Gov.ibama, 2024).

Este relatório tem como objetivo a criação de um estudo de mercado para determinar o potencial de negócios visando à implantação de tecnologias de resfriamento de baixo impacto ambiental no Brasil. Neste estudo serão abordados temas como:

- A descrição da indústria, tecnologias, oferta, demanda e oportunidades de negócios no Brasil;
- Estudo sobre tecnologias de resfriamento com baixo impacto ambiental e baixo potencial de aquecimento global;
- Estudo de mercado para determinar o potencial de negócios da implementação de tecnologias de resfriamento de baixo impacto ambiental no Brasil;
- Mapa de rotas tecnológicas e comerciais da indústria de refrigeração.

Preocupações ambientais tornaram-se a força motriz nos esforços para otimizar os projetos ecológicos por meio de aumento da eficiência energética, pesquisa de novos refrigerantes e uso eficiente dos sistemas antigos. O sistema climático sempre teve influência humana. Assim, é muito importante criar métodos transparentes e fáceis de serem utilizados ao projetar um sistema de energia com baixo impacto ambiental. As métricas ambientais que são utilizadas no processo de seleção de refrigerantes são GWP e TEWI, que serão explicadas a seguir. Cada métrica tem um objetivo semelhante de quantificar o impacto dos refrigerantes no aquecimento global, mas seu uso pode levar a conclusões diferentes (Santos, et al., 2022).

¹ Potencial de Aquecimento Global: medida de como uma determinada quantidade de gás do efeito estufa (GEE) contribui para o aquecimento global.

GLOBAL WARMING POTENTIAL – GWP

O GWP é a métrica ambiental mais utilizada. Trata-se do índice que compara o impacto no aquecimento global da emissão de um gás de efeito estufa em relação a uma emissão proporcional de CO₂. O impacto é estimado durante um determinado tempo. O horizonte temporal de 100 anos é o mais adotado e, normalmente, assumido quando nenhuma informação no horizonte temporal é dada. O GWP é uma métrica fácil de usar, pois quanto menor o GWP, menor a contribuição de uma substância para o aquecimento global.

TOTAL EQUIVALENT WARMING IMPACT – TEWI

O TEWI é uma métrica do impacto do aquecimento global de equipamentos com base no total de emissões, relacionadas a gases de efeito estufa durante a operação do equipamento e a eliminação dos fluidos operacionais no fim da vida útil. TEWI leva em conta tanto as emissões furtivas diretas quanto as emissões indiretas, produzidas através da energia consumida na operação dos equipamentos. TEWI é medido em kg de dióxido de carbono equivalente (kg CO₂e) (Santos, et al., 2023).

TEWI é calculado com a soma de duas partes, são elas:

1. Emissão Direta - Refrigerante liberado durante a vida útil do equipamento, incluindo perdas não recuperadas sobre a disposição final;
2. Emissão Indireta - O impacto das emissões de CO₂ dos combustíveis fósseis utilizados para gerar a energia elétrica que é utilizada na operação do equipamento ao longo de sua vida.

METODOLOGIA

Uma das ações para criar uma simulação de sistema é entender como foi o progresso dos fluidos refrigerantes, a evolução deles, que se baseiam em quatro marcos importantes (Webarcondicionado, 2024):

- **1ª Geração (1834~1930)** – Solventes, líquidos voláteis ou quaisquer substâncias que funcionassem como fluidos refrigerantes, como éteres, amônia (R-717), cloreto de metila (R-40), dióxido de enxofre (R-764), dentre outros;
- **2ª Geração (1931~1990)** – Focada em segurança e durabilidade, os fluidos mais utilizados foram CFCs (clorofluorcarbonos), HCFCs (hidroclorofluorcarbonos), HFCs (hidrofluorcarbonos), amônia e água (R-718);
- **3ª Geração (1991~2010)** – A era que se propôs a reduzir os impactos da camada de ozônio. Após o Protocolo de Montreal os HCFCs foram usados para transição, assim como houve o aumento do uso de HFCs, amônia, água, hidrocarbonetos e dióxido de carbono (R-744);
- **4ª Geração (2010 em diante)** – Inclusão de fluidos zero PDO (Potencial de Destruição do Ozônio), alta eficiência e baixo impacto ambiental como HFOs (hidrofluorolefinas) e aumento no uso de fluidos com baixo GWP como amônia, dióxido de carbono, hidrocarbonetos e água.

