

15 FLUIDOS REFRIGERANTES

São substâncias empregadas como veículos térmicos na realização dos ciclos de refrigeração. Em ciclos de compressão a vapor, o refrigerante é o fluido de trabalho que alternadamente vaporiza e condensa quando absorve e libera energia térmica. Um refrigerante satisfatório deveria possuir certas propriedades químicas, físicas e termodinâmicas que faz o seu uso seguro e econômico, no entanto, não existe um refrigerante ideal. As largas diferenças entre as condições operacionais e as exigências das várias aplicações fazem com que o refrigerante ideal seja uma meta impossível de se alcançar. Então, um refrigerante só se aproxima das condições ideais somente quando suas propriedades satisfazem as condições e exigências de uma determinada aplicação.

São características desejáveis dos refrigerantes:

O refrigerante deve ser não inflamável, não explosivo, não tóxico em seu estado puro ou quando misturado com o ar e também, não deve contaminar alimentos ou outros produtos armazenados no espaço refrigerado se ocorrer um vazamento no sistema.

As pressões correspondentes às temperaturas disponíveis com os meios de condensação normais não devem ser excessivas, para assim eliminar a necessidade de construção extremamente pesada.

As pressões correspondentes às temperaturas necessárias para maior parte dos processos de condicionamento de ar e refrigeração devem ser acima da pressão atmosférica para assim evitar penetração de ar e vapor d' água.

Um calor de vaporização relativamente grande é desejável para que as capacidades necessárias possam ser obtidas com o menor peso do fluxo de refrigerante.

O vapor deve ter um volume específico relativamente baixo, porque é este volume que estabelece a dimensão necessária ou deslocamento do compressor. Esta propriedade é mais importante para o compressor alternativo do que para a máquina centrífuga a qual é uma bomba de baixa pressão e grande volume.

É desejável que o refrigerante tenha um baixo calor específico no estado líquido para que menos calor seja necessário para esfriar o líquido partindo da temperatura de condensação até a temperatura a qual o resfriamento deve ser realizado. O calor necessário para este resfriamento resulta em "Flash Gás", e diminui o efeito de refrigeração ou capacidade de resfriamento do refrigerante circulado.

Os coeficientes de transferência de calor e a viscosidade devem contribuir para boas proporções de transferência de calor.

O refrigerante deve ser facilmente detectado por indicadores adequados para localizar vazamentos no sistema.

O refrigerante deve ser compatível com os óleos lubrificantes usuais, e não devem alterar sua efetividade com lubrificantes.

O refrigerante não deve ser corrosivo para os metais usualmente empregados em um sistema de refrigeração e devem ser quimicamente estáveis.

O refrigerante deve ser facilmente disponível, de custo baixo, ambientalmente seguro, não contribuir para a destruição da camada de ozônio ou para aumentar o efeito estufa e ser de fácil manuseio.

A *American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers*, (ASHRAE) lista mais de 100 refrigerantes, com as designações

numéricas deles, fórmulas químicas, diagramas ph, propriedades termodinâmicas e outras características nos livros *Fundamentals e Refrigeration* (ASHRAE). Os técnicos, engenheiros e outros profissionais da área de refrigeração devem se manter sempre atualizados com as pesquisas que estão sendo desenvolvidas na indústria de refrigerante, em virtude de projetos de pesquisa serem continuamente patrocinados pelas organizações da indústria de refrigeração para melhorar os refrigerantes, equipamentos e técnicas de projeto disponíveis para refrigeração, ar condicionado e aplicações em bomba de calor.

Os refrigerantes mais utilizados na indústria podem ser classificados nos seguintes grupos:

- Hidrocarbonetos halogenados
- Hidrocarbonetos puros
- Compostos inorgânicos
- Misturas azeotrópicas
- Misturas não azeotrópicas

HIDROCARBONETOS HALOGENADOS: São hidrocarbonetos que contêm, na sua composição, um ou mais dos seguintes halogênios: Cl, F, Br. O hidrogênio pode ou não aparecer.

As designações numéricas destes hidrocarbonetos são:

1º. algarismo, nº. de átomos de C-1 (se for nulo, omite-se)

2º. algarismo, nº. de átomos de H+1

3º. algarismo, nº. de átomos de F

Como por exemplo:

CCl_3F - Tricloromonofluormetano, R-11 (CFC-11)

CHClF_2 - Monoclorodifluormetano, R-22 (HCFC-22)

CHF_2CHF_2 - Tetrafluoretano, R-134 (HFC-134)

$\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$ - Tetrafluoretano, R-134a (HFC-134a)

CBrF_3 - Bromotrifluormetano, R-13B1 (B1 indica o nº. de átomos de Br)

Os isômeros são distinguidos por um critério de simetria, baseado nas massas atômicas dos átomos ligados a cada átomo de carbono.

