



HOLOS

ISSN: 1518-1634

holos@ifrn.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Brasil

Gomes Medeiros, Pedro Samuel; Formiga Barbosa, Cleiton Rubens; Oliveira Fontes,  
Francisco de Assis  
PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DE FLUIDOS SECUNDÁRIOS À BASE DE ÁLCOOL  
PARA TERMOACUMULAÇÃO  
HOLOS, vol. 4, 2010, pp. 74-87  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Natal, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=481549222006>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica  
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## **PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DE FLUIDOS SECUNDÁRIOS À BASE DE ÁLCOOL PARA TERMOACUMULAÇÃO**

**Pedro Samuel Gomes Medeiros**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Grupo de Estudos em Sistemas Térmicos,  
Laboratório de Energia.

falecom-pedro@hotmail.com

**Cleiton Rubens Formiga Barbosa**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica,  
Grupo de Estudos em Sistemas Térmicos, Laboratório de Energia.

cleiton@ufrnet.br

**Francisco de Assis Oliveira Fontes**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica,  
Grupo de Estudos em Sistemas Térmicos, Laboratório de Energia.

franciscofontes@uol.com.br

---

### **RESUMO**

O presente artigo avalia propriedades termofísicas de fluidos secundários visando sua aplicação em sistemas de refrigeração com termoacumulação. O objeto da investigação são soluções aquosas com anticongelantes orgânicos da família dos alcoóis – glicerol, propilenoglicol e etilenoglicol – que apresentam propriedades termofísicas – temperaturas de solidificação e de ebulição, massa específica, calor específico, condutividade térmica – diferentes da água pura, que promovem principalmente a redução do ponto de fusão. Os alcoóis foram selecionados por serem totalmente solúveis, com baixa ou nenhuma atividade corrosiva e quimicamente estáveis. As propriedades dos fluidos secundários foram obtidas com auxílio de simulação computacional. Em todas as amostras analisadas, com concentração em massa dos solutos variando entre 20% e 50%, não foram detectados pontos de inflexão nas curvas das propriedades quando a concentração dos alcoóis foi variada. A hipótese investigativa inicial de redução da temperatura de solidificação da solução, com o aumento da percentagem de álcool, foi confirmada para todas as amostras. A capacidade de transferir calor é reduzida para todos os fluidos secundários, na medida em que a concentração dos alcoóis é aumentada. Comparativamente, o etilenoglicol mostrou ser, dos alcoóis analisados, o que melhor atende as necessidades de um fluido secundário como aditivo anticongelante.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aditivo Anticongelante, Álcool Glicol, Fluidos Secundários, Propriedades Termofísicas, Termoacumulação.

### **THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF SECONDARY FLUIDS ALCOHOL- BASED FOR COOL THERMAL STORAGE**

### **ABSTRACT**

This paper evaluates thermophysical properties of secondary fluids for their application in refrigeration systems with cool thermal storage. The object of research are aqueous solutions with organic antifreeze of alcohols family – glycerol, propylene glycol and

ethylene glycol – that have thermophysical properties – melting point and boiling point, density, specific heat, thermal conductivity – different of pure water, which mainly promote reducing of the melting point. The alcohols were selected because they are completely soluble, with low or no corrosion activity and chemically stable. The properties of secondary fluids were obtained with the aid of computer simulation. In all samples, with the mass concentration of solutes ranging between 20% and 50%, were not detected inflection points in curves of the properties when the concentration of the alcohol was varied. The initial investigative hypothesis for freezing point temperature reduction of the solution, with increase in the alcohol percentage, was confirmed for all samples. The ability to transfer heat is reduced to all secondary fluids to the extent that the alcohols concentration is increased. Comparatively, the ethylene glycol showed to be, among alcohols tested, that the one best attends the needs for a secondary fluid, such as antifreeze additive.

**KEYWORDS:** Antifreeze Additive, Glycol Alcohol, Secondary Fluids, Thermophysical Properties, Cool Thermal Storage.

## **PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DE FLUIDOS SECUNDÁRIOS À BASE DE ÁLCOOL PARA TERMOACUMULAÇÃO**

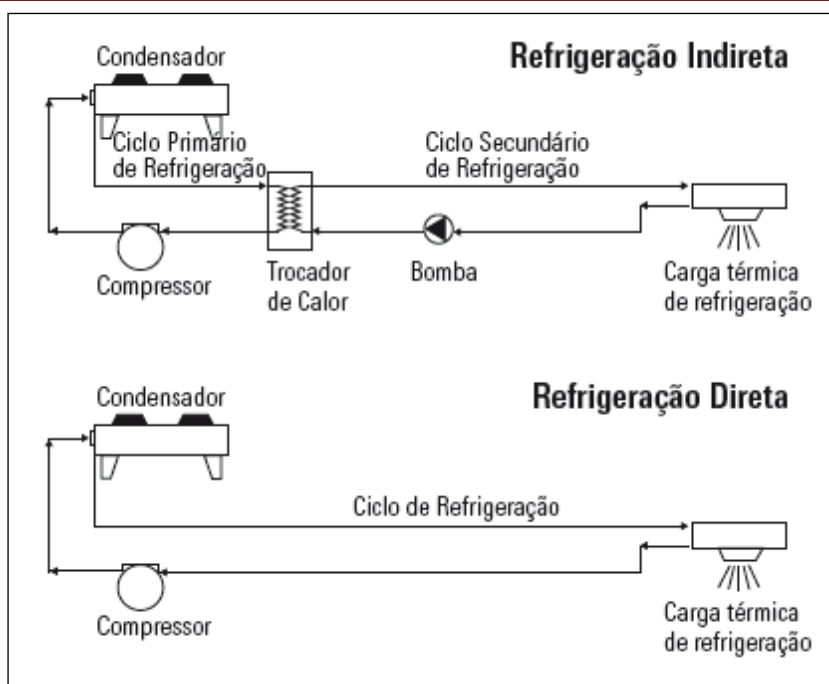
### **INTRODUÇÃO**

Os processos industriais de refrigeração e os processos de climatização de grande porte não utilizam sistema de refrigeração por expansão-direta, apesar de ser tecnicamente confiável, eficiente e normalmente de baixo custo. Porém, para as aplicações citadas, ele é antieconômico e, de certa forma, inconveniente. Esse sistema produz o efeito de refrigeração pela expansão do fluido refrigerante no evaporador, que está em contato direto com o espaço ou material a ser refrigerado, ou está em dutos de ar que se comunica com tais espaços (DOSSAT, HORAN, 2001).

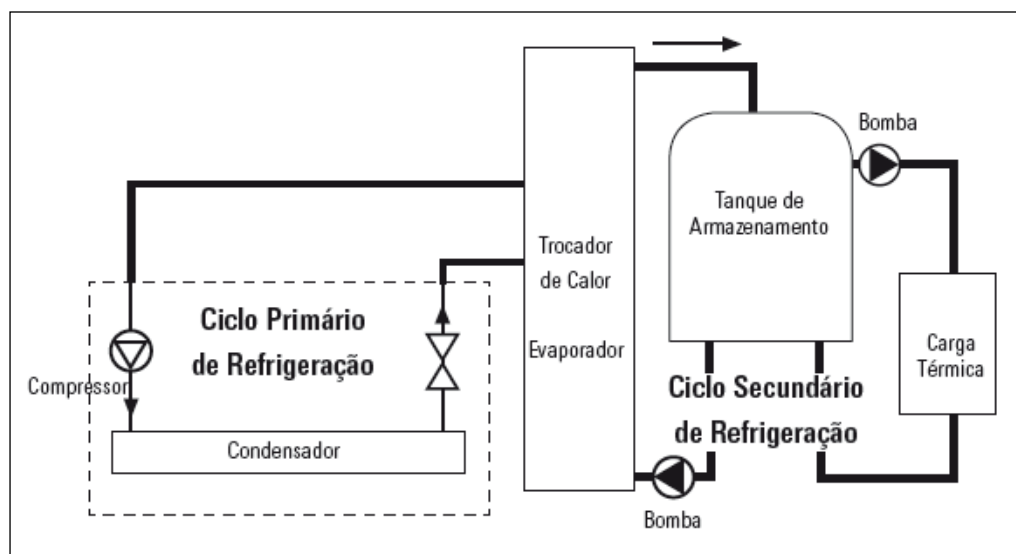
Para processos com alta carga térmica, o sistema direto necessita de um equipamento de grande porte. Esse porte elevado é considerado antieconômico e inconveniente, porque o sistema deve ser superdimensionado e com um perfeito isolamento térmico, principalmente em casos onde a unidade evaporadora está distante da condensadora, e que neste caso apresenta ainda a desvantagem das perdas da capacidade de refrigeração. O fluido refrigerante tem a função de produzir e transportar o frio por longos dutos a partir da unidade condensadora até a evaporadora, necessitando de grandes quantidades que elevam o custo de operação, e se ocorrer algum vazamento poderá trazer danos a pessoas e ao meio ambiente.

A solução deste problema é empregar um sistema de refrigeração por expansão-indireta com termoacumulação, utilizando fluidos secundários, de forma que o sistema primário de refrigeração irá promover apenas o resfriamento do fluido secundário e este será o fluido refrigerante que irá promover a refrigeração final (figura 1). A prática deste sistema indireto contribui para uma refrigeração mais eficiente, em sistemas mais compactos, simplificando o circuito refrigerante que resulta em economia e flexibilidade. O processo de termoacumulação permite gerar e armazenar o frio no período noturno: não há cargas térmicas, as tarifas de energias são menores e tem-se uma melhor eficiência do sistema primário de refrigeração. O frio armazenado é usado durante o dia, principalmente nos horários de maior solicitação de carga térmica e picos de energia elétrica (ASHRAE, 2008). Na figura 2 é esquematizado um sistema de refrigeração com termoacumulação.

Os fluidos secundários são fluidos térmicos que apresentam certas características desejáveis: alto calor específico, boa condutividade térmica, não tóxico, baixos impactos ambientais, ser inerte quimicamente, disponível a preços razoáveis. A água possui essas propriedades, caracterizando-se como um ótimo fluido secundário. Entretanto, a água congela a 0 °C e a grande maioria dos processos industriais trabalham com temperaturas bem abaixo do ponto de fusão da água. Por esse motivo, adiciona-se um agente anticongelante que é misturado a água, formando uma solução capaz de solidificar a temperaturas inferiores a da água pura.



**Figura 1: Refrigeração de expansão-indireta comparado ao de expansão-direta (TICONA, 2007)**



**Figura 2: Refrigeração com fluido secundário em sistema com Termoacumulação (TICONA, 2007)**

Os anticongelantes são compostos totalmente miscíveis em água. Os tipos mais comuns são as salmouras (sais de cloreto de cálcio, cloreto de sódio, cloreto de magnésio, carbonato de potássio) e os alcoóis (metanol, etanol, etilenoglicol, propilenoglicol, glicerol). Atualmente, os alcoóis estão tendo forte presença como soluto para fluidos secundários a base de água por alguns terem baixa atividade corrosiva ou nenhuma corrosividade (FINK, 2003). As salmouras perderam o seu espaço devido ao seu forte poder de ionização, gerando processos eletrolíticos de corrosão.

As soluções de água e anticongelante exibem diversas características físico-químicas, além de propriedades termofísicas (ponto de fusão, massa específica, calor específico,

condutividade térmica, viscosidade, fator de eficiência de transferência de calor) distintas da água pura. O grau de variação dessas propriedades é proporcional à adição de soluto na água: quanto maior a quantidade, maior a alteração. Supõe-se inicialmente que quanto maior a concentração do anticongelante, menor o ponto de fusão da solução, onde o seu uso principal é para alterar esta propriedade.

A variação e a quantificação de propriedades termofísicas dos fluidos secundários à base de alcoóis é o tema deste trabalho, avaliando o comportamento das misturas com diferentes tipos de álcool em diversas quantidades.

## **METODOLOGIA**

Para a realização deste trabalho, os dados referentes às propriedades termofísicas dos fluidos secundários foram obtidos a partir do SecCool, um programa desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade da Dinamarca, que contém uma biblioteca com as propriedades termofísicas de fluidos secundários baseado principalmente nos parâmetros experimentais da ASHRAE, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, e de Ake Melinder, pesquisador do Departamento de Tecnologias de Energia do Royal Institute of Technology da Suécia.

Dentre os diversos fluidos secundários disponíveis no programa e existentes no mercado, os alcoóis foram selecionados por terem características físico-químicas mais adequadas quando misturados com a água, destacando os baixos problemas com corrosão como principal fator.

Os compostos selecionados da família dos alcoóis foram apenas o etilenoglicol, o propilenoglicol e o glicerol. O metanol, além de ser tóxico, inflama-se com facilidade e é corrosivo assim como o etanol, e por estes motivos foram descartados. O etilenoglicol (1,2-etanodiol) possui propriedades físico-químicas que permite utilizá-lo amplamente como aditivo aplicado em processos de refrigeração e arrefecimento. Infelizmente o etilenoglicol puro é tóxico, mas quando misturado na água é considerado atóxico para concentrações menores que 30%. Uma alternativa é o propilenoglicol (1,2- propanodiol): não é tóxico e está sendo largamente aplicado em processos industriais como aditivo, substituindo em alguns casos o etilenoglicol (FINK, 2003).

O glicerol (1,2,3-propanotriol) já é conhecido como anticongelante, justificado pelas suas características físico-químicas. Ele está sendo cogitado para uso industrial como anticongelante: não é tóxico, possui alta efetividade química em se ligar às moléculas da água, grande disponibilidade no mercado. O glicerol é um subproduto da fabricação do biodiesel e até o presente momento não se sabe ao certo o que fazer com o seu excedente, gerando preocupações de ordem ambiental e econômica.

As concentrações em massa dos alcoóis analisados nas soluções variaram entre 20% e 50%. Esses valores foram adotados de acordo com as especificações de uso sobre fluidos secundários e com base na biblioteca do programa simulador. Dentro desse intervalo de concentração, os valores de 20%, 30%, 40% e 50% foram especificados para a determinação numérica das propriedades.

Propriedades