

1. Introdução

Desde a metade da década passada uma nova classe de fluidos de transferência de calor tem sido motivo de pesquisa, os denominados nanofluidos (Choi, 1995). No presente trabalho estudaram-se, mediante a simulação numérica, as vantagens obtidas com nanofluidos ao serem utilizados como fluidos secundários em sistemas de refrigeração por compressão de vapor, quando comparados aos fluidos de troca de calor convencionais.

Chama-se nanofluido uma suspensão de nanopartículas em um fluido-base. O conceito de nanofluido emerge, portanto, do campo da Nanotecnologia (Witharama, 2003). A Nanotecnologia é a ciência que trata da criação de novos materiais, dispositivos e sistemas em um nível molecular, melhorando significativamente as propriedades mecânicas, ópticas, químicas ou elétricas dos materiais (Chong, 2002).

Os nanofluidos são fluidos de transferência de calor obtidos da suspensão de partículas de tamanho nanométrico (com comprimentos entre 1 a 100 nm) em fluidos convencionais de transferência de calor, usualmente líquidos (Yu et al., 2007). Estes líquidos têm mostrado capacidade de troca de calor significativamente superior à dos fluidos convencionais (devido, entre outras possíveis razões, à maior ordem de grandeza da condutividade térmica dos sólidos utilizados, quando comparada à dos líquidos, como pode ser observado na tabela 1).

Um aumento de até 20% na condutividade térmica efetiva foi registrado quando 5% em volume de nanopartículas de CuO foram adicionadas à água (Eastman et al., 1999).

Os mesmos autores constataram um aumento de quase 40% na condutividade térmica efetiva para um nanofluido composto de etileno glicol e aproximadamente 0,3%

em volume de nanopartículas de cobre com um diâmetro médio menor que 10nm, quando comparado ao etileno glicol puro.

Tabela 1 – Condutividade térmica de vários materiais sólidos e líquidos (Fonseca, 2007).

	Material	Condutividade Térmica (W/m-K)
Sólidos Metálicos	Prata	429
	Cobre	401
	Alumínio	237
Sólidos não-Metálicos	Silício	148
	Alumina (Al ₂ O ₃)	40
Líquidos Metálicos	Sódio @644K	72,3
Líquidos Não-Metálicos	Água	0,613
	Etileno Glicol	0,253
	Óleo	0,145
	Outras soluções aquosas	0,6-0,4

1.1. Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo estudar, mediante simulação numérica em regime permanente, as possíveis vantagens da utilização de nanofluidos como fluidos secundários em sistemas de refrigeração por compressão de vapor, do tipo líquido – água, fluidos como etileno glicol, carbonato de potássio, metil álcool, entre outros, que são utilizados como fluidos secundários em sistemas indiretos de refrigeração, Melinder, (2007)

Para atingir este objetivo foram necessárias as seguintes ações:

1. A modelagem do ciclo de compressão de vapor, a partir dos dados característicos dos componentes e das condições de operação;
2. A modelagem dos coeficientes de troca de calor e da queda de pressão do nanofluido como fluido secundário;

3. A determinação das condições de troca de calor e da queda de pressão no lado do refrigerante por meio de correlações adequadas;
4. A utilização de correlações disponíveis na literatura para determinar as propriedades termofísicas dos nanofluidos;
5. A modelagem dos processos físicos reinantes em cada componente do sistema de refrigeração e no sistema como um todo.

1.2. Justificativa

A concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera tem aumentado a taxas não observadas até então nos últimos milhões de anos (IPCC, 2005). As conseqüências previstas são devastadoras e algumas delas já estão sendo vivenciadas (Shende, 2007).

Desde a época da revolução industrial a atividade humana produziu 300 Giga toneladas de dióxido de carbono. Nos próximos 25 anos, outras 300 Giga toneladas serão emitidas (IPCC, 2005). Muito antes de finalizar este século, a concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera alcançará o nível de 550 ppm, duas vezes o nível pré-revolução industrial. Isto significa uma liberação total de 1200 Giga toneladas de dióxido de carbono desde a revolução industrial até os dias de hoje (IPCC, 2005).

Afortunadamente, experiências recentes mostram que mobilizações em nível mundial como, por exemplo, o Protocolo de Montreal que deteve o esgotamento da camada de ozônio, podem resultar em ações de sucesso.

Nos últimos quinze anos a indústria da refrigeração e de condicionamento de ar sofreu, pelo menos, sete mudanças tecnológicas, a saber: detecção de vazamentos, contenção de refrigerantes, melhores práticas, recuperação, reciclagem e a redução e substituição de refrigerantes (Shende, 2007). Isto ajudou a se atingir uma melhor “eficiência ambiental” mediante a utilização de sistemas e componentes menos impactantes ao meio ambiente, o que demonstra os esforços deste setor na busca de soluções mais sustentáveis (Shende, 2007).

O Grupo Intergovernamental de Especialistas sobre a Mudança Climática (IPCC), no ano 2005, desenvolveu um estudo que, entre outras coisas, analisou a distribuição de emissões diretas por sector dos gases de efeito estufa em cada setor da refrigeração para o ano 2015 como é mostrado na figura 1.