PROTOCOLO DE MONTREAL

O Protocolo de Montreal é um tratado internacional com o objetivo de proteção à camada de ozônio por meio da eliminação da produção e consumo das SDOs (Substâncias Destruídas da Camada de Ozônio). O Protocolo possui um positivo aspecto de ser atualizado por meio de emendas, podendo assim se adaptar aos avanços científicos, tecnológicos e sociais do setor. Seguindo as diretrizes do Protocolo de Montreal, foi criado um cronograma para a redução e, posteriormente, eliminação no consumo dos HCFCs, conforme a tabela a seguir (Gov.mma, 2024).

ANO	ETAPA
2013	Congelamento do consumo e produção dos HCFCs baseado no consumo médio entre 2009~2010
2015	Redução de 10% do consumo
2020	Redução de 35% do consumo
2025	Redução de 67,5% do consumo
2030	Redução de 97,5% do consumo*
2040	Redução de 100% do consumo

Nota: O consumo residual (2,5%) poderá ser usado apenas para o setor de serviço

Tabela 1 - Cronograma estabelecido pelo Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH), pelo Protocolo de Montreal (Gov.mma, 2024).

Em janeiro de 2019, entrou em vigor a **Emenda de Kigali**, que objetiva a eliminação dos HFCs (hidrofluorcarbonos), que foram desenvolvidos como alternativa aos gases proibidos pelo Protocolo de Montreal. Embora os HFCs não destruam a camada de ozônio, eles possuem um potencial de aquecimento global muito elevado. O cronograma apresentado na emenda de Kigali está representado a seguir (Kigali, 2024):

ANO	ETAPA
2024	Congelamento do consumo e produção dos HFCs baseado no consumo médio entre 2020~2022
2029	Redução de 10% do consumo
2035	Redução de 30% do consumo
2040	Redução de 50% do consumo
2045	Redução de 80% do consumo

Tabela 2 - Cronograma da Emenda de Kigali para HFCs (Kigali, 2024).

Para efeito de análise, as principais características dos fluidos refrigerantes sintéticos e naturais estão apresentadas na tabela a seguir.

Refrigerantes	R22	R404A	R507A	R134a	R410A	R407C	R422D	R427A	R717	R744	R290	R1270
Substância Natural	não	não	não	não	não	não	não	não	sim	sim	sim	sim
Nome Comercial	-	-	-	-	-	-	Isceon MO29	FX100	Amônia	Dióxido Carbono	Propano	Propileno
Fabricante	vários	vários	vários	vários	vários	vários	DuPont	Arkema	vários	vários	vários	vários
Composição Química	CHF ₂ CL	R143a/R125/R134a	R143a/R125	CF ₃ CH ₂ F	R32/R125	R32/R125/R134a	R125/R134a/R600a	R32/R125/R143a/R134A	NH ₃	CO ₂	C ₃ H ₈	CO ₂
Destruição Camada Ozônio (ODP)*	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Potencial Aquecimento Global (GWP)**	1500	3260	3300	1300	1725	1525	2230	1830	0	1	3	3
Temperatura Glide (K)	0	0,7	0	0	0,2	7,4	4,5	7,1	0	0	0	0
Ponto de Ebulição (°C)	-40,86	-47	-47	-26,07	-51	-40	-45	-43	-33	-57 (sulimb.)	-42	-47,7
Temperatura Crítica (°C)	96,15	73	71	101,15	72	86	81	87	133	31	96,7	92,4
Pressão Crítica (bar)	50,54	37,8	37,9	40,67	49,5	46,5	39,08	44	113,5	73,8	42,48	46,65
Inflamabilidade	não	não	não	não	não	não	não	não	baixa	não	alta	alta
Toxicidade	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa	alta	baixa	baixa	baixa
Tipo de Óleo lubrificante ***	MO/AB/MO+AB	POE	POE	POE	POE	POE	MO/AB/POE	MO/AB/POE	MO/PAO	POE	MO/PAO/POE	MO/PAO/POE
Tipo de aplicação***	HT/MT/LT	MT/LT	MT/LT	HT	HT	HT	HT/MT/LT	HT/MT/LT	HT/MT/LT (Sist. Indiretos)	MT E LT	HT/MT/LT (Sist. Indiretos)	MT/LT (Sist. Indiretos)
Custo Relativo Refrigerante/Kg	1	3	4	2	4	3	8	10	0,1	0,1	0,1	0,1
Eficiência Energética Relativa Média (%)	100	99	102	97	95	100	95	95	105	120 (sub crítico)	102	101
Equipamentos (Retrofit)	-	Novos	Novos	Novos	Novos	Novos	Existentes	Existentes	Novos	Novos	Novos	Novos

*Destruição da Camada de Ozônio (ODP- *Ozone Depletion Potencial*): é um índice baseado inteiramente na referência do gás refrigerante R11 (100%). Por exemplo, o R22 possui um ODP = 0,05, ou seja, tem um potencial de destruição do ozônio de 5% comparado ao R11.

