



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS I  
CENTRO DE CIENCIA E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM BACHARELADO EM QUÍMICA INDUSTRIAL**

**IALY BERNARDINO DE ALMEIDA RAMOS**

**A QUÍMICA DOS FLUIDOS REFRIGERANTES:  
UMA ATUALIZAÇÃO DO IMPACTO DOS FLUIDOS REFRIGERANTES NA  
CAMADA DE OZÔNIO**

**CAMPINA GRANDE- PB  
2024**

IALY BERNARDINO DE ALMEIDA RAMOS

**A QUÍMICA DOS FLUIDOS REFRIGERANTES:  
UMA ATUALIZAÇÃO DO IMPACTO DOS FLUIDOS REFRIGERANTES NA  
CAMADA DE OZÔNIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Química Industrial da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Química Industrial.

**Área de concentração:** Química Orgânica

**Orientador:** Prof. Dr. José Arimateia Nóbrega.

**CAMPINA GRANDE- PB  
2024**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto em versão impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que, na reprodução, figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

R175i Ramos, Ialy Bernardino de Almeida.

A química dos fluidos refrigerantes [manuscrito] : uma atualização do impacto dos fluidos refrigerantes na camada de ozônio / Ialy Bernardino de Almeida Ramos. - 2024.  
27 f. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2024.

"Orientação : Prof. Dr. Jose Arimateia Nobrega, Departamento de Química - CCT".

1. Fluidos refrigerantes - camada de ozônio. 2. Fluidos refrigerantes - impactos. 3. Gases - camada de ozônio. 4. Protocolo de Montreal. 5. Protocolo de Kyoto. I. Título

21. ed. CDD 363.738

IALY BERNARDINO DE ALMEIDA RAMOS

A QUÍMICA DOS FLUIDOS REFRIGERANTES: UMA ATUALIZAÇÃO DO IMPACTO  
DOS FLUIDOS REFRIGERANTES NA CAMADA DE OZÔNIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Química Industrial da  
Universidade Estadual da Paraíba, como  
requisito parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Química Industrial.

Área de concentração: Química Orgânica

Aprovada em: 21/11/2024.

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof. Dr. José Arimateia Nóbrega (Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



---

Prof. Me. Prof. Me Gabriel Monteiro da Silva  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



---

Profa. Dra. Vera Lúcia de Moraes Silva  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

A minha mãe, Rozilene, por todo amor, amizade, incentivo, ensinamentos, por sua garra, seu apoio, suas orações, seus cuidados. Tudo que sou devo a essa mulher maravilhosa.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me permitir viver o que sonhei e sempre está presente em meus dias, por toda proteção, amor e força para enfrentar as dificuldades, sem a sua força e ajuda eu nada seria.

A minha mãe e meu pai por todo apoio, confiança e incentivo, apesar de todos os obstáculos se fizeram presente mesmo de longe me fortalecendo e impulsionando a ser alguém melhor e alcançar meus objetivos. Por escutar meus lamentos e me ajudar a buscar sempre o caminho dos meus sonhos, por toda oração e proteção, vocês são minha base e meu alicerce sem vocês nada disso teria se tornado realidade.

A Jozadaque meu companheiro, que me fez perceber que o amor vai além de um único sentimento, está no apoio, no respeito, no carinho, compreensão. Que em momentos de angústia, estava sempre me incentivando a nunca desistir, minha gratidão por ser meu porto seguro.

A meus irmãos por todo auxílio, amor e companheirismo, pela irmandade e por serem meus confidentes e minha fonte de apoio.

A toda minha família pelo amparo, toda ajuda e pelas risadas e momentos de descontração da vida acadêmica.

Gratidão a UEPB que me transformou em uma pessoa melhor, me desafiando e ensinando a ser uma profissional qualificada e uma química melhor.

Ao meu orientador Prof. Dr. José Arimateia Nóbrega por todo conhecimento compartilhado, todo incentivo e ajuda.

Ao meu amigo Emanuel que desde o começo esteve junto a mim, foi meu companheiro de estudo, meu conselheiro, meu amigo confiante, foi quem esteve em todas as minhas apresentações de projetos e até mesmo em monitorias, aguentou meus estresses e estava para enfrentar desafios comigo, mas também para me aplaudir, sem você a vida acadêmica teria sido mais difícil.

Aos meus amigos Ramona, Matheus, Henrique, Lidrieli, Nalanda, Neto, Adelar, Karina, Maria, Wellen, Leticia, Felipe, Ian, que direto e indiretamente me deram força e me mostraram a verdadeira amizade, aguentando minhas dores, minhas histórias e me aconselhando em todos os aspectos da vida.

Aos meus sobrinhos por me descontrair e despertarem o melhor de mim.

Aos meus avós por sempre me lembrarem que sou uma neta amada e abençoada.

Aos meus clientes da feira do gado que foram essenciais para me manter financeiramente, além de serem pessoas especiais com jeito simples e cativante, me mostrando o carinho e fidelidade.

A todos que fizeram parte da minha formação, que me ensinaram inúmeras lições, tanto pessoal como acadêmicas, que me mostraram que até em situações difíceis existe beleza e sempre há um aprendizado, que aguentaram minhas conversas intermináveis e minhas brincadeiras, aquelas almas generosas que com algumas palavras de incentivo foram essenciais na minha jornada que celebraram minhas vitórias como se fossem suas e me fizeram enxergar o quanto posso ser cada vez melhor e o quanto tenho a evoluir.

Gratidão a mim que nunca desisti, que sempre dei um jeito para tudo, que busquei ser cada vez melhor a cada dia, que em momentos de desespero e tristeza sempre me reergui, que mantive a cabeça firme em obstáculos que surgiam, mesmo difícil, buscava soluções até em situações que pareciam impossíveis, que mantive em conexão com meu eu, que mesmo em situações que parecia não ter soluções me mantive forte, obrigada por não se perder.