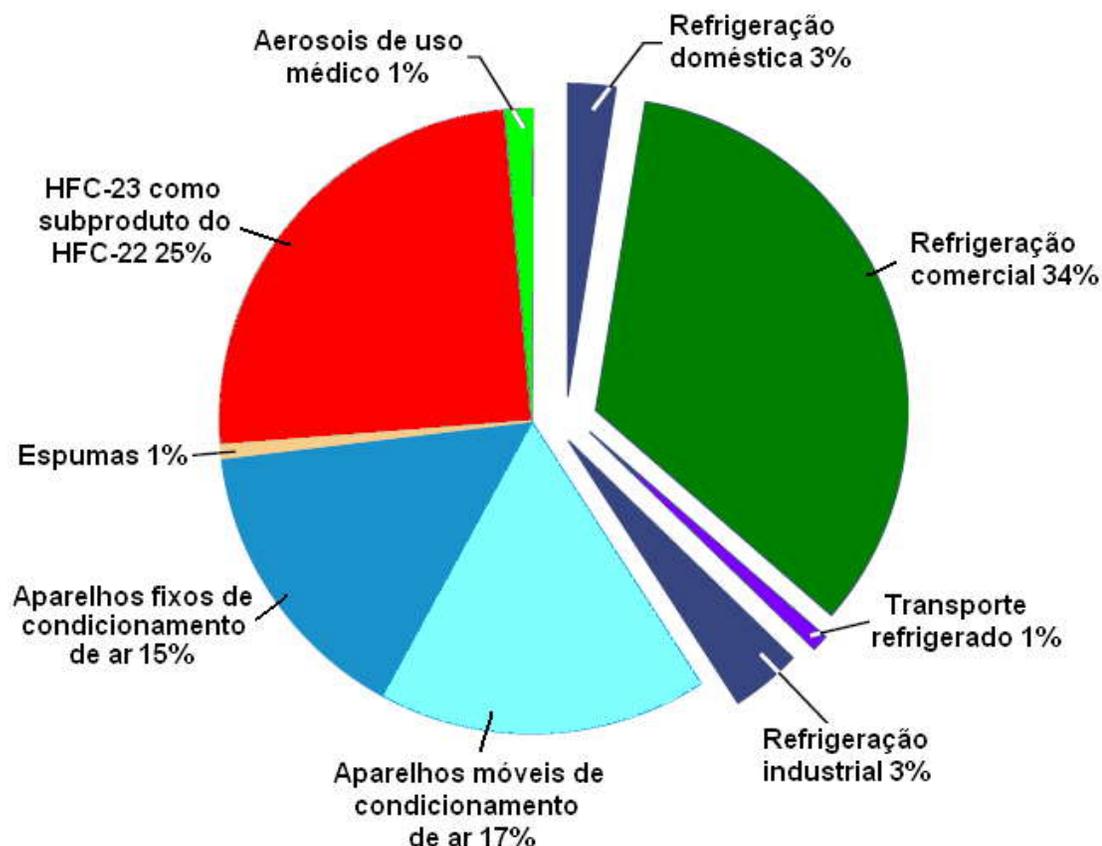


Figura 1. – Distribuição de emissões diretas por setor de CFCs, HCFCs e HFCs até 2015 (IPCC, 2005).

Nas aplicações do setor de refrigeração, as emissões diretas de gases de efeito estufa (GEE) podem se reduzir entre 10% e 30% (IPCC, 2005). Em todo este setor, o cenário da mitigação projeta uma redução total das emissões diretas de aproximadamente 490 MtCO₂-eq¹ por ano até 2015 e, deste total, prevê-se que ao redor de 400 MtCO₂-eq por ano corresponderão à refrigeração comercial (IPCC, 2005). Os custos específicos oscilam entre US\$ 10 e US\$ 300 por tonelada de CO₂ equivalente (Os custos se expressam em dólares dos EEUU no ano 2002).

¹ Toneladas métricas de CO₂ equivalente.

Nos sistemas completos para supermercados, por exemplo, pode-se calcular valores do impacto climático durante o ciclo de vida, LCCP, em até 60% mais baixos caso fossem implementadas medidas tais como: refrigerantes alternativos, melhores métodos de confinamento de refrigerantes, sistemas distribuídos ou sistemas configurados em cascata (IPCC, 2005). Os custos específicos de redução das emissões para determinados refrigerantes no setor da refrigeração comercial oscilam entre US\$ 20 e US\$ 280 por tonelada de CO₂ equivalente (IPCC, 2005).

A redução das emissões diretas de gases de efeito estufa é possível em todos os setores mostrados na figura 1. Para atingir este objetivo, considerando que os HFCs e HCFCs ainda continuam sendo a principal alternativa aos CFCs, a IPCC propôs, no ano 2005, as seguintes medidas:

1. Aumentar o uso de fluidos alternativos aos fluocarbonetos, como hidrocarbonetos, amônia ou dióxido de carbono;
2. Investir no melhor confinamento das substâncias (vazamento zero);
3. Reduzir a carga de refrigerante nos sistemas (carga mínima);
4. Substituir as tecnologias que dependem do uso de fluocarbonetos;
5. Aumentar a utilização de sistemas de refrigeração indiretos usando HTFs (fluidos de transferência de calor) no circuito secundário, reduzindo desta forma a carga de refrigerante e suas conseqüentes emissões em até 85% (Pruzaesky et al., 2008).

Entende-se que o tema de estudo aqui proposto, a utilização de fluidos secundários de alto desempenho térmico, contribui para muitas das medidas acima descritas.

1.3. Estado da arte

Já é conhecido há algum tempo o fato de que a suspensão de partículas sólidas em líquidos provoca um incremento da condutividade térmica da solução em relação à do fluido-base (Witharama, 2003). Apesar dos benefícios desta aplicação, do ponto de vista dos processos de transferência de calor, partículas de tamanho da ordem de milímetros ou micrométricas também geram problemas, principalmente, no que diz

respeito a obstruções em várias partes do sistema, separação do líquido da fase sólida (precipitação) e aglomeração, entre outras (Witharama, 2003).

A nanotecnologia provê novas oportunidades para processar e produzir materiais com tamanhos médios de partículas menores que 50 nm.