HIDROCARBONETOS PUROS: Seguem a mesma regra de designação dos hidrocarbonetos halogenados (até o número 300), são adequados especialmente para operar em indústrias de petróleo e petroquímica, como por exemplo:

CH_4 - Metano, R-50 (HC-50).

CH_3CH_3 - Etano, R-170 (HC-170).

$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$ - Propano, R-290 (HC-290).

$\text{CH}(\text{CH}_3)_3$ - Isobutano, R-600a (HC-600a).

COMPOSTOS INORGÂNICOS: Estes compostos são designados com, 700 + peso molecular, como por exemplo:

NH_3 - Amônia, R-717.

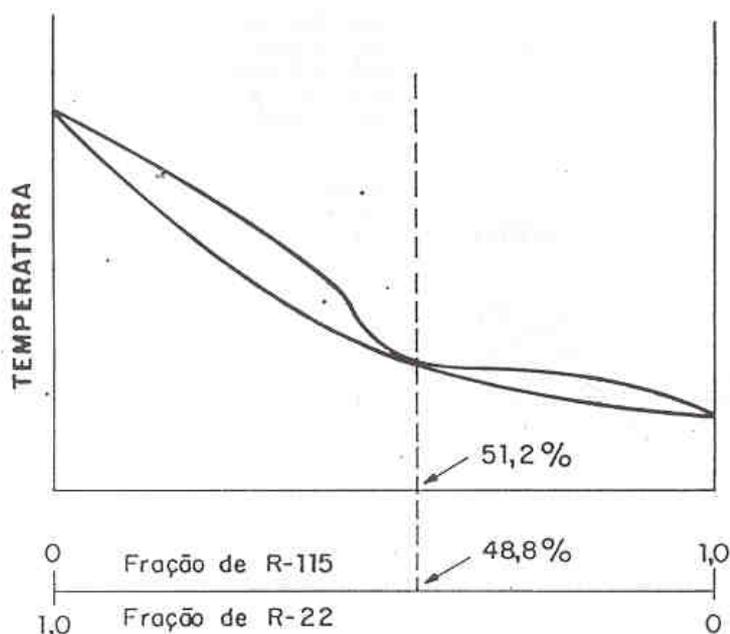
CO_2 - Dióxido de carbono, R-744.

SO_2 - Dióxido de enxofre, R-764.

MISTURAS AZEOTRÓPICAS: Uma mistura azeotrópica de duas substâncias é aquela que não pode ser separada em seus componentes por destilação. Um azeotropo evapora e condensa como uma substância simples com propriedades

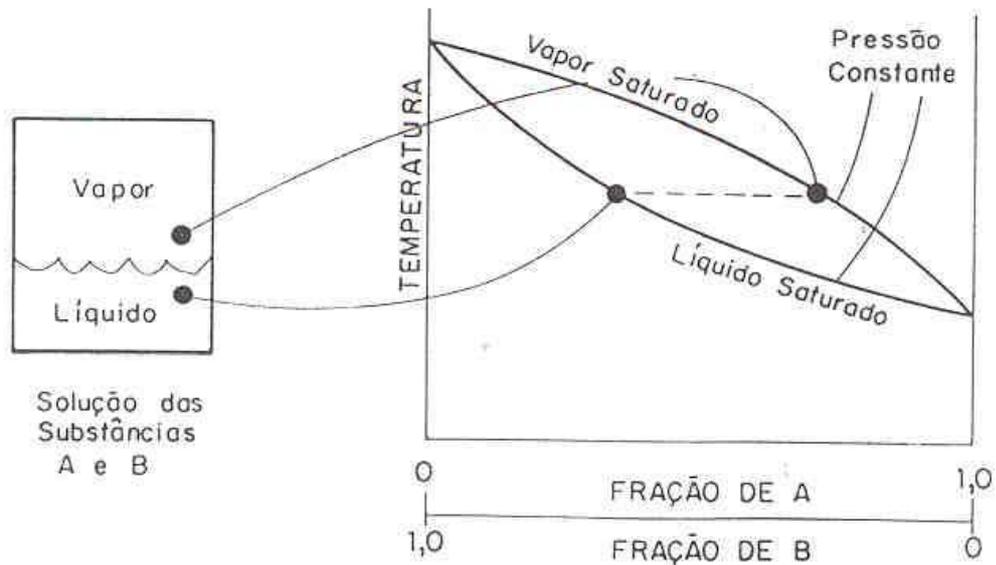
diferentes das de cada um de seus constituintes. Uma mistura azeotrópica apresenta um diagrama de equilíbrio em que as linhas de líquido e vapor saturado se tangenciam em um ponto, condição para qual a mistura se comporta como se fosse uma substância pura de propriedades distintas daquelas dos constituintes, como pode ser observado na (fig. 159) para o R-502 (48,8%, R-22 + 51,2%, R-115).