**Potencial de Aquecimento Global (GWP - *Global Warming Potencial*) - é um índice que compara o efeito do aquecimento produzido pelos gases na atmosfera ao longo do tempo (normalmente 100 anos), em relação a quantidades semelhantes de CO₂ (em peso). Por exemplo, 1 kg de R404A liberado na atmosfera produz o mesmo efeito de aquecimento global equivalente a 3260 Kg de CO₂. É o mesmo valor que um carro popular levaria para contaminar a atmosfera circulando durante 2 anos na cidade de São Paulo.

*** Tipo de Aplicação: HT= Alta temperatura de evaporação (ar-condicionado), MT = Média temperatura de evaporação (sistema de resfriados), LT = Baixa temperatura de evaporação (sistema de congelados).

Tabela 3 - Características dos refrigerantes sintéticos e naturais (Gov.MMA, 2011).

Para o desenvolvimento deste estudo, foram criadas simulações e índices para que a replicação de soluções fosse favorecida.

O índice $\text{kg CO}_2/\text{TR}$, criado devido à dificuldade de obtenção de dados da capacidade efetiva instalada no país, para que seja possível simular cenários, entender oportunidades e replicar soluções, demonstra como cada sistema, com seu respectivo fluido refrigerante, atua no aquecimento global de acordo com a carga térmica atendida.

Foram elaboradas cargas térmicas e comparadas todas as opções de mercado no Brasil.

DESENVOLVIMENTO

O índice mais importante para a obtenção de referências concretas das soluções de climatização e refrigeração de baixo impacto é o GWP.

Para este estudo, foram criadas simulações a fim de quantificar e qualificar os fluidos refrigerantes mais utilizados no mercado nacional, bem como as tecnologias envolvidas nestes processos.

As principais informações utilizadas neste relatório foram obtidas por documentos e entrevistas com importantes organizações, empresas e profissionais da área.

ANÁLISES

Os dados para simulação dos sistemas foram obtidos a partir de catálogos de fabricantes, *softwares*, entrevistas e fontes bibliográficas. Estas simulações visam apresentar de forma sintética as características de cada sistema de refrigeração e climatização e seus impactos ambientais.

CLIMATIZAÇÃO

Para a climatização, com o objetivo de simular um cenário real, entender oportunidades e replicar soluções, tendo em vista à dificuldade de obtenção de dados da capacidade efetiva instalada no país, foi realizada uma simulação de climatização. Para tal, foi considerado um edifício genérico de 5 andares e 400TR de carga térmica. Com base em dados da ABRAVA e dos produtos à venda no mercado por empresas da área de ar-condicionado, estes são os principais sistemas de climatização comercial e residencial do país.

Os sistemas analisados foram os seguintes:

1. VRF a ar – Instalado na cobertura e atendendo todos os andares;
2. VRF a ar – Instalado em cada andar para diminuir a quantidade de tubulação frigorígena;
3. VRF a água;
4. Chiller a ar;

5. Chiller a água;
6. Chiller a água com tecnologia LOW-GWP;
7. Equipamento tipo janela;
8. Split convencional.

Por meio do software da LG chamado LATS-HVAC, foi estimada a quantidade adicional de fluido refrigerante nos sistemas de VRF a ar. O resultado das emissões de CO₂ por sistema estão apresentados na Tabela 4.