Fluidos com nanopartículas suspensas são denominados nanofluidos, tendo este termo sido proposto por Choi (1995), do “Argonne National Laboratory” (ANL). Os nanofluidos estão sendo considerados como a próxima geração de fluidos de transferência de calor, pois oferecem novas possibilidades de aumento do desempenho de troca de calor se comparados a líquidos puros.

Um grande número de publicações de pesquisas sobre nanofluidos têm aparecido desde 1995 e este número tem aumentado ano após ano, devido ao estabelecimento de grupos de pesquisa em diversas instituições, em nível mundial, conforme mostra a figura 2 (Bandarra Filho et al., 2008). Desde empresas pequenas até grandes multinacionais vêm realizando pesquisas no campo da nanotecnologia, visando diferentes aplicações na indústria (Yu et al., 2007).

Considerável parte deste interesse advém do potencial dos nanofluidos como fluidos de resfriamento. Na indústria automotiva, por exemplo, os fluidos de interesse são aqueles utilizados para trabalhar com baixas pressões e temperaturas de operação. Porém, a transição até a prática industrial requer que a tecnologia dos nanofluidos seja desenvolvida até o ponto em que se torne realmente aplicável (Yu et al., 2007).

Uma pesquisa a respeito do número de publicações sobre nanofluidos mostra, por exemplo, que, no portal de pesquisa e de artigos www.sciencedirect.com, foram publicados, entre janeiro e março de 2009, 50 trabalhos sobre nanofluidos em diferentes jornais científicos, o que confirma a tendência crescente do gráfico 2.

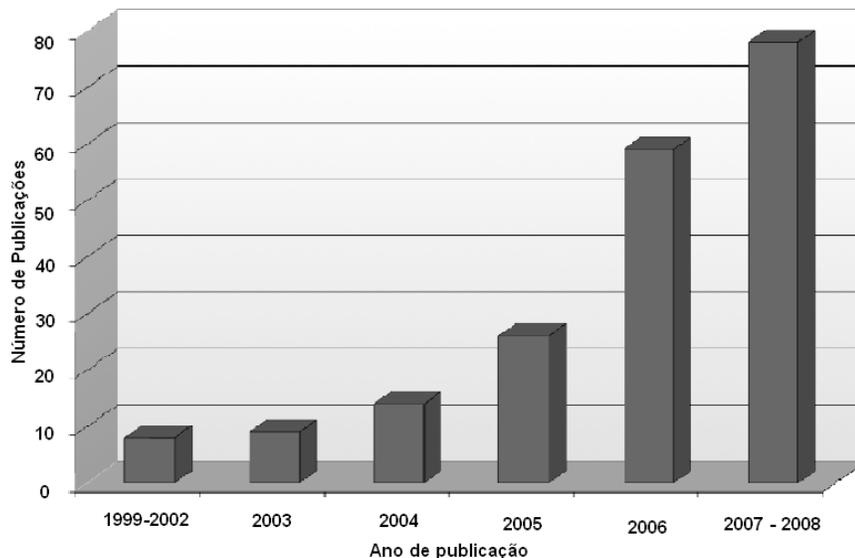


Figura 2 - Número de publicações sobre nanofluidos (Bandarra Filho et al., 2008).

Bandarra Filho et al. (2008) resumiram alguns dos aspectos de maior interesse na pesquisa sobre nanofluidos:

1. Elevada condutividade térmica quando comparados com os fluidos convencionais;
2. Aumento ou diminuição da troca de calor com o aumento da concentração volumétrica em condições de fase única;
3. Não existência de uma tendência clara no caso da transferência de calor por ebulição.

1.3.1. Produção de nanopartículas e nanofluidos

Diferentes nanopartículas têm sido utilizadas na preparação de nanofluidos. Estas nanopartículas variam desde óxidos cerâmicos (Al_2O_3 , CuO), nitretos cerâmicos (AlN , SiN), carbonetos cerâmicos (SiC , TiC), metais (Ag , Au , Cu , Fe), semicondutores (TiO_2), nanotubos de carbono de camada simples (SWCNT), nanotubos de carbono de camadas duplas (DWCNT) e nanotubos de carbono de múltiplas camadas (MWCNT), até polímeros compostos (Yu et al., 2007). Observam-se, nas figuras 3 e 4, imagens microscópicas de nanofluidos com partículas de Al_2O_3 , SiO_2 e nanotubos de carbono (Hosokawa et al., 2007).

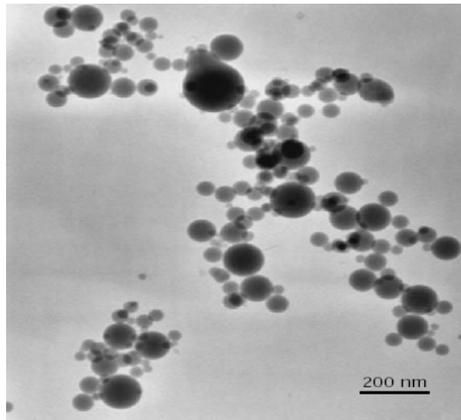


Figura 3 – Nanopartículas de Al_2O_3 (79%) e SiO_2 (21%)
(Hosokawa et al., 2007)