## RESUMO

O conhecimento sobre os impactos que os fluidos refrigerantes podem causar à proteção atmosférica, à camada de ozônio e ao aquecimento global é um assunto de extrema importância em escala global. O consumo e a produção de gases destruidores da camada de ozônio apresentaram um alerta à comunidade internacional, que criou protocolos que assumissem que cada país propagasse suas responsabilidades de eliminar de maneira gradual o uso dessas substâncias. Os principais gases responsáveis pelos impactos causados à camada de ozônio são clorofluorcarbonetos (CFCs) e os hidrocarbonetos fluorados (HCFCs), componentes que reagem com o ozônio presente na atmosfera, em que sua reação produz uma quebra na molécula de ozônio presente na atmosfera, criando uma camada mais fina ou com partes danificadas, permitindo em uma maior exposição à radiação ultravioleta. As consequências que a incidência desses gases pode causar são diversas e em larga escala, afetando a sociedade, animais, plantas e o planeta Terra. Para ajudar na redução e eliminação desses gases, foram criados o Protocolo de Montreal e o Protocolo de Kyoto, tais regulamentos apresentam usos de outros gases como alternativa para uma solução mais viável, apesar de serem gases bem sucedidos em relação a camada de ozônio outro desafio é aliar a um potencial de aquecimento global baixo. Portanto, esta pesquisa tem como objetivo abordar uma visão atualizada em referência a esses fluidos refrigeradores, bem como o avanço da degradação da camada de ozônio, as pesquisas realizadas para a busca de gases inovadores voltados a uma química mais sustentável, a abordagem de algumas soluções mais viáveis, e a evolução do controle e monitoração desses gases.

**Palavras-Chaves:** gases, consequências, soluções, sustentável.

## ABSTRACT

Knowledge about the impacts that refrigerants can have on atmospheric protection, the ozone layer and global warming is an extremely important issue on a global scale. The consumption and production of gases that destroy the ozone layer have been a warning to the international community, which has created protocols that assume that each country spreads its responsibilities to gradually eliminate the use of chemical substances. The main gases responsible for the impacts caused to the ozone layer are chlorofluorocarbons (CFCs) and fluorinated hydrocarbons (HCFCs), components that react with the ozone present in the atmosphere, where their occurrence causes a breakdown in the ozone molecule present in the atmosphere, creating a thinner layer or with damaged parts, allowing greater exposure to ultraviolet radiation. The consequences that the incidence of these gases can cause are diverse and on a large scale, affecting society, animals, plants and planet Earth. To help reduce and eliminate these gases, the Montreal Protocol and the Kyoto Protocol were created. These regulations present the use of other gases as an alternative for a more viable solution. Although they are successful gases in relation to the ozone layer, another challenge is to combine them with a low global warming potential. Therefore, this research aims to address an updated view in reference to these refrigerants as well as advances in the manipulation of the ozone layer, the research carried out to search for innovative gases aimed at more sustainable chemistry, the approach of some more viable solutions, and the evolution of the control and monitoring of these gases.

**Keywords:** gases, consequences, solutions, sustainable.

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	9
2	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	10
2.1	<b>História e evolução dos fluidos refrigerantes</b> .....	10
2.2	<b>Propriedades químicas dos fluidos refrigerantes</b> .....	13
2.3	<b>Protocolo de Montreal</b> .....	16
2.4	<b>Plano de Kyoto</b> .....	16
3	<b>METODOLOGIA</b> .....	19
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	20
4.1	<b>Alternativas sustentáveis em refrigeração: exemplos de substituição de fluidos refrigerantes</b> .....	20
4.2	<b>Tecnologias e práticas para reduzir emissões</b> .....	22
4.2.1	<i>Logística reversa</i> .....	22
4.2.2	<i>Retrofit de sistemas</i> .....	23
4.2.3	<i>Novas tecnologias</i> .....	23
4.3	<i>Desafios e oportunidades na química dos fluidos refrigerantes</i> .....	23
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	25
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	26

## 1 INTRODUÇÃO

Existe uma grande variedade de equipamentos destinados a refrigerar um ambiente, seja em ambiente doméstico, comercial ou industrial. Eles operam de modo semelhante e entregam o mesmo resultado, ar frio. Nessas máquinas, cada componente dentro de um sistema tem a sua especificidade. O fluido refrigerante, assim como cada componente de um sistema de refrigeração, possui características fundamentais para que haja troca térmica dentro do ambiente que se quer obter um ar mais frio, mais confortável ou em condições necessárias para exercer determinada atividade. Essas características tem sido estudadas há anos no sentido de desenvolver um fluido que venha causar o mínimo de impacto ao meio ambiente (Souza,2018) Algumas alternativas têm sido avaliadas, como resposta aos tratados mundiais assinados devido a degradação ambiental que diversos produtos químicos têm causado na camada de ozônio. A substituição desses materiais é algo complexo, alguns desses fluidos não mostram o mesmo nível de eficiência dos tradicionais ou, em alguns casos, observou-se incompatibilidade do composto com a estrutura interna dos equipamentos. Apesar disso, esses novos fluidos necessitam serem aplicados nas indústrias devido a urgência de fluidos com baixo impacto. Segundo Souza (2018) os materiais internos de equipamentos refrigeradores exigem um maior estudo influenciam nos fluidos como é o caso da compatibilidade química, evitando que haja danos ao passar do tempo.

Conforme dito por Ebenezer (2021), a busca por fluidos mais ecológicos possibilitou os fluidos refrigerantes naturais como opções de substituição, que possuem menores potenciais de aquecimento global (GWP) e são considerados mais seguros para o meio ambiente. Além disso, a comunidade científica tenta desenvolver novos compostos com propriedades químicas mais eficientes e impacto ambiental reduzido.

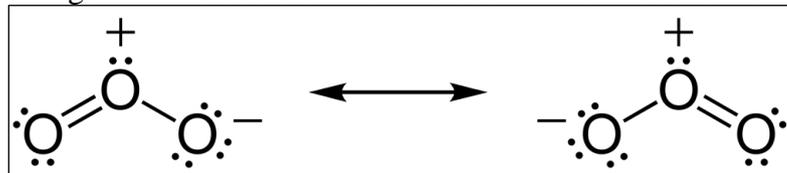
Com isso, os objetivos desse trabalho são: analisar a evolução histórica dos fluidos refrigerantes e suas propriedades químicas; avaliar os impactos ambientais de acordo com o uso de diferentes tipos de fluidos refrigerantes; examinar as regulamentações ambientais que influenciam a escolha e o uso de fluidos refrigerantes, como o Protocolo de Montreal e suas implicações; investigar as novas tendências e inovações tecnológicas na formulação de fluidos refrigerantes, priorizando alternativas mais sustentáveis.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O ozônio ( $O_3$ ) é um dos gases que compõe a atmosfera e cerca de 90% de suas moléculas se concentram na chamada Camada de Ozônio, situada entre 20 e 35 km de altitude. É uma região muito importante, pois atua no processo de filtragem da radiação ultravioleta do tipo B (UV-B), muito nociva aos seres vivos.