Sistema	Marca Referência	Modelo Referência	Fluido	GWP	kg Fluido	kg CO ₂
VRF Ar Cobertura	LG	ARUM500LTE5	R-410A	1725	510	878.991
VRF Ar Andar	LG	ARUM500LTE5	R-410A	1725	499	860.689
Split	DAIKIN	STK12P5VL	R-410A	1725	360	621.000
Chiller Ar	CARRIER	30XAB400	R-134a	1300	315	409.630
Janela	GREE	GJC12BL	R-22	1500	240	360.000
VRF Água	LG	ARWN800LAS4	R-410A	1725	201	346.725
Chiller Água	CARRIER	30XWB400	R-134a	1300	245	318.500
Chiller Água Low GWP	JOHNSON CONTROLS	YZ-MA041AN0	R-1233zd	1	395	395

Tabela 4 - Estudo de quantidade de CO2 por cada tipo de sistema

É possível observar que o “Chiller Água Low GWP” chega a emitir duas mil vezes menos CO₂ que outros sistemas. Isto ocorre devido ao fluido refrigerante utilizado, que possui GWP = 1.

O crescente uso no Brasil do sistema VRF, que é o sistema menos eficiente na simulação acima, mostra o quanto é necessário o uso de fluidos refrigerantes naturais.

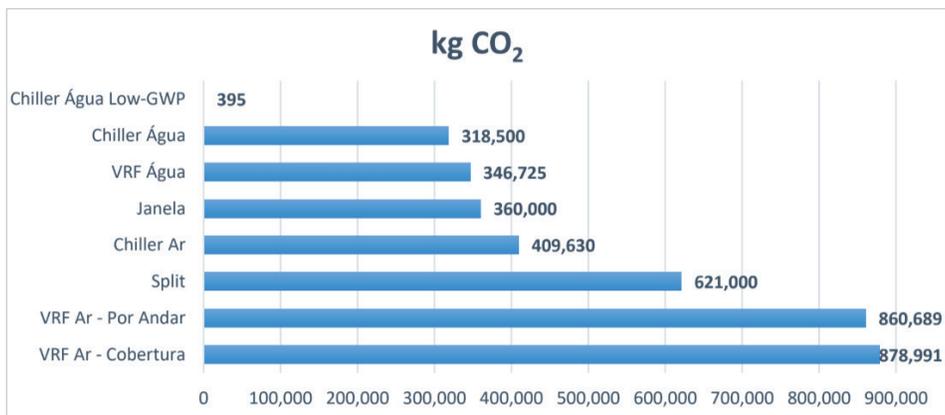


Figura 1 - Estudo de quantidade de CO2 por tipo de sistema

CONCLUSÃO

A carga de fluido refrigerante somada ao GWP devem ser ferramentas essenciais na decisão de qual solução de sistema de climatização a tomar, sistemas como VRF que são conhecidos como ecológicos e de baixo consumo de energia podem contrabalancear negativamente pelo alto GWP, inclusive um prédio com vários Splits Inverter com pouca tubulação frigorígena podem possuir menor GWP que um sistema VRF, o GWP precisa vir na balança para a escolha do melhor sistema de refrigeração.

REFERÊNCIAS

Gov.ibama **Protocolo de Montreal**. Disponível em <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/emissoes-e-residuos/emissoes/protocolo-de-montreal>. Acessado em 25/02/2024.

Gov.mma. **Relatório com informações sobre tecnologias equipamentos debaixo gwp para ar-condicionado residencial**. Disponível em <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/mudanca-do-clima/ozonio/relatrio-com-informaes-sobre-tecnologiasequipamentos-de-baixo-gwp-para-ar-condicionado-residencial.pdf>. Acessado em 26/02/2024.

Gov.mma. **Características dos refrigerantes sintéticos e naturais**. Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2011.

Kigali. **Folder Emenda Kigali**. Disponível em <https://kigali.org.br/wp-content/uploads/2021/09/Folder-Emenda-Kigali.pdf>. Acessado em 27/02/2024.

Santos, Alexandre. Gaspar, Pedro; Souza, Heraldo J. L. de. **Evaluating the Energy Efficiency and Environmental Impact of COVID-19 Vaccines Coolers through New Optimization Indexes: Comparison between Refrigeration Systems Using HFC or Natural Refrigerants**. Processes 2022, 10(4), 790; <https://doi.org/10.3390/pr10040790>. Publicado em 17/04/2022.

Santos, Alexandre; et al. **INNOVATIVE HYBRID GEOTHERMAL/AIR HEAT SYSTEM FOR BIOGAS PRODUCTION**. Journal of Engineering Research, v. 3, p. 2-12, DOI:10.22533/at.ed.3173272314081. 2023.

Webarcondicionado. **História dos fluidos refrigerantes da origem ao cenário atual**. Disponível em <https://www.webarcondicionado.com.br/historia-dos-fluidos-refrigerantes-da-origem-ao-cenario-atual>. Acessado e, 26/02/2024.