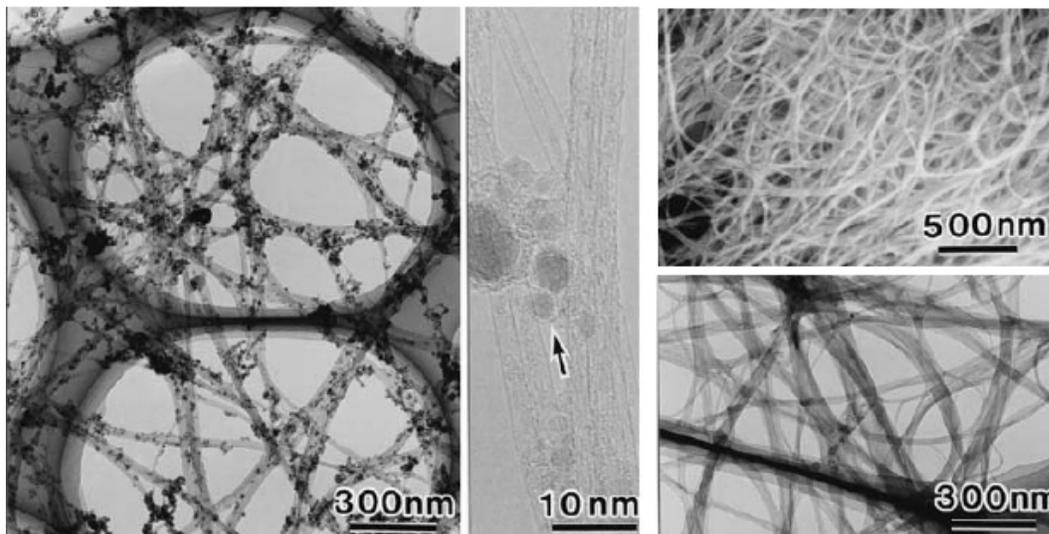


Figura 4 – Nanotubos de carbono de diferentes dimensões e múltiplas paredes.
(Hosokawa et al., 2007).

Novas tecnologias têm permitido a fabricação de materiais em escalas nanométricas. As nanopartículas são uma classe de materiais que exibem propriedades físicas e químicas únicas, quando comparadas aos mesmos materiais em escalas maiores (Yu et al., 2007). A produção de nanopartículas pode ser classificada em duas categorias principais: processos físicos e processos químicos (Yu et al., 2007).

Tipicamente, os métodos físicos incluem métodos de trituração mecânica e técnicas de condensação em gás inerte (Granqvist e Buhman, 1976). Métodos

químicos para a produção de nanopartículas incluem precipitação química, deposição química de vapor, microemulsões e combinação de plasma em métodos de fase gasosa, este último ilustrado na figura 5 (Hosokawa et al., 2007).

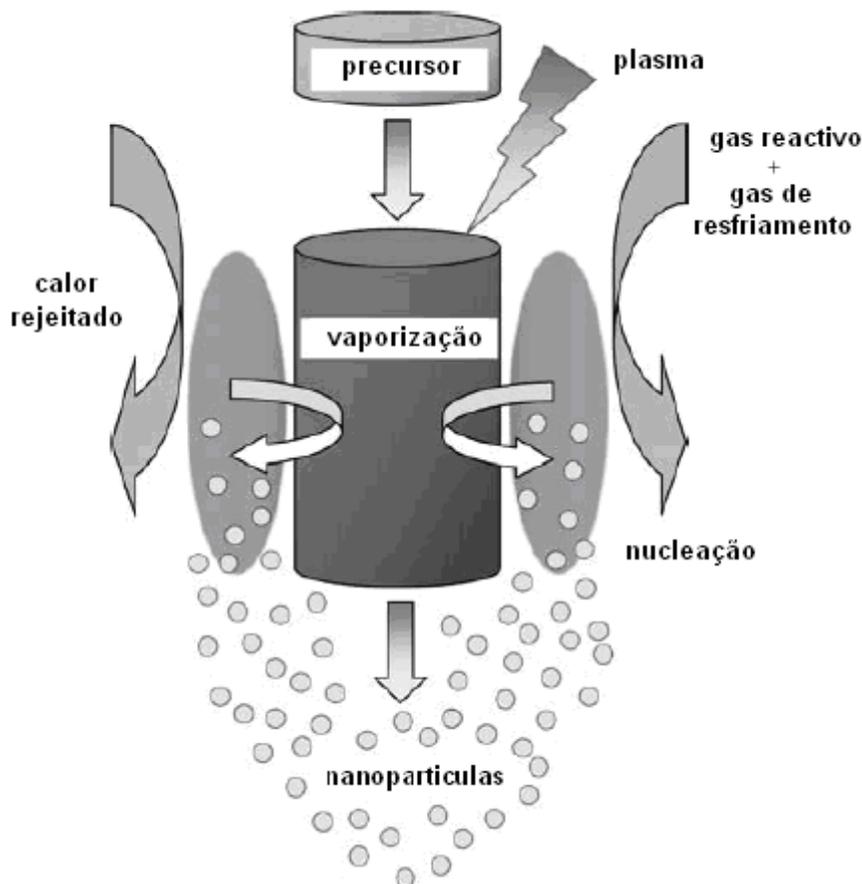


Figura 5 – Sistema de produção de nanopartículas pelo método de fase gasosa incrementado por plasma (Hosokawa et al., 2007).

Os nanofluidos são produzidos mediante duas técnicas distintas:

1. A técnica do passo único em que, simultaneamente, se produz e dispersa as nanopartículas diretamente dentro do fluido-base, como indicado na figura 6 (Choi e Eastman, 2001).
2. A técnica de dois passos começa com a nanopartícula produzida por uma das técnicas de síntese (física ou química) já descritas, procedendo-se, posteriormente, à sua introdução em um fluido-base, como mostrado na figura 7 (Hosokawa et al., 2007).

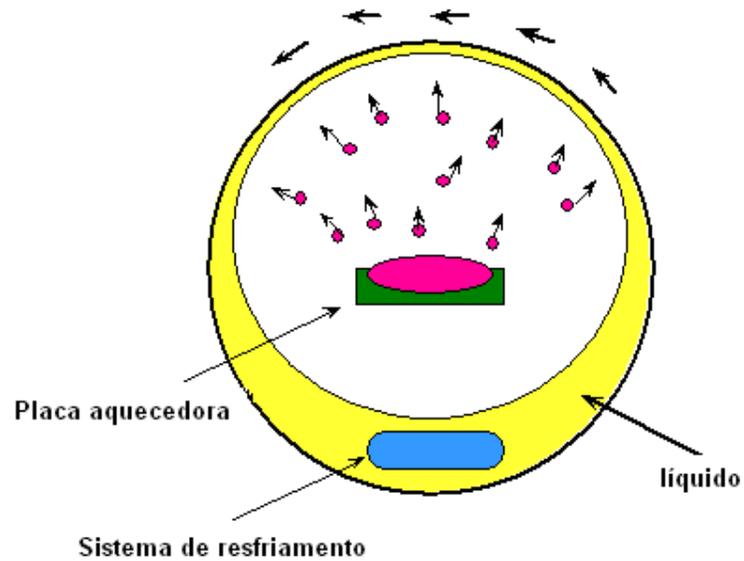


Figura 6 – Esquema da produção de nanofluidos por evaporação / condensação de vapor metálico dentro de líquidos a baixa pressão por passo único.

The Northern Illinois University em colaboração com a ANL (Kostic, 2004).

Muitos dos nanofluidos que contêm óxidos metálicos e nanotubos de carbono, descritos na literatura, são produzidos pelo processo de dois passos (Xiang-Qi e Arum, 2008).

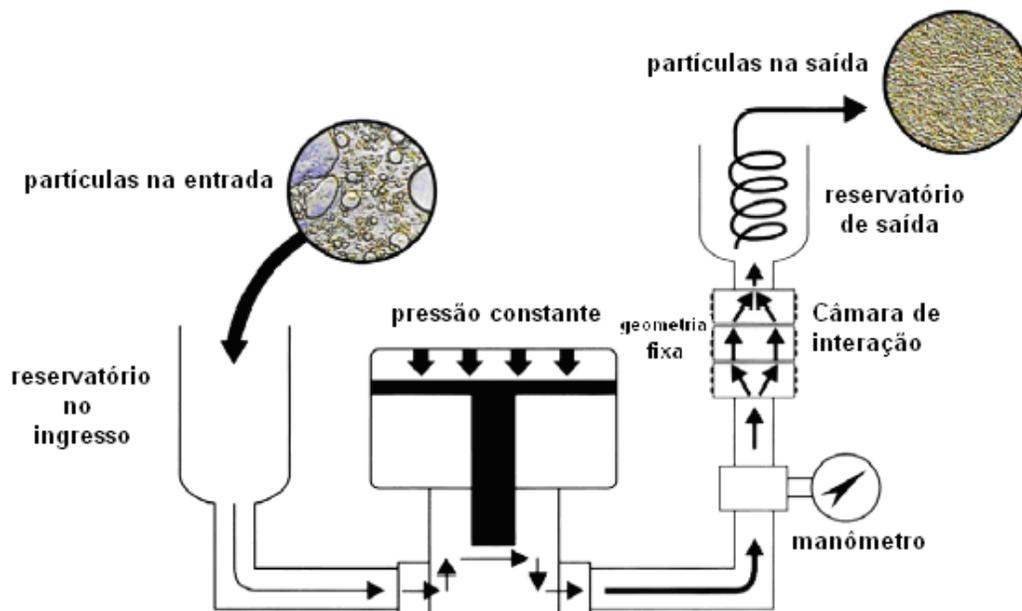


Figura 7 – Esquema do homogenizador de alta pressão para a produção de nanofluidos em dois passos (Hosokawa et al., 2007).

Na figura 8, pode-se observar uma coleção de nanofluidos produzidos pela Northern Illinois University em colaboração com a ANL (Kostic, 2004).



Figura 8 – Primeiros nanofluidos desenvolvidos pela The Northern Illinois University em colaboração com a ANL (Kostic, 2004).

1.3.2. Propriedades dos nanofluidos

A condutividade térmica é um dos parâmetros mais determinantes na intensificação da transferência de calor de fluidos térmicos (Wongwises, 2007), Eastman et al. (2001) relataram medições da condutividade térmica de nanofluidos utilizando como fluido-base o etileno glicol e nanopartículas de cobre e de óxido de alumínio (Al_2O_3). As partículas tinham um diâmetro médio menor que 10 nm e concentração volumétrica de 3%. Uma série de medições da condutividade térmica do nanofluido cobre-etileno glicol foi conduzida utilizando-se o método de fio quente transiente. As séries de testes foram denotadas como (a) cobre “velho”, preparado dois meses antes das medições, (b) cobre “novo”, preparado dois dias antes das medições, e (c) cobre com ácido tioglicólico, para estabilizar o nanofluido.

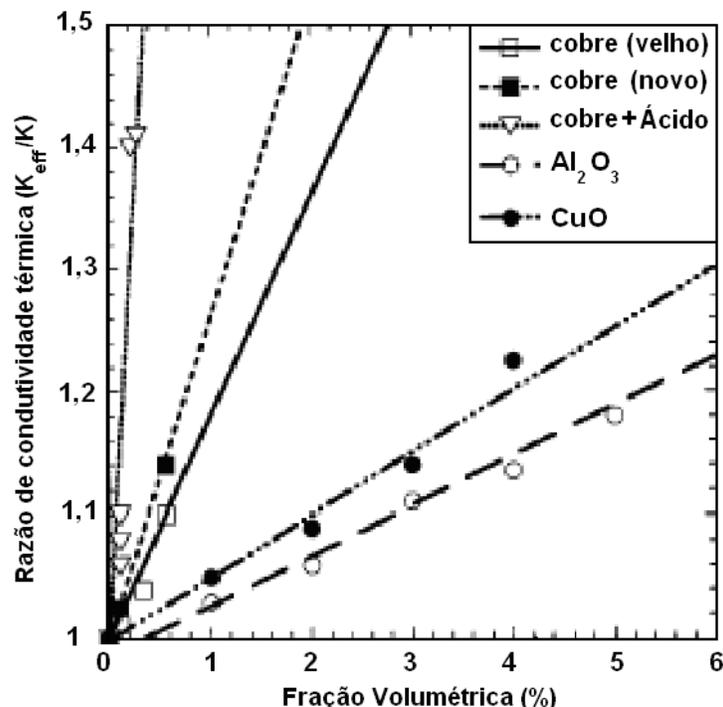


Figura 9 – Incremento da condutividade térmica com nanofluidos (partículas de cobre, óxido de alumínio (Al₂O₃), e óxido cúprico (CuO)) Eastmant et al., (2001).

Os resultados do trabalho, mostrados na figura 9, relacionam o aumento relativo de condutividade térmica da solução com a fração volumétrica de nanopartículas. Apontam para as seguintes conclusões:

1. Os cinco nanofluidos apresentam aumentos significativos da condutividade térmica quando comparados à do fluido-base;
2. A condutividade térmica aumenta com a concentração volumétrica;
3. O nanofluido com partículas de cobre puro apresenta uma maior condutividade térmica do que com óxidos.

As teorias e correlações que explicam com sucesso a variação da condutividade térmica da mistura de dois componentes não foram capazes de esclarecer o mesmo para os nanofluidos. Por exemplo, Eastman et al. (2001), compararam os dados medidos da condutividade térmica, figura 9, com a correlação obtida por Hamilton e Crosser (1962). A comparação indicou valores das predições muito inferiores aos valores medidos. Os autores, baseando-se em suas medições, atribuíram a discrepância da correlação de Hamilton e Crosser (1962) à sua incapacidade de se

considerar a possível dependência da condutividade térmica da nanopartícula com o diâmetro da mesma.

Na tabela 2 mostra-se uma série de experiências desenvolvidas desde a metade da década passada, estudando a condutividade térmica de diferentes nanofluidos.

Nela pode-se observar que:

- O fluido-base predominante é a água.
- As nanopartículas mais utilizadas são o Al_2O_3 e CuO ;
- O incremento da condutividade térmica varia até, aproximadamente, 60%;
- O tamanho das nanopartículas utilizadas varia desde valores menores que 10 nm até 100 nm.

Tabela 2 – Sumário de estudos experimentais da condutividade térmica de nanofluidos (Xiang e Arum, 2008).

Pesquisador	Partícula	Tamanho (nm)	Fluido	Observações
Eastman et al. (1997)	$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{Cu}$	33/36/18	Água / HE-200 óleo	60% de melhora para um 5 % vol. partículas de CuO em água.
Lee et al. (1999)	$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CuO}$	24,4/38,4/18,6	Água/EG	20% de melhora para um 4 % vol. CuO/EG mistura
Wang (1999)	$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CuO}$	28/23	Água/EG/PO	12% de melhora para um 3 % vol.
Xie et al. (2002)	Al_2O_3	12,2/302	Água/EG/PO	Fase cristalina
Li e Peterson (2006)	$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CuO}$	36/29	Água	Aumento com a fração volumétrica e temperatura
Xuan e Li (2000)	Cu	100	Água e óleo	Suspensão com sucesso de nanopartículas metálicas grandes
Eastman et al. (2001)	Cu	<10	EG	40% de incremento para um 0,3 vol.%
Hong e Yang (2005)	Fe	10	EG	18% de incremento para um 0,55 vol.%
Patel et al. (2003)	Au, Ag	4, 15/70	Água, tolueno	Tamanho, temperatura e características químicas
Wen & Ding (2004)	CNTs	$\Theta_{20-60^*} \sim 10\mu\text{m}$	Água	23,7% e 31% de incremento para 210°C e 45°C

Nota: EG: Etileno glicol, PO: óleo de máquina, DW: Água deionizada

Fonseca (2007), usando o método Flash e da sonda-linear, mediu a difusividade térmica e a condutividade térmica do nanofluido $H_2O-Al_2O_3$. Além disto, o autor mediu a viscosidade e a massa específica com um reômetro de disco e um densímetro hidrostático, respectivamente, mostrando os seguintes resultados:

1. Observou-se um aumento na massa específica (densidade) da ordem de 1% para 1% em massa de nanopartículas;
2. Obteve-se um aumento de 13% na viscosidade, para 60°C;
3. Para a condutividade térmica e a difusividade térmica o incremento foi de ordem de 10%, a 45°C.

1.3.3. Nanofluidos em refrigeração

Água, líquidos orgânicos (etileno glicol, trietileno glicol, refrigerantes, entre outros), óleos lubrificantes e soluções poliméricas têm sido utilizados como fluido-base dentro da ampla faixa de aplicação dos nanofluidos (Bandarra Filho et al., 2008).

Os nanofluidos poderiam ser empregados em sistemas de refrigeração de duas formas:

- Como fluidos secundários, isto é, circulando entre o evaporador e o ponto de retirada de carga térmica;
- Como fluidos de trabalho, isto é, refrigerantes.

Trabalhos recentes apontando para ambas as aplicações são descritos a seguir.

1.3.3.1. Nanofluidos como fluidos secundários

Algumas pesquisas nas quais nanofluidos são testados como fluidos de resfriamento são encontradas na literatura. Vasu et al. (2008) realizaram análise térmica teórica de um trocador de calor compacto automotivo, figura 10, utilizando o nanofluido $Al_2O_3-H_2O$ como fluido de resfriamento. O método ϵ -NUT foi empregado e a condutividade térmica calculada conforme Velagapudi et al. (2008).

Comparando os resultados revistos para nanofluidos com os correspondentes à água (fluido convencional de resfriamento do motor) os autores observaram:

- Um aumento na capacidade de resfriamento com a concentração volumétrica de nanopartículas;
- Um aumento na queda pressão do lado do líquido com a concentração volumétrica de nanopartículas;
- Uma melhora do coeficiente global de transferência de calor para maiores vazões do fluido de resfriamento e com o aumento da concentração volumétrica de nanopartículas.

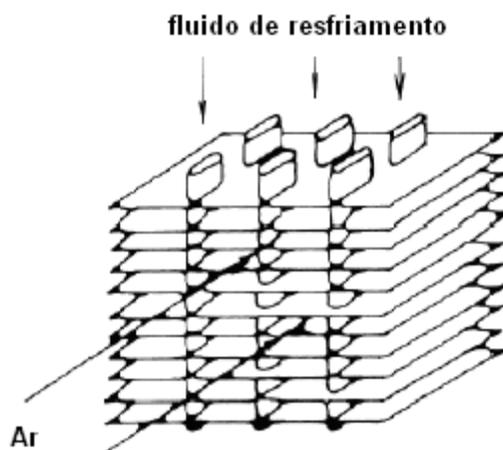


Figura 10 – Estrutura do trocador de calor compacto estudado por Vasu et al. (2008).

Kulkarni et al. (2006) trataram da perspectiva de utilização dos nanofluidos como fluidos de transferência de calor em aplicações industriais e automotivas onde, aproveitando a maior condutividade térmica das nanopartículas metálicas, incrementa-se o desempenho térmico da mistura, aumentando, assim, a efetividade dos trocadores de calor. Os autores desenvolveram um trabalho experimental sobre as propriedades reológicas de nanopartículas de óxido de cobre suspensas em uma mistura água-etileno glicol. A faixa de temperatura dos testes (de -35°C até 50°C) mostra sua aplicabilidade em processos a baixas temperaturas. Durante o período de testes conduzidos com nanofluidos (o qual foi conduzido ao longo de vários meses) não foi observada aglomeração das nanopartículas.

Estudos teóricos preliminares sobre o efeito de nanofluidos na efetividade do evaporador foram apresentados por Pruzaesky e Parise (2007a, 2007b). Nanopartículas dispersas no refrigerante

Jacobi et al. (2007) determinaram o coeficiente de troca de calor do fluido refrigerante R134a com uma concentração muito baixa de nanopartículas de SiO_2 . Os resultados, expostos na figura 11, mostram que o coeficiente de transferência de calor por ebulição diminuiu em aproximadamente 30%, com a presença de nanopartículas.

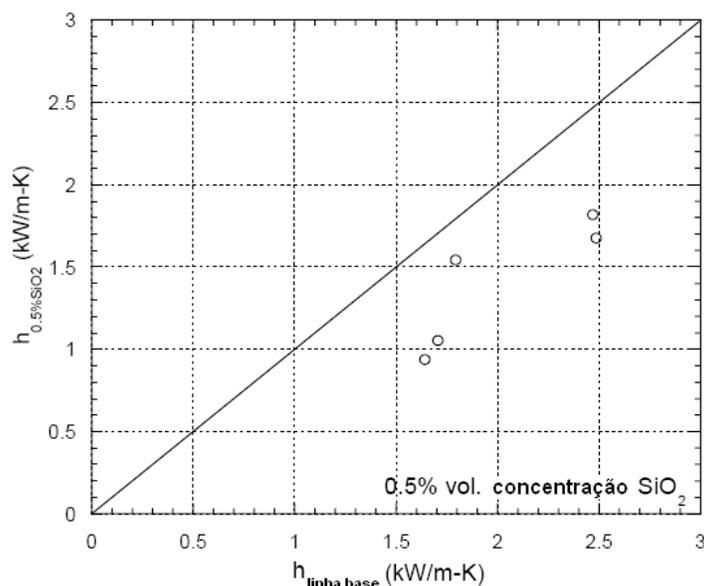


Figura 11 – Diminuição do coeficiente de transferência de calor na ebulição de R134a-SiO₂

Dentre as possíveis explicações para estes resultados os autores mencionam:

1. A possibilidade de uma camada de nanopartículas ter-se formado, ou depositado, na superfície da seção de testes, conseqüentemente inibindo a nucleação;
2. A presença do óleo lubrificante do compressor pode ter influenciado os efeitos das nanopartículas no desempenho do coeficiente de troca de calor por ebulição;
3. O fato de a dispersão das nanopartículas ter sido por agitação mecânica das nanopartículas (devido à pressão de saturação do refrigerante não foi possível utilizar outro sistema mais eficiente de suspensão).

Tabela 3 – Resultados de diferentes testes de dispersão de nanopartículas em refrigerantes (Jacobi et al., 2007).

Partícula	Fluido-base					
	Água	R134A	Amônia	R404A	R22	Hidro - carbonetos
Alúmina	Excelente	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre
Cobre	Moderado	Pobre	Não disponível	Pobre	Pobre	Pobre
Nanotubos de carbono	Moderado	Moderado	-	-	Moderado	Moderado
Carvão negro A	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado	-	Pobre
Carvão negro B	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado	-	Pobre

Entretanto, o mesmo grupo da Universidade de Illinois at Urbana-Champaign, Jacobi et al. (2008), experimentou com nanopartículas de CuO e um lubrificante como fluido-base (4 %vol.), misturando este nanofluido a R134a (0,5% de fração mássica). A presença de nanopartículas não apresentou, aparentemente, um efeito considerável sobre o coeficiente de troca de calor por ebulição, muito embora, para uma fração mássica de 1%, tenha se obtido um aumento entre 42% e 82% no coeficiente de troca de calor, como mostrado na figura 12.

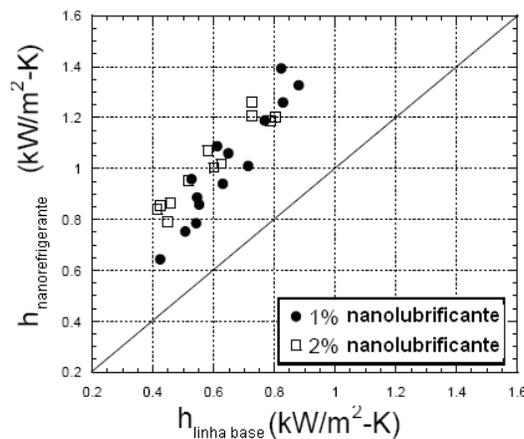


Figura 12 - Incremento do coeficiente de transferência de calor evaporativo do R134a utilizando o nanolubrificante éster sintético/CuO

A figura 13 mostra a bancada experimental utilizada por Jacobi et al (2007, 2008).

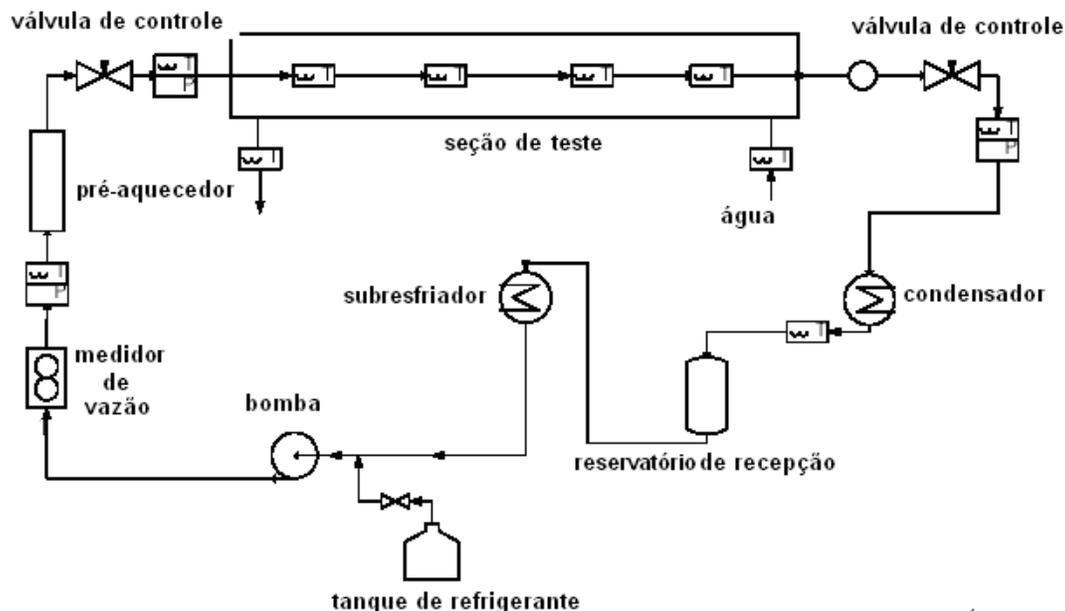


Figura 13 – Esquema do aparato experimental da Universidade de Illinois at Urbana-Champaign (Jacob et al., 2007 e 2008).

Kedzierski (2008), do National Institute Standards Technology, quantificou a presença de nanopartículas de óxido cúprico (CuO) no desempenho da ebulição da mistura R134a-poliéster sobre numa superfície plana. Dois “nanolubrificantes”, produzidos pela suspensão de nanopartículas de óxido cúprico com 30 nm de diâmetro e poliéster sintético com concentrações volumétricas entre 2%vol. e 4%vol., respectivamente, foram avaliados. O uso da mistura de 0,5% de fração mássica destes nanolubrificantes com o refrigerante R134a propiciou um aumento da transferência de calor por ebulição entre 50% e 275%, quando comparados com a mistura R134a-poliéster pura.

Como pode-se observar, a utilização de nanopartículas em fluidos envolvidos em sistemas de refrigeração (fluidos secundários, refrigerantes ou óleo lubrificantes), tem-se mostrado promissora, a partir dos resultados até agora obtidos.

1.4. Contribuição do presente trabalho

O presente trabalho propõe estudar, mediante simulação numérica, o comportamento de sistemas de refrigeração por compressão de vapor operando com nanofluidos como fluidos secundários.

Não foi encontrada, na literatura consultada, até o presente momento, referência a nenhum estudo similar ao aqui proposto.

1.5. Conteúdo do Trabalho

No segundo capítulo são apresentados os modelos matemáticos para a caracterização do sistema proposto, assim como as correlações utilizadas na simulação dos processos de transferência de calor e queda de pressão no ciclo de refrigeração por compressão de vapor.

No terceiro capítulo apresenta-se a solução numérica dos modelos propostos mediante a utilização do software EES. A organização do programa, os testes de malha e a propagação de incertezas são apresentadas.

No quarto capítulo, analisam-se os resultados paramétricos obtidos pelo programa.

O presente trabalho encerra-se com as conclusões e sugestões para estudos futuros, dispostas no capítulo 5.