A molécula de ozônio contém em sua estrutura 3 átomos de oxigênio, possui geometria angular e as ligações oxigênio-oxigênio são equivalentes, como mostra a figura 1 sendo um esquema com as formas ressonantes da molécula.

Figura 1- Molécula de ozônio e suas formas ressonantes



**Estrutura de Lewis do ozônio e suas formas ressonantes**

**Fonte:** Fonte: PNGEgg, 2024.

Em 1974, o químico mexicano Mario Molina e o americano F. Sherry Rowland descobriram que substâncias provenientes de sistemas de refrigeração estavam afetando a camada protetora da terra de forma alarmante (Rei e Farias, 2017). Essa descoberta foi, sem dúvida, uma das mais importantes na história da química ambiental.

### 2.1 História e evolução dos fluidos refrigerantes

Os primeiros fluidos refrigerantes utilizados no sistema de refrigeração, segundo Ebenezer (2021) foram o ar, a água, o éter, o dióxido de enxofre e o dióxido de carbono. Entretanto, estes não atendiam todas as necessidades do mercado e da indústria. O interesse seguiu então na busca por fluidos que atingissem temperaturas mais baixas. Nos anos 1930, começou a utilização dos gases clorofluorcarbonos (CFCs). Esses materiais, rapidamente, passaram a ser muito comuns nos sistemas de refrigeração e ar condicionados, tanto de uso doméstico como industrial.

Os CFCs conseguiam proporcionar temperaturas mais baixas de operação, menor inflamabilidade, além de serem substâncias atóxicas para o homem, isto gerou confiabilidade,

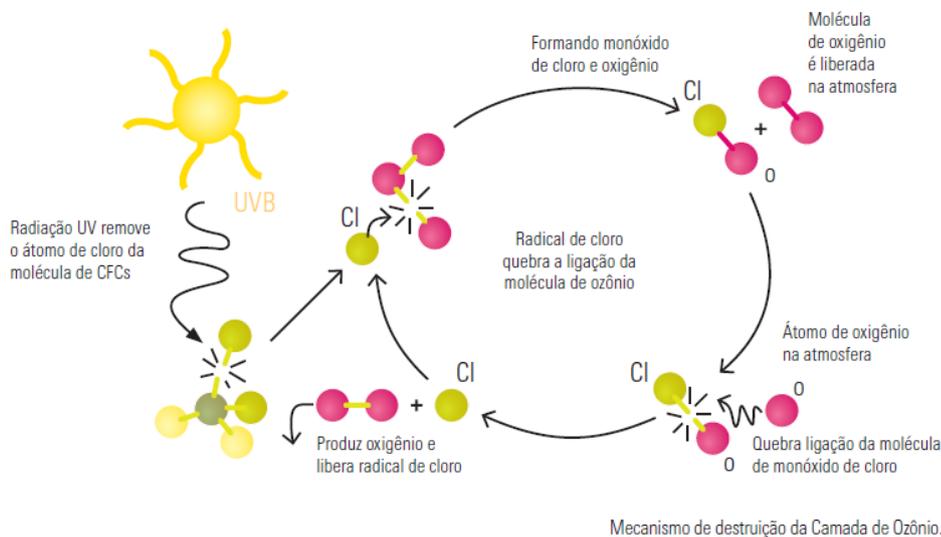
por muitos anos, para esse fluido. Mas, tudo mudou com a descoberta dos efeitos nocivos sobre a camada de ozônio (Ebenezer, 2021). A revelação científica do buraco da camada de ozônio motivou uma investigação sobre o que ocasionou esse fato. Os diversos estudos estabeleceram que os principais responsáveis por esse desastre ambiental foram substâncias químicas advindas de atividades humanas relacionadas a área da refrigeração, provocando uma inquietação na população e na comunidade científica mundial.

Os hidroclorofluorcarbonos (HFCs) iniciaram seu uso em 1940, mas na década de 1980 foram alternativas aos CFCs em algumas aplicações, mas logo foram adicionados como SDOs que seriam eliminados de forma gradual pelo Protocolo de Montreal, conforme dito por Simmonds et al. (2017).

A mobilização internacional sobre o tema gerou, entre outros resultados, a assinatura do Protocolo de Montreal em 1987, que visava proteger a camada de ozônio com a redução dos gases destruidores da camada protetora (Sarma, Andersen, pg.5, 2011).

A figura a seguir mostra como o elemento cloro presente no CFC reage na atmosfera.

**Figura 2** – Mecanismo de destruição da camada de ozônio  
Como a Camada de Ozônio é destruída



**FONTE:** (“MANUAL DE AJUDA PARA O CONTROLE DAS SUBSTÂNCIAS QUE DESTROEM A CAMADA DE OZÔNIO –SDOs”, [s.d.]

A figura 2- demonstra a destruição da camada que ocorre pelo processo em que os CFCs, quando presentes na atmosfera, liberam átomos de cloro, e entram em decomposição devido a radiação UV. A reação é explicada por Ebenezer (2021) pela maneira que o cloro interage com o ozônio, destruindo a sua molécula e produzindo o monóxido de cloro (ClO) e oxigênio molecular (O<sub>2</sub>). Após isso, a reação vai acontecendo em sequência destruindo milhares de

moléculas de ozônio, afetando seu equilíbrio.

Uma das preocupações desse processo é que os CFCs se mantêm na atmosfera em média de 50 a 100 anos, até serem decompostos pela radiação UV e desencadeando todo o processo responsável pela destruição da camada de ozônio REI e FARIAS (2017).

Os hidrocarbonetos fluorados (HFC) foram os fluidos usados após o banimento dos CFCs. Sua vantagem em comparação ao CFC seria seu índice de degradação da camada de ozônio (ODP) significativamente baixo, mas logo percebeu-se que sua utilização seria um desafio, devido ao fato de ser um dos gases causadores do efeito estufa com potencial de aquecimento global (GWP) alto (PEIXOTO,2020).

O Global Wearth Potential Potencial de Aquecimento Global (GWP) é um fator que mede a capacidade que um gás considerado de efeito estufa (GEE) retem calor na atmosfera, comparado ao gás tido como referencial o gás dióxido de carbônico CO<sub>2</sub> tendo o GWP de valor 1 (Recigases,2020). Conforme REI e FARIAS, 2017, o crescimento global crescente proporciona diversos impactos como as mudanças climáticas e a elevação do nível do mar, além de uma perda de biodiversidade.

O Ozone Depletion Potential Potencial de Degradação da Camada de Ozônio (ODP) é outro termo importante. Ele mede o quanto uma substância clorada, como os clorofluorcarbonos (CFC)s, pode atacar a barreira que protege a Terra dos raios solares ultravioletas (Uvs). Quanto maior o ODP de um gás, maior a degradação do ozônio na atmosfera, o gás usado como referência é o CFC-11 de índice 1, sua escala vai de 0 a 1. (Recigases,2020).

Segundo Ebenezer (2021) uma alternativa bastante eficaz são os hidrocarbonetos, por apresentarem impactos negativos na camada de ozônio e também um potencial relativamente baixo de aquecimento global (baixo GWP). Entretanto, o nível de inflamabilidade é muito elevado.

Outro fluido refrigerador utilizado é o R-404a, que é produzido de forma sintética. Sua vantagem está em não apresentar degradação da camada de ozônio, porém seu GWP é elevado. Em um eventual vazamento para a atmosfera cada quantidade em quilograma vazado equivale a 4 vezes proporcionais em toneladas de CO<sub>2</sub> emitido (SANTOS et al, 2020).

A amônia (NH<sub>3</sub>) também é um refrigerante natural que apresenta características vantajosas por suas propriedades termodinâmicas, mas sua toxicidade torna seu uso um desafio. Ações diferenciadas de segurança em seu manuseio podem tornar seu uso mais seguro (PEIXOTO,2011).

O dióxido de carbono foi um dos primeiros fluidos usados nos sistemas de refrigeração.

Atualmente o seu uso está sendo revisto devido a seu baixo ODP, mas a limitação em exigir alta pressão no seu trabalho requer sistemas mais avançados e caros. Além desses fluidos também se destaca o uso das misturas proporcionando uma maior contribuição, superando os fluidos concentrados, pois as misturas dos fluidos refrigerantes com propano e isobutano, possibilita uma adaptação ao sistema de refrigeração atendendo de forma específica em relação ao ponto de ebulição e a capacidade de refrigeração (SOUZA,2018).

## **2.2 Propriedades químicas dos fluidos refrigerantes**

Para BRAGA (2024), os principais fatores na escolha de um fluido refrigerante são os índices ODP E GWP, mas fatores químicos como reatividade química, estabilidade e condutividade térmica também devem ser considerados.

A reatividade do fluido refere-se a sua compatibilidade com materiais presentes no sistema de refrigeração. Essas reações, obviamente, são indesejadas pois causam danos a estrutura interna dos equipamentos e, posteriormente, acarretam vazamentos (SOUZA,2018).

Outra propriedade bastante importante é a estabilidade do fluido, responsável pelo impedimento da decomposição do fluido ao longo do tempo, devido às temperaturas e pressão envolvidas no sistema, como é o caso dos CFCs que apesar de apresentarem propriedades termodinâmicas eficientes são fluidos instáveis na estratosfera (SOUZA, 2018).

A condutividade térmica e a viscosidade devem-se ao fato de uma transferência de calor mais eficiente ou um escoamento do fluido melhor (BRAGA, 2024).

Segundo Stoecker e Jones (1985), a amônia reage com cobre, latão, e outras ligas de cobre na presença de água. Os haletos orgânicos podem reagir com o zinco, mas não com cobre, alumínio, ferro ou aço. Na presença de uma pequena quantidade de água, entretanto, os haletos formam ácidos que atacam a maioria dos metais. Os haletos atacam a borracha natural, portanto material sintético deve ser usado como gaxetas e outros elementos de vedação (BRAGA, 2024).

Os hidrocarbonetos têm capacidade termodinâmica, solubilidade com lubrificantes e compatibilidade com metais. Em relação ao dióxido de carbono, é compatível com componentes mecânicos e a maioria dos óleos lubrificantes (SOUZA,2018).

Na tabela abaixo são mostradas as características de vários fluidos refrigerantes, apresentando seus nomes, composição química, ODP, GWP e algumas propriedades químicas.

Tabela 1. Características dos refrigerantes sintéticos e naturais, com destaque ao R717 e R744.

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	-	-	-	-	-	-	Isoson MO29	FX100	Amônia	Dióxido Carbono	Propano	Propileno
Fabricante	vários	vários	vários	vários	vários	vários	DuPont	Artema	vários	vários	vários	vários
Composição química	CH <sub>2</sub> Cl	R143a/R125/ R134a	R143a/R125	CF <sub>2</sub> CHF	R32/R125	R32/R125/ R134a	R125/R134a/ R600a	R32/R125/ R143a/R134a	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>
Destruição Camada Ozônio (ODP) <sup>†</sup>	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Potencial Aquecimento Global (GWP) <sup>**</sup>	1500	3280	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	-47,0	-47,0	-26,07	-51,0	-40,0	-45,0	-43,0	-33,0	-57,0 (sublim.)	-42,0	-47,7
Temperatura Crítica (°C)	96,15	73,0	71,0	101,15	72,0	86,0	81,0	87,0	133,0	31,0	96,7	92,4
Pressão Crítica (bar)	50,54	37,8	37,9	40,67	49,5	46,5	39,08	44,0	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 <sup>***</sup>	MOAB/ 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 <sup>****</sup>	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 (operação subcrítica)	102	101
Equipamentos (Retrofit)	—	Novos	Novos	Novos	Novos	Novos	Existentes	Existentes	Novos	Novos	Novos	Novos

Fonte: (LAGE et al,2011)

A tabela 1 mostra que alguns fluidos apresentam potenciais de aquecimento global altos como o R-22, R-404 e o R-507, mas seu índice de ODP, sua inflamabilidade e sua toxicidade são baixos, com exceção do R-22 (que tem uma ODP em 0,5). Já alguns gases naturais como o R-209 e R-1270 apresentam alta inflamabilidade, mas seus índices de ODP e GWP são muito baixos em comparação aos fluidos não naturais.

O quadro 1 mostra as aplicações de alguns fluidos refrigerantes que contem em sua composição o HFCs e aqueles que não fazem partes dos HFCs.

Quadro 1: Uso de Fluidos Refrigerantes em Sistemas e Equipamentos de Refrigeração e Ar Condicionado Novos no Brasil

Aplicação	Refrigerante HFC Puro ou Misturas contendo HFCs	Outros Refrigerantes
Refrigeração Doméstica Bebedouros	HFC-134a R-401A	HC-600a
Refrigeração comercial - unidades compactas (congeladores para sorvetes e refrigeradores de bebidas, "vending machines", expositores, etc.)	HFC-134a, R-404A R-417A	HC-290 HC-600a R-744
Refrigeração comercial - unidades condensadoras	HFC-134a R-404A	HCFC-22
Refrigeração comercial - supermercados (sistemas centralizados com rack de compressores)	HFC-134a R-404A	HCFC-22 R-744
Transporte Refrigerado - caminhões frigoríficos	HFC-134a, R-404A	-
Ar Condicionado e Refrigeração Industrial (unidades resfriadoras de líquidos - <i>chillers</i> centrífugos e com compressores alternativos, <i>parafuso</i> ou <i>scroll</i> )	HFC-134a R-410A	HCFC-22 HCFC-123
ar condicionado comercial ou residencial constituída - equipamentos compactos, tais como "equipamentos de janela", split ou multi-split	R-410A	HCFC-22
Ar Condicionado Veicular (automóveis, ônibus)	HFC-134a	-

Fonte: PEIXOTO,2015.

O quadro acima mostra diversos fluidos que fazem parte dos tipos de HFC como HFC-134a e R-401 e suas aplicações. Além desses fluidos também são apresentados o isobutano (HC-600a), o propano (R-290), dióxido de carbono (R-744) e amônia (R-717), como produtos de refrigeração doméstica, comercial ou industrial.

### **2.3 Protocolo de Montreal**

O Protocolo de Montreal é um acordo internacional criado em 1987, como consequência do Plano de Ação de Viena para a Proteção da Camada de Ozônio, que consiste em exigir a eliminação da produção e do consumo de substâncias que a destroem, como os clorofluorcarbonos (CFCs) e os hidroclorofluorcarbonos (HCFCs).

Segundo Rei e Farias (2017), há um auxílio aos países desenvolvidos e subdesenvolvidos, para proporcionar suporte financeiro e técnico, chamado de Fundo Multilateral (FML), o que ajuda a custear o cumprimento do protocolo. Um ponto positivo com relação ao Protocolo de Montreal está em sua flexibilidade que permite mudanças na proporção que descobertas científicas forem sendo comprovadas e que alterem o entendimento do quadro ambiental estabelecido.

Aliado a isso, o Protocolo de Montreal coopera para a mitigação das mudanças climáticas, relacionadas ao uso das SDOs (Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio) e que agravam o efeito estufa. Apesar de obterem sucesso em sua prática, enfrentam desafios como a eliminação completa dos SDOs e o controle de substâncias com o intuito de substituir as SDOs, o que ainda possibilita aumentar o aquecimento global. Outro fator contribuinte é a emenda de Kigali que objetiva reduzir os HFCs (Peixoto, 2020).

### **2.4 Plano de Kyoto**

Em 1997, foi criado o Plano de Kyoto, com a finalidade de combater as mudanças climáticas e a propagação dos gases no efeito estufa, seu objetivo é estabelecer metas que amenizem as emissões de altas concentrações de GEE causadas pelos países desenvolvidos. As metas estabelecidas propuseram que as emissões fossem reduzidas em 5,2% em comparação aos níveis dos anos 1990, entre um período de 2008 a 2012, segundo o Senado de Notícias. Os gases incluídos ao efeito estufa são dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>)(Scabin, 2024).

O quadro 2 mostra quais os fluidos que podem ser substituídos em tais aplicações, procurando sempre atender as exigências.

**Quadro 2-** Alternativas e tendências de substituição de refrigerantes de acordo com suas aplicações

Aplicação	Refrigerante usado	Alternativa	Tendência
Doméstico refrigeração	R-11 a R-123 R-12 para R -134 <sup>a</sup>	Reciclagem	R-600a, HFO
Comercial refrigeração	HCFC-22	HFC-404a, CO <sub>2</sub> , ISCÉON, reciclagem, HFO, HC, R-134a, glicol	HFC-404A, CO <sub>2</sub> , ISCÉON, reciclagem, HFO, HC, R-134a, glicol
Industrial refrigeração	Amônia, HCFC-22, HFC-134 <sup>a</sup>	R-134a, amônia, reciclagem	Amônia, R-134a, reciclagem, HFO
Automotivo refrigeração	R-22 para R-134 <sup>a</sup>	R-134a, reciclagem	R-123yf, CO <sub>2</sub>
Climatização sistemas	HCFC-22	HFCs (R-134a, R-290, R-407C, R-410A e R-600a)	R-290, R-410A, R-32, R-600a, reciclagem, HFO

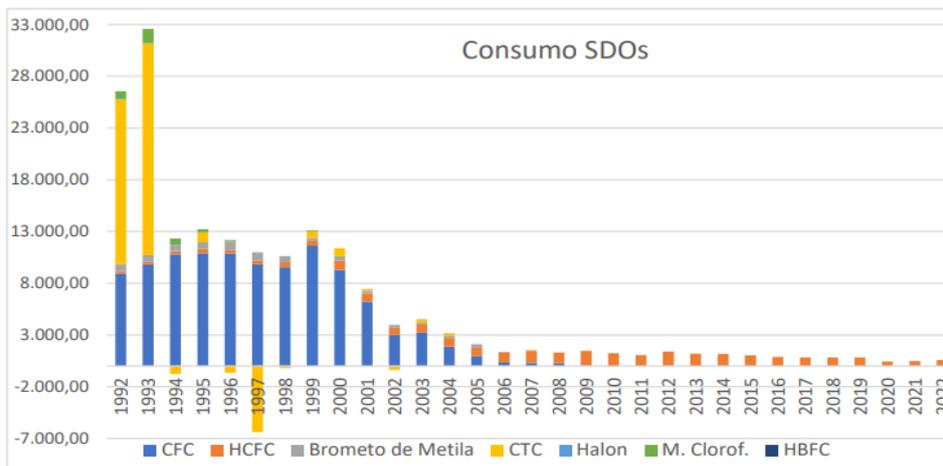
Fonte: ABRAVA [14]

Fonte: (SANTOS et al., 2020)

O quadro acima mostra fluidos alternativos que podem substituir fluidos já proibidos pelas regulamentações do Protocolo de Montreal, os HCFCs e apresentando tendências melhores, como amônia ou HFO.

A figura 2 apresenta o consumo no Brasil de fluidos refrigerantes que são considerados Substâncias destruidoras da camada de ozônio, como os CFC, HFC, entre outros de uma escala de tempo de 1992 a 2022.

**Figura 3-** Gráfico do consumo de SDOS no Brasil



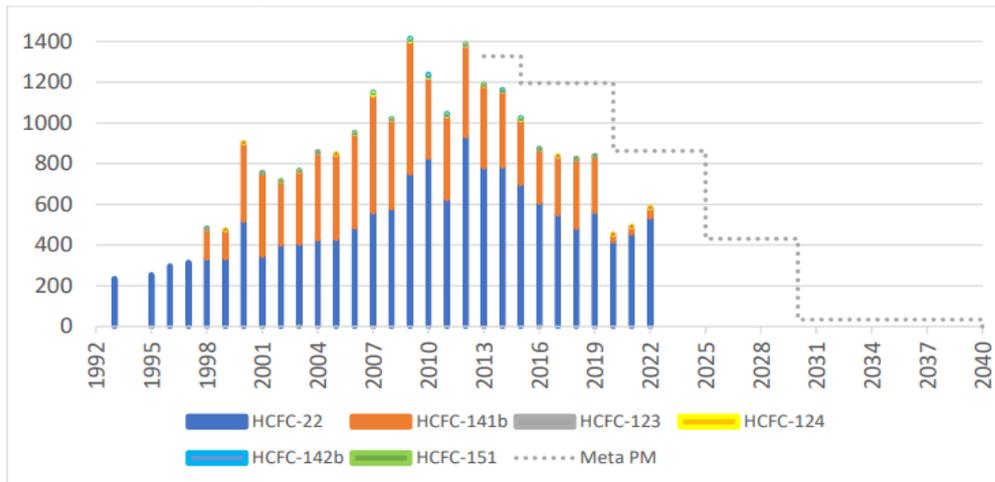
Fonte: MMA/IBAMA.

A figura 3 mostra a diminuição do consumo de vários fluidos. O CFC ainda apresentava um consumo evidente mesmo depois de proibido, como mostra uma quantidade significativa ainda em 2007.

A figura 4 mostra o consumo no Brasil do fluido refrigerante HCFCs e a expectativa de eliminação segundo o protocolo de Montreal.

**Figura 4-** - Gráfico do consumo de HCFCs no Brasil

\*PM: Protocolo de Montreal



Fonte: MMA/IBAMA.

A figura 4 mostra um crescimento ainda preocupante que vai até 2022, sendo um valor ainda alto em uma escala de 400 a 600 mas que há uma expectativa em redução aproximar-se de 0 no ano de 2031.

### 3 METODOLOGIA

Este trabalho é uma monografia, sendo uma pesquisa qualitativa é baseado em uma introdução sobre o tema e o estudo de caso de artigos de revistas, de monografias, regulamentações, que apresentam em sua descrição análises atualizadas sobre os impactos de forma aprofundada que os gases refrigeradores podem causar.

A elaboração deste trabalho consistiu em consultas de um período de tempo de 2009 a 2024 em pesquisas de aplicativos como o Google Acadêmico, Scielo, Science Direct, Periódicos Capes, capítulos de livro, utilizando de palavras chaves como: “Camada de Ozônio”, “SDOS”, “Gases Refrigeradores”, “Plano Montreal”. A perspectiva foi abordar uma visão atualizada da camada de ozônio e sua expectativa de eliminação dos gases poluentes da atmosfera.

Foram encontrados diversos trabalhos científicos relacionados ao tema abordado, porém selecionamos apenas de grande relevância, totalizando em 20 trabalhos, para utilizar de referências que incluíam 6 artigos dentre eles, temos 2 artigos técnicos, 1 tese de trabalho de conclusão de curso, 1 monografia de mestrado, 4 capítulos de livros, 1 guia orientativo e 1 manual de ajuda, 2 relatórios de referências e 5 sites com atualizações.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Alternativas sustentáveis em refrigeração: exemplos de substituição de fluidos refrigerantes

Os gases causadores de agressões a camada de ozônio são os clorofluorcarbonetos (CFCs). Sua utilização foi crescente no ano de 1930, na fabricação de aparelhos de refrigeração, como geladeiras e freezers, aparelhos de ar condicionado, aerossóis (sprays) de perfumes e inseticidas e até extintores de incêndio. Depois das descobertas realizadas e publicadas sobre o buraco causado por esses gases na camada de ozônio, os gases foram extintos pelo Plano de Montreal.

O quadro 4 elenca os possíveis substitutos dos CFCs e HCFCs e especifica qual aplicação que cada um terá.

**Quadro 4** - Substitutos para os CFCs e HCFCs e suas aplicações.

(continuação)

SUBSTITUTOS PARA CFCs E HCFCs EM REFRIGERAÇÃO E AR CONDICIONADO			
CLASSIFICAÇÃO	TIPOS	SUBSTITUIÇÃO	APLICAÇÕES
HIDROFLUORCARBONOS (HFCS)	<b>HIDROFLUORCARBONOS (HFCS)</b>	CFC-12	REFRIGERAÇÃO DOMÉSTICA, COMERCIAL, TRANSPORTE REFRIGERADO E AR CONDICIONADO VEICULAR
	<b>MISTURAS DE HFCS:</b> R-404A (HFC-125/HFC-143A/HFC-134A), R-507A (HFC-125/HFC-143A), R-410A (HFC-32/HFC-125) E R-407C		REFRIGERAÇÃO COMERCIAL, AR CONDICIONADO ESTACIONÁRIO E TRANSPORTE REFRIGERADO
FLUIDOS REFRIGERANTES NATURAIS	<b>ISOBUTANO (HC-600A)</b>	HFC-134	REFRIGERAÇÃO DOMÉSTICA
	<b>PROPANO (HC-290):</b>	HCFC-22	REFRIGERAÇÃO COMERCIAL DE MAIOR CAPACIDADE
	<b>CICLOPENTANO</b>	CFC-11 E HCFC-141B	AGENTE EXPANSOR DE ESPUMA

	TIPOS	SUBSTITUIÇÃO	(conclusão) APLICAÇÕES
	<b>AMÔNIA (R-717)</b>		REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL E COMERCIAL
	<b>DIÓXIDO DE CARBONO (CO2/R-744)</b>		REFRIGERAÇÃO EM CASCATA, SUPERMERCADOS, AR CONDICIONADO VEICULAR.
HIDROFLUOROLEFINAS (HFOS)	<b>HFO-1234YF</b>	HFC-134	AR CONDICIONADO VEICULAR
	<b>HFO-1234ZE (E)</b>		CHILLERS DE GRANDE PORTE
	<b>MISTURAS DE HFCS/HFOS</b>		EM DESENVOLVIMENTO PARA DIVERSAS APLICAÇÕES, VISANDO COMBINAR BAIXO GWP

Fonte: Autoria Própria.

O quadro acima é um resumo dos levantamentos bibliográficos realizados, mostrando fluidos mais viáveis como os fluidos naturais e outros, com o objetivo de substituir os gases SDOs especificado em cada uso.

De acordo com Peixoto (2015 e 2020), a utilização de clorofluorcarbonetos (CFCs) e hidroclorofluorcarbonetos (HCFCs) são um risco a camada de ozônio. Uma alternativa importante para o uso desses fluidos são os HFCs. Essa substituição resulta em pontos positivos devido à ausência de cloro em sua composição, entretanto, o outro aspecto é que são gases de efeito estufa com um potencial significativo ao aquecimento global. São aplicados em sistemas de refrigeração (ar condicionados) e estão presentes na constituição de diversos produtos químicos, como extintores de incêndio, aerossóis, solventes e na produção de espuma. O grande fator de preocupação está em suas emissões com grande teor de gases de efeito estufa ocasionados por vazamentos que ocorrem ao longo do tempo, somado a isso apresentam uma vida longa na atmosfera.

Peixoto (2015) destaca que o mais utilizado no Brasil que deriva do HFCs, para

aplicações em refrigeração doméstica, comercial e ar condicionado veicular é o HFC-144a. Outros bastante utilizados também são os HFC-125, HFC-143a e HFC-32, utilizados em misturas refrigerantes como o R-404A e R-410A

Uma das dificuldades enfrentadas pelo Protocolo de Montreal é a evidência que alguns gases proibidos pelo seu acordo ainda continuam em uso. Em 2018, foi identificada a presença do gás CFC-11, proibido desde 2010, pois a sua redução não ocorreu como esperada. Detectada pela Agência de Pesquisa Ambiental, o trabalho mostrou que as emissões tinham origem em fábricas na China, produzindo CFC-11 para uso em espuma de isolamento (BBC NEWS,2018).

Conforme apresentado pelo o Ministério do Meio Ambiente (MMA), em parceria com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), foram adquiridos novos equipamentos que reforçam o monitoramento de cilindros de gases refrigerantes importados no Brasil. Isso é um exemplo do quanto é importante o compromisso do Brasil em proteger o meio ambiente e o clima global (MMA, 2022).

Em 2021, o Brasil apresentou uma redução de 63% no consumo de HCFCs e caminha em progressão para em 2030 obter uma redução de 97,5%, conforme dados obtidos do MMA.

## **4.2 Tecnologias e práticas para reduzir emissões**

A implementação do protocolo de Montreal e o Plano de Kyoto exige um grande esforço mundial para reduzir as emissões dos gases com o poder de destruição da camada de ozônio e com alto potencial de aquecimento global. Neste sentido, há medidas alternativas ou complementares que podem ter impacto na proteção ao meio ambiente:

### ***4.2.1 Logística reversa:***

A logística reversa é uma alternativa de reduzir as emissões dos gases refrigerantes praticando a reciclagem e a coleta de equipamentos de refrigeração com objetivo de recuperar metais plásticos ou até outros materiais existentes no sistema de refrigeração além de obter os fluidos refrigerantes como CFC de forma segura. No sistema de tecnologia alemã, o CFC é captado por sucção e enviado para uma câmara que atinge até 1400°C de temperatura, que transforma o gás nocivo em uma solução ácida que não agride a camada de ozônio e ainda pode ser aproveitada por indústrias químicas (JESUS e BUENO, 2017).

#### **4.2.2 Retrofit de sistemas:**

Outra forma de mitigar os impactos ambientais é por meio do retrofit de sistemas. Nessa abordagem, o intuito é adaptar o sistema já existente verificar a viabilidade e desempenho de diferentes fluidos refrigerantes além disso, avalia as propriedades características dos fluidos como a compatibilidade a eficiência energética, desenvolvendo um fluido que atenda o sistema de climatização com menor impacto (BRAGA,2024).

#### **4.2.3 Novas tecnologias:**

De acordo com BRAGA (2024), tecnologias que atendam uma redução ao impacto ambiental e uma diminuição das mudanças climáticas tem sido constante, o uso de materiais de mudança de fase (PCMs) em sistemas de ar condicionado para melhorar a eficiência e reduzir o consumo de energia vem sendo usados com frequência. Os PCMs funcionam absorvendo e liberando calor durante uma mudança de fases deixando o processo de resfriamento cada vez mais eficaz.

### **4.3 Desafios e oportunidades na química dos fluidos refrigerantes**

A produção e consumo dos fluidos refrigerantes exige que esteja sempre aliado a questões ambientais de proteção e eficiência em seu mercado, buscando sempre evolução. Um dos desafios mais importantes no ramo da refrigeração é conciliar o uso e desenvolvimentos de substâncias que gerem um impacto reduzido em relação ao potencial de aquecimento global (GWP) e ao meio ambiente. A implementação de refrigerantes mais modernos tem sido um desafio constante para as indústrias, buscando equilibrar os custos, a compatibilidade dos materiais e a sua segurança. Porém, apesar dos desafios constantes a todos, a busca iminente por alternativas voltadas a questões ambientais, impulsiona pesquisas e desenvolvimentos em relação ao tema procurando refrigerantes naturais, tecnologias modernas e práticas econômicas (PEIXOTO,2020; LAGE; et al, 2011).

O grande incentivo ambiental para novos fluidos refrigerantes que tenham um GWP menor está nas regulamentações como o Plano de Montreal e o Plano de Kyoto. A comunidade científica está em constante trabalho na busca para apresentar descobertas que buscam uma solução aos HFCs, com isso solucionando o problema do buraco na camada de ozônio. Uma

das alternativas que apresentaram uma maior eficiência foram o uso dos refrigerantes naturais como o CO<sub>2</sub>, amônia (R-717) e os hidrocarbonetos (HCs), mas é necessário um cuidado maior com essas soluções alternativas devido a sua inflamabilidade e toxicidade. Os trocadores de calor de microcanais e sistemas de refrigeração em cascata, tem mostrado um ponto positivo e são uma tecnologia inovadora com uma eficiência energética melhor em sistemas de refrigeração (PEIXOTO, 2015).

A busca por substância que visem a promoção da química verde e um desenvolvimento sustentável é responsabilidade conjunta entre indústria, governo e sociedade. A cooperação e a participação são essenciais para aplicação de novas ideias, criação de tecnologias inovadoras e a pesquisa. Além disso, outro fator bastante importante é a formação de profissionais capacitados e a conscientização da sociedade sobre o ramo da refrigeração com produtos que apresentem substâncias mais sustentáveis, objetivando a proteção ambiental (LAGE, et al, 2011).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As pesquisas realizadas para a produção do artigo apontam os gases refrigerantes mais utilizados e os impactos que cada um lança na atmosfera, alguns como os CFCs e HCFCs são gases proibidos em que sua monitoração e seu controle se mantém constante. O uso de alguns fluidos naturais como alternativas inovadoras e associadas a proteção a atmosfera buscando a melhor prática que proteja o planeta são os usos do CO<sub>2</sub>, amônia (R-717) e os hidrocarbonetos (HCs), são uma das soluções mais viáveis por demonstrarem impactos relativamente, apenas necessitam que seu manuseio seja de forma mais cuidadosa, por ser substâncias com características inflamáveis e tóxicas. Outra fonte de alternativa são os HFCS ou quais agem em prol de proteger a camada de ozônio, sendo o impacto aproximado de zero, mas seu Potencial de Aquecimento Global é um fator que excede o que se espera. Portanto, apesar de algumas alternativas bem sucedidas a uma causa de menor impacto ambiental ainda apresentam algumas dificuldades, somado a isso, tem o fato de que alguns SDOs ainda apresentam níveis de emissões constatados, então a importância do monitoramento e controle dos gases se mostra cada vez mais uma necessidade.

O banimento dos gases CFC e HCFC, caminham para uma contribuição a preservação da camada protetora de ozônio, o cumprimento ao Protocolo de Montreal e de Kyoto mostram o caminho para países mais sustentáveis.

Conclui-se que a conscientização, o monitoramento, a busca por soluções alternativas mais voltadas a química verde, o cumprimento do Protocolo de Montreal e do Protocolo de Kyoto apresentam uma força maior para a proteção do planeta quando se tornam uma ação conjunta de ações de órgão como a comunidade, os cientistas, as indústrias e a comunidade internacional de leis, protegendo a camada de ozônio e mantendo o aquecimento global em constante redução.

## REFERÊNCIAS

- BRAGA, C. H. M. Eliminação do R-22, retrofit e novos fluidos refrigerantes com baixo GWP – estudo comparativo com os fluidos refrigerantes R-444B e R-454C. **Handle.net**, 2024.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Clima e Relações Internacionais. Guia Orientativo: gerenciamento e destinação final ambientalmente adequada de resíduos de substâncias que destroem o ozônio (SDOs). – Brasília, DF: MMA, 2022.
- EBENEZER, S. P. Refrigerant Mixtures. *IntechOpen eBooks*, 19 ago. 2021.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA); AGÊNCIA DE COOPERAÇÃO TÉCNICA ALEMÃ (GTZ). **Manual de ajuda para o controle das substâncias que destroem a camada de ozônio (SDOs)**. Brasília, 2009
- JESUS, A. F. S.; BUENO, M. J. C. ESTUDO DE CASO: A LOGÍSTICA REVERSA DE GELADEIRAS E SEUS COMPONENTES. In: *encontro internacional sobre gestão empresarial e meio ambiente*, 19., 2017. Anais do XIX ENGEMA.
- LAGE, E. M., AMORIM, F., & ZANETTE, T. **Uso de fluidos naturais em sistemas de refrigeração e ar-condicionado: artigos técnicos**. Brasília: MMA, 2011.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Ações brasileiras para a proteção da camada de ozônio. Brasília: MMA, 2022. 144 p. **MMA** entrega ao Ibama equipamentos de fiscalização de gases refrigerantes que destroem a camada de ozônio. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/noticias/mma-entrega-ao-ibama-equipamentos-de-fiscalizacao-de-gases-refrigerantes-que-destroem-a-camada-de-ozonio>>. Acesso em: 6 nov. 2024.
- SARMA, K.M; ANDERSEN, S. Science and Diplomacy: Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. p. 123–131, 1 jan. 2011.
- PEIXOTO, R. A. Gases substitutos para as substâncias destruidoras da camada de ozônio (ODS). In: BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**: relatório de referência. Brasília: MCTI, 2020. Projeto BRA/16/G31. Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.
- PEIXOTO, R. A. Produção e consumo de HFCs e SF6. In: BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**: relatórios de referência. Brasília: MCTI, 2015. Setor Processos Industriais.
- REI, F.; FARIAS, V. C. 30 anos do Protocolo de Montreal: Uma história de sucesso do Direito Ambiental Internacional. **Revista Direito e Indústria**, v. 14, n. 3, p. 4684, 2017.
- SANTOS, A. F. et al. A IMPORTÂNCIA DA CONSCIENTIZAÇÃO DOS FLUÍDOS REFRIGERANTES NA REFRIGERAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO E SEU

MANUSEIO. **Engenharias: qualidade, produtividade e inovação tecnológica** 5, p. 156–161, 5 mar. 2024.

SANTOS, E. C. dos. Et al. An Experimental Study of Synthetics and Natural Refrigerants Gases. In T. Morosuk& M. Sultan (Eds.), **Tecnologias de baixa temperatura**. 2020

SCABIN, D. **Gases de Efeito Estufa – GEE**. 2024. Disponível em:  
<<https://semil.sp.gov.br/educacaoambiental/prateleira-ambiental/gases-de-efeito-estufa-gee/>>.

SILVA, D. H. da. Protocolos de Montreal e Kyoto: pontos em comum e diferenças fundamentais. **Revista Brasileira de Política Internacional**, Brasília, v. 52, n. 2, p. 155-172, 2009.

SOUZA, J. F. G de. **Sistemas de refrigeração**: a importância do fluido refrigerante. 2018. 31 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Centro Universitário Anhanguera de São Paulo, São Paulo,2018.

RECIGASES, T. T. **o que significa gwp e odp???**. Recigases,15 Jul. 2020.Disponível em:  
<<https://blog.recigases.com/blog/o-que-significa-gwp-e-odp>>. Acesso em: 5 nov. de 2024.

A preocupante volta do CFC, o gás que provoca o buraco na camada de ozônio. **BBC News Brasil**, 2018.

**Protocolo de Kyoto — Senado Notícias**. Disponível em:  
<<https://www12.senado.leg.br/noticias/entenda-o-assunto/protocolo-de-kyoto>>. Acesso em: 6 de nov. de 2024.

SIMMONDS, P. G. et al. Changing trends and emissions of hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) and their hydrofluorocarbon (HFCs) replacements. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 17, n. 7, p. 4641–4655, 10 abr. 2017.