FIGURA 159 - DIAGRAMA DE EQUILÍBRIO DO REFRIGERANTE, R-502



MISTURAS NÃO AZEOTRÓPICAS: São misturas de refrigerantes que se comportam como uma mistura binária, a concentração da fase vapor é distinta da fase líquido quando ambas ocorrem em equilíbrio, a uma dada pressão e temperatura, como indicado no diagrama de equilíbrio (pressão, temperatura, concentração) da (fig. 140).

FIGURA 140 - DIAGRAMA DE EQUILÍBRIO DE UMA MISTURA NÃO AZEOTRÓPICA DE DOIS COMPONENTES A E B



15.1 ASPECTOS CARACTERÍSTICOS DOS REFRIGERANTES

TOXICIDADE: Excluindo o ar, todos os refrigerantes podem causar sufocações se eles estiverem presentes em quantidade suficiente para criar deficiência de oxigenação, porém alguns são realmente prejudiciais mesmo quando estão presentes em pequenas percentagens.

TOXIDADE:

R-11, R-12, R-22, R-170, R-718, Não.

R-30, R-40, R-717, R-764, Sim.

MISCIBILIDADE: A habilidade do refrigerante se misturar com o óleo tem vantagens como fácil lubrificação das partes dos sistemas e relativa facilidade do óleo voltar ao compressor e desvantagens como diluição do óleo no compressor, pobre transferência de calor e problemas de controle.

MISCIBILIDADE DO ÓLEO:

- R-11, R-12, R-22, R-30, R-40, R-170, Sim;

- R-717, R-718, R-764, Não.

TENDÊNCIA A FUGAS: Aumenta de modo diretamente proporcional à pressão e inversamente proporcional ao peso molecular. O peso molecular está relacionado diretamente com o volume específico do vapor, quanto maior é o peso molecular maior é o volume específico. Ex: R-717, peso mol. 17,0; R-22, peso mol. 86,5 (menor tendência a fugas).

ODOR: Sob o ponto de vista de constatação de vazamento, um leve odor pode ser vantajoso, uma vez que uma pequena fuga de refrigerante pode ser detectada e corrigida imediatamente antes que todo o refrigerante se perca ou que haja qualquer dano físico. Os freons são praticamente inodoros, O R-717 e o R-764A tem cheiro forte.

UMIDADE: Embora todos os refrigerantes absorvam umidade em quantidades variáveis, esta deve ser retirada do sistema de refrigeração. A água, quando existente, tem dois efeitos perniciosos: Um é a água não absorvida pelo refrigerante (água livre) que congela nos pontos onde $t < 0^{\circ}\text{C}$, isto obstruirá os dispositivos medidores, resultando um bloqueamento do sistema. O segundo é a formação de ácidos corrosivos motivados por reações químicas. Estes ácidos causarão lama, cobreamento e deterioração, dentro do sistema de refrigeração. Os motores dos compressores herméticos podem ser curto-circuitados como resultados de formações ácidas.

DETECÇÃO DE VAZAMENTOS: Há muitos métodos de detecção de fugas, ou vazamentos, porém os mais comuns são:

- teste por imersão;
- teste por bolhas de sabão;
- teste de fugas hálide (Para hidrocarbonetos halogenados);
- teste com detector eletrônico (Para hidrocarbonetos halogenados).

INFLAMABILIDADE: Os refrigerantes variam extremamente nas suas possibilidades de queimar ou favorecer a combustão:

FLAMABILIDADE OU EXPLOSIVIDADE:

R-11, R-12, R-22, R-30, R-718, R-764, Não Inflamáveis.

R-40 8,1 - 17,2

R-170 3,3 - 10,6

R-717 16,0 - 25,0

15.2 DESENVOLVIMENTO E CARACTERÍSTICAS DOS REFRIGERANTES

Saúde, segurança, meio ambiente e preocupações com a conservação de energia continuam motivando a indústria da refrigeração para melhorar e desenvolver refrigerantes novos.

Inicialmente, a refrigeração mecânica era limitada a algumas aplicações com amônia, dióxido de enxofre e cloreto de metila que eram os únicos refrigerantes disponíveis, todos altamente tóxicos. Com o desenvolvimento de pequenas unidades domésticas e comerciais, automáticas, os refrigerantes dióxido de enxofre e cloreto de metila entraram em uso. O cloreto de metila foi desenvolvido para uso em compressores centrífugos. Com exceção da amônia, todos estes refrigerantes foram substituídos pelos HIDROCARBONETOS HALOGENADOS, sintetizados a partir dos hidrocarbonetos da série metano e etano que, devido às suas excepcionais qualidades, constituem modernamente os refrigerantes para a maior parte das instalações de refrigeração.

Os refrigerantes halogênicos são os mais largamente usados. São inodoros em concentrações até 20% por volume no ar. Em concentrações acima desta, resulta um odor suave como éter. Vapores destes refrigerantes são substancialmente inodoros e não irritantes.

Os refrigerantes halógenos desta série são essencialmente não tóxicos. Seus vapores e líquidos são ininflamáveis e não combustíveis porque eles não contêm elementos que alimentam a combustão. Eles não corroem os metais comumente usados em equipamentos de refrigeração desde que os refrigerantes sejam secos ou livres de vapor d'água. Na presença de vapor d'água estes refrigerantes podem ser totalmente corrosivos.

Eles têm uma alta ação solvente sobre a borracha natural, mas materiais de borracha sintética podem ser usados satisfatoriamente.

Tanto na forma líquida como na de vapor, eles não têm efeito no odor, gosto, cor ou estrutura de materiais refrigerados tais como laticínios, carnes, vegetais, vida de plantas ou peles e tecidos.

Os hidrocarbonetos permanecem como os únicos refrigerantes na atualidade em extenso uso. A amônia ainda é usada amplamente em plantas de gelo, pistas de patinação e aplicações de armazenamento de frio, devido suas excelentes propriedades térmicas. Alguns outros refrigerantes também encontram uso limitado em aplicações especiais.

Em 1974, Molina e Rowland, pesquisadores do Departamento de Química da Universidade da Califórnia, apresentaram uma teoria de que os CFC's estariam destruindo a camada de ozônio.

Por sua grande estabilidade química, os CFC's conseguem chegar na estratosfera intactos, sem modificar a sua molécula. Nessa altura, a forte radiação solar existente quebra a molécula de CFC, e o átomo de cloro se desprende, o que permite que ele reaja com o ozônio. Cada átomo de cloro poderia destruir cerca de 100.000 moléculas de ozônio antes de ficar inativo, retornando eventualmente à troposfera, onde as chuvas e outros processos o removeriam da atmosfera.

Segundo essa teoria, os CFC's permanecem na atmosfera por longo período, de 40 a 150 anos.

Após vários anos de negociação, paralelamente a um intenso debate científico, foi possível firmar, em setembro de 1987, em Montreal (Canadá), um acordo entre vários países, com o objetivo de proteger a camada de ozônio. Inicialmente com 24 países participantes, o acordo chamado PROTOCOLO DE MONTREAL, definiu prazos para a redução da produção e consumo de substâncias prejudiciais à camada de ozônio.

Atualmente constam do Protocolo todas as substâncias com reconhecido Potencial de Destruição da Camada de Ozônio (cuja sigla em inglês é ODP). O ODP não é o mesmo para todas as substâncias, pois algumas são mais agressivas e outras menos. Por esse motivo, os prazos para redução de produção e consumo destas substâncias são diferentes.

Com o Protocolo de Montreal, as restrições ao uso dos CFC's serão cada vez maiores. Os preços destes produtos, à medida que a produção for diminuindo, serão cada vez maiores. Mesmo a importação não será mais viável.

Tendo o Brasil assinado o Protocolo de Montreal, comprometendo-se, portanto a cumprir com os prazos de redução estabelecidos, fica obrigado a buscar alternativas ao uso do CFC, bem como controlar a sua emissão.

Um alternativo aos CFC's, deve ser isento de cloro, conseqüentemente seu ODP seria igual a zero. Parcialmente halogenado (contendo hidrogênio) para diminuir o tempo de permanência do gás na atmosfera. Mínimo potencial de efeito estufa (GWP), (tab. 20).

TABELA 20 - TEMPO DE RESIDÊNCIA NA ATMOSFERA PARA ALGUNS REFRIGERANTES, ODP (OZONE DEPLETING POTENTIAL) E GWP (GLOBAL WARMING POTENTIAL)

Refrigerante	Tempo de vida (anos)	ODP	GWP
CFC-11	60	1,00	1,00
CFC-12	120	1,00	3,00
CFC-113	90	0,80	1,40
CFC-114	200	0,70	3,90
CFC-115	400	0,40	7,50
HCFC-22	15	0,05	0,34
HCFC-123	2	0,02	0,02
HCFC-124	7	0,02	0,10
HCFC-141b	8	0,10	0,09
HCFC-142b	19	0,06	0,36
HFC-125	28	0,00	0,58
HFC-134a	16	0,00	0,26
HFC-143a	41	0,00	0,74
HFC-152a	2	0,00	0,03

Em geral, os fluidos refrigerantes alternativos não podem simplesmente ser carregados em um sistema destinado ao uso de CFC's. Dependendo das características específicas da máquina, é possível que os materiais precisem ser substituídos e que o compressor, em muitos casos, precise ser modificado. Quando se converte, por exemplo, um chiller de CFC para HFC-134a, é necessário substituir o lubrificante. Os registros de manutenção devem conter quaisquer modificações que tenham sido feitas nos componentes originais do sistema. Além disso, o fabricante do equipamento deve ser consultado sobre a compatibilidade das peças do sistema com o novo fluido refrigerante.

Há mais de 100 compostos que têm propriedades refrigerantes que os fazem candidatos para uso em sistemas de refrigeração. Destes, menos de uma dúzia são freqüentemente usados na maioria das aplicações. A seguir descrevem-se as propriedades e características de alguns refrigerantes usados em sistemas de refrigeração.

R-11 (TRICLOROMONOFUORMETANO): É um CFC da série do metano. As baixas pressões operacionais do R-11 e seu significativo volume específico requerem um deslocamento do compressor maior por tonelada de efeito de refrigeração (1,0 m³/min). O R-11 é principalmente usado em sistemas de ar

condicionado grandes, na gama de 150 a 2000 TR (527 a 7034 kW) de capacidade e em resfriamento de água e salmoura de processamento industrial. Também como refrigerante secundário ou fluido transferidor de calor, quando são importantes o baixo ponto de congelamento e propriedades não corrosivas.

O R-11 têm um dos mais altos potenciais de destruição da camada dos CFC's. Está sendo substituído pelo R-123 que é um refrigerante melhor para o meio ambiente.

R-123 (2,2-DICLORO-1,1,1-TRIFLUORMETANO): É um HCFC da série do metano usado como um substituto do R-11. Para o retrofit de equipamentos que operam com R-11 para uso com R-123 podem envolver a substituição de alguns componentes do sistema.

R-12 (DICLORODIFLUORMETANO): Foi um dos refrigerantes mais amplamente utilizado no ciclo de compressão a vapor. Amplo campo de aplicação, desde grandes sistemas de refrigeração e ar condicionado até refrigeradores caseiros, inclusive gabinetes para alimentos congelados e sorvetes; estabelecimentos de depósito de gêneros alimentícios; refrigeradores de água; condicionadores de ar de ambientes ou de janelas e outros. Infelizmente, como o R-11, o R-12 têm um alto potencial de destruição da camada de ozônio. Por conseguinte, deve ser substituído por outros refrigerantes como determinou o Protocolo de Montreal.

R-134 (1,1,1,2-DICLORODIFLUORMETANO): O R-134a é um dos principais candidatos para substituir o refrigerante R-12 em muitas de suas aplicações. O R-134a é não inflamável e não explosivo, HFC que tem potencial zero de destruição da camada de ozônio e um baixo efeito estufa. Quanto à toxicidade e aspectos ambientais nos testes realizados, não foram perceptíveis indicações sobre teratogenicidade, mutagenidade e cancerogenicidade.

Devido à ausência de átomos de cloro na molécula do R-134a, este alternativo oferece excelente estabilidade química e térmica, sendo até melhor que o R-12. Isto foi comprovado em diversos testes.

O R-134a é compatível com todos os metais e ligas normalmente usados anteriormente com os CFC's devendo-se evitar o uso de Zinco, Magnésio, Chumbo e Alumínio com mais de 2 % de Magnésio, o que já era válido para os CFC's.

O R-134a apresenta boa compatibilidade com os elastômeros. Contudo as borrachas fluoradas dos tipos FKM ou FPM (Viton) não são recomendadas. Devido à existência de diversos tipos de borracha deve ser analisado caso por caso. Também neste caso deve ser avaliada a compatibilidade do óleo lubrificante com os materiais utilizados.

O R-134a e os óleos minerais ou alquilbenzenos utilizados com os atuais refrigerantes R-12 e R-22 não são miscíveis.

Os lubrificantes que apresentaram melhor miscibilidade foram compostos sintéticos com maior polaridade. Inicialmente os Poli Alquileno Glicóis (PAG's), que com viscosidades menores que 30 cSt à 40°C, são quase totalmente miscíveis entre - 40 a 80°C.

Porém o uso acabou sendo limitado devido ser altamente higroscópico e apresentar alguns problemas de compatibilidade, por exemplo, com resíduos de cloro. Não são adequados para utilização em compressores herméticos.

Os óleos lubrificantes a base de Poliol Éster (POE's) apresentaram melhores resultados em compressores herméticos e são menos higroscópicos que os PAG's.

Na conversão de equipamentos com CFC's, a unidade deve ser cuidadosamente limpa para minimizar resíduos de refrigerante clorado (CFC), e óleo mineral que sempre contem uma parcela do refrigerante clorado dissolvido, também não devem ser utilizados solventes clorados utilizados para limpeza.

Apesar das excelentes propriedades ecológicas dos refrigerantes isentos de cloro e contendo hidrogênio, estes não podem ser considerados totalmente inofensivos, por apresentarem um potencial de efeito estufa, mesmo que muito baixo, portanto não deve ser liberado para a atmosfera, levando-se em consideração que também existe uma grande quantidade de refrigerante totalmente halogenado, nos equipamentos de refrigeração, a reciclagem é o melhor caminho para se minimizar o efeito estufa.

R-13 (CLOROTRIFLUORMETANO): Foi desenvolvido para aplicações em baixas temperaturas, cerca de -90°C é usualmente encontrado no estágio de baixa temperatura de um sistema em cascata de dois e três estágios. O refrigerante, R-13 é outro CFC que está sujeito à substituição.

R-22 (MONOCLORODIFLUORMETANO): Foi desenvolvido inicialmente para aplicações em compressores alternativos de simples estágio abaixo de -30°C .

Empregado principalmente em condicionamento de ar residencial e comercial, mas é também amplamente usado em fábricas de produtos alimentícios congelados, armazenagem de gêneros alimentícios congelados, balcões frigoríficos com vitrinas e em outras aplicações de média e baixas temperaturas.

A principal vantagem do R-22 sobre o R-12 é o deslocamento menor requerido pelo compressor, sendo aproximadamente 60% daquele requerido pelo R-12. Por isso, para um deslocamento de compressor dado, a capacidade de refrigeração é aproximadamente 60% superior à do refrigerante R-22 em relação o refrigerante R-12. Também as dimensões da tubulação de refrigerante geralmente são menores para o R-22 do que para o R-12.

O refrigerante R-22 é um HCFC que também deve ser substituído. Alguns dos refrigerantes que são usados como substituto para R-22 são o R-502, R-134a e R-507a. O R-507a é uma mistura azeotrópica que consiste de R-125 (50%) e R-134a (50% por massa).

R-113 (1,1,2-TRICLORO-1,1,2,2-TRIFLUORETANO): É usado principalmente em aplicações de sistemas de ar condicionado de tamanhos pequeno a médio e resfriamento industrial. O R-113 é um CFC e está prevista a sua substituição.

R-114 (1,2-DICLORO-1,1,2,2-TETRAFLUORETANO): Seu principal uso, é em grandes sistemas de resfriamento e refrigeração, para processamento industrial. Também é usado em refrigeradores domésticos com compressores rotativos. O refrigerante R-114 é um CFC e deve ser substituído por um novo refrigerante.

R-500 (R-12/R-152A): É uma mistura azeotrópica de R-12 (73,8% por massa) e R-152a (25,2%). A principal vantagem do refrigerante R-500 reside no fato de que sua substituição pelo R-12 resulta em uma elevação da capacidade do compressor

de aproximadamente 18%. Usado, até certo ponto, em pequenos equipamentos de ar condicionado comercial e residencial e em refrigeração doméstica; especialmente em áreas onde é comum haver corrente de 50 ciclos.

Considerando que o refrigerante R-500 é uma mistura de um refrigerante CFC e de um refrigerante HCFC, o R-500 também deverá estar fora de uso dentro da primeira metade deste século.

R-502 (R-22/R-115): É uma mistura azeotrópica de R-22 (48,8% por massa) e R-115 (51,2%). Ele foi desenvolvido inicialmente para uso em aplicações de refrigerantes em estágio único e baixas temperaturas no processo de congelamento e armazenagem de alimentos congelados. Ele tem a vantagem de maiores capacidades do que o R-22, enquanto que as temperaturas de descarga do compressor são consideravelmente mais baixas do que aquelas do R-22. Em compressores herméticos refrigerados pelo refrigerante, o resfriamento do motor é melhor do que o obtido com R-22. O R-502 é usado em balcões frigoríficos e depósitos de alimentos congelados e sorvetes, fábricas de produtos alimentícios congelados e como excelente refrigerante não-específico. Também usado em balcões frigoríficos de temperatura média, caminhões frigoríficos e bombas térmicas.

Em equipamentos novos os prováveis substitutos para o R-502 são o R-22 e R-125 e para equipamentos existentes, freqüentemente são usados os refrigerantes R402-a e R402-b como substitutos.

R-503 (R-23/R-13): É uma mistura azeotrópica de R-23 (40,1% por massa) e R-13 (59,9%). O R-503 é usado em compressores alternados no estágio de baixa em sistemas em cascata, com R-12, R-22 ou R-502 sendo empregados no estágio de alta. O R-503 tem um ponto de ebulição mais baixo e capacidade maior que o R-13, é comparável ao etileno, com a vantagem de não ser inflamável. Como o R-503 é composto por um CFC e um HCFC, deve também ser substituído por outro refrigerante.

R-717 (AMÔNIA): É um dos primeiros refrigerantes. É usado no campo industrial, em cervejarias, plantas de empacotamento e aplicações similares por causa da alta eficiência do ciclo. Ele tem um baixo volume específico, um calor latente de vaporização relativamente alto e baixo custo, apesar destas propriedades desejáveis é limitada a aplicações industriais e excluída do condicionamento de ar para conforto por ser altamente tóxica e inflamável, necessitando manejo especial e possui um odor forte e penetrante, porém cabe ressaltarmos que com o questionamento dos CFC's decorrentes do efeito sobre a camada de ozônio, reacende a polêmica sobre a viabilidade de utilização da amônia em aplicações frigoríficas e o potencial da amônia reside em aplicações de refrigeração indireta, onde o circuito frigorífico fica confinado em casa de máquinas, cuja ventilação deve ser cuidadosamente planejada. A utilização de trocadores de calor compactos pode reduzir significativamente o inventário de refrigerante no circuito frigorífico, favorecendo também a aplicação da amônia como refrigerante.

R-718 (ÁGUA): A água tem diversas propriedades desejáveis de um refrigerante. Tem baixo custo e está prontamente disponível, é totalmente segura, sendo não tóxica e não inflamável e tem também um grande calor latente de vaporização.

Embora a água seja usada como refrigerante em “jato de vapor” e em máquinas de refrigeração por absorção, ela não é um refrigerante prático para um ciclo de refrigeração mecânico.

Ela é limitada pela temperatura a um mínimo de 0°C, pois abaixo disto ela congela. Para obter água suficientemente fria, como por exemplo, para a maioria das aplicações de condicionamento do ar iria requerer operação a pressões extremamente baixas ou alto vácuo, que é difícil de obter com equipamento alternativo. Além disso, o volume específico do vapor é grande para as baixas pressões requeridas, e estes volumes são impraticáveis com equipamentos alternativos e bombas centrífugas, que são incapazes de manter o vácuo necessário.

Portanto, é desejável utilizar outros fluidos cujas características e propriedades gerais os fazem mais práticos para este propósito particular.

R-744 (DIÓXIDO CARBÔNICO): É um gás inerte, incolor e inodoro. Não é tóxico nem inflamável, mas a principal objeção para seu uso é o pesado equipamento requerido por suas altas pressões de operação e sua necessidade de potências relativamente altas. Estes fatores limitam seu uso como refrigerante.

R-40 (CLORETO DE METILO): É um refrigerante incolor, com odor não irritante e levemente doce. Foi usado nos modelos de refrigeradores domésticos mais antigos e substitui Amônia e o Anidrido Carbônico em muitas novas instalações.

Foi usado largamente durante a Segunda Guerra Mundial como um substituto do Freon, o qual era então disponível somente através de prioridades governamentais, mas no presente, é raramente usado.

COMPOSTOS HIDROCARBONADOS: São um grupo de fluidos compostos em várias proporções dos dois elementos hidrogênio e carbono: R-50 (metano), R-170 (etano), R-600 (butano), R-600a (isobutano), R-1270 (propano). Todos são extremamente combustíveis e explosivos.

Embora alguns compostos de hidrocarbonados (butano, propano e isobutano) tenham sido usados em pequenas quantidades para refrigeração doméstica, seu uso geralmente é limitado a aplicações especiais onde um operador experiente está em serviço. O etano, metano e etileno são empregados em alguma extensão para aplicações de baixa temperatura, geralmente no estágio mais baixo de sistemas em cascata de dois ou três estágios.

REFRIGERANTES SECUNDÁRIOS: São fluidos que transferem energia da substância que está sendo resfriada para o evaporador de um sistema de refrigeração. O refrigerante secundário sofre uma variação na temperatura quando absorve calor e o libera no evaporador, não apresentando nenhuma mudança de fase neste processo. Em termos técnicos, a água poderia ser um refrigerante secundário, mas as substâncias a serem aqui exploradas são as salmouras e anticongelantes mais largamente usados são soluções de água e etileno glicol, propileno glicol, ou cloreto de cálcio. O propileno glicol tem a característica singular de ser inócuo em contato com alimentos.

Uma das propriedades mais importantes de soluções anticongelantes é o ponto de solidificação, mostrado na (fig. 141). Os pontos de solidificação formam o diagrama de fase clássico mostrado de forma esquemática na (fig. 142).

FIGURA 141 - PONTO DE SOLIDIFICAÇÃO DE SOLUÇÕES DE ETILENO GLICOL

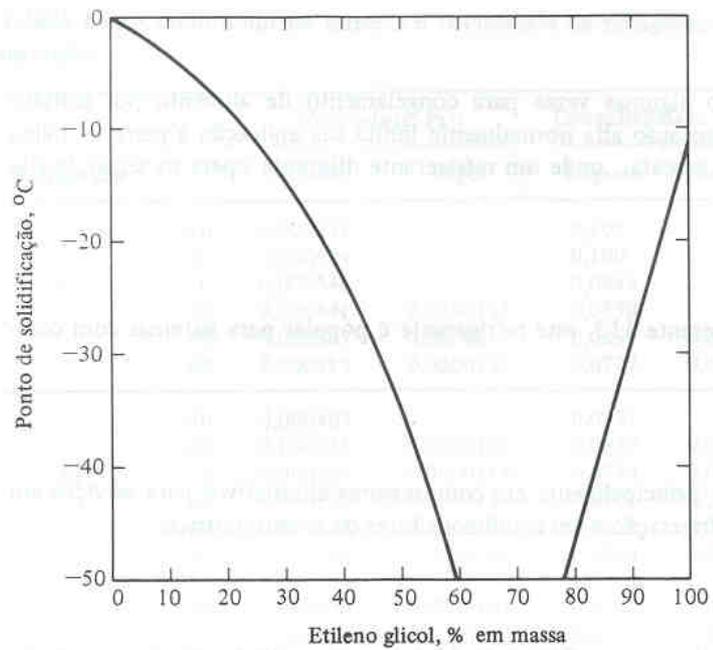
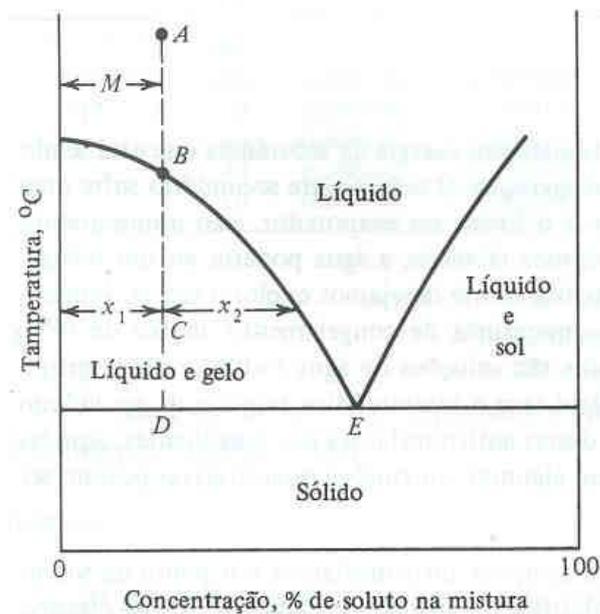


FIGURA 142 - DIAGRAMA DE FASE DE UM ANTICONGELANTE



Para todos os anticongelantes a adição do anticongelante na água tem um efeito adverso sobre a perda de carga e a transferência de calor. Os anticongelantes de alta concentração têm alta viscosidade, baixa condutibilidade térmica, baixo calor específico, todos os fatores prejudiciais. Uma boa regra de operação, portanto, é a de concentrar o anticongelante não mais do que o necessário para evitar o seu congelamento.

15.3 DESEMPENHO DOS REFRIGERANTES NO CICLO

O desempenho de um ciclo real depende de diversas propriedades características do refrigerante. A (tab. 21) apresentam alguns parâmetros de desempenho do ciclo frigorífico que evidenciam o efeito do refrigerante e podem servir como balisamento na sua seleção.

TABELA 21 - DESEMPENHO DE ALGUNS REFRIGERANTES INDUSTRIAIS

Refrig.	t_v	p_e	p_c	v	ER	m	R	t_d	Wcp	COP
R-11	23,8	20,2	126,0	0,760	156,3	1,400	6,24	43,3	700,5	5,02
R-123	27,8	15,8	109,6	0,880	142,4	1,500	6,94	34,4	726,6	4,84
R-12	-29,8	182,7	744,6	0,094	117,0	1,800	4,07	37,8	740,0	4,75
R-134a	-26,1	164,1	769,5	0,195	150,7	1,400	4,69	42,2	798,2	4,41
R-13	-81,4	153,7	732,7	0,100	107,4	2,000	4,77	40,6	900,0	4,10
R-22	-40,8	296,2	1192,1	0,077	162,6	1,300	4,02	53,3	753,5	4,67
R-113	47,6	6,9	54,4	1,640	121,8	1,700	7,83	30,0	828,1	4,27
R-114	3,8	46,9	251,7	0,270	100,0	2,100	5,41	30,0	760,9	4,65
R-500	-33,5	214,4	879,1		141,4	1,500	4,10	43,3	752,2	4,67
R-502	-45,4	348,9	1319,0	0,050	104,4	2,000	3,78	36,7	798,2	4,40
R-503	-45,4	1829	1319,0	0,010	53,4	3,900	2,38	36,7	1360,0	2,60
R-717	-33,28	237,0	1167,0	0,510	1102	0,191	4,94	98,9	737,8	4,77
R-718	-20,8	0,165	4,2462	720,6	2347	0,191	25,73			

onde, na (tab. 21)

- t_v temperatura de vaporização ao nível do mar, °C
 p_e pressão saturada de evaporação para -15°C , kPa
 p_c pressão saturada de condensação para 30°C , kPa
 v volume específico do vapor na sucção, m^3/kg
ER efeito de refrigeração, kJ/kg
m vazão mássica de refrigerante, kg/min
R taxa de compressão, p_c/p_e
 t_d temperatura na descarga do compressor, °C
 W_{cp} potência consumida, kW
COP coeficiente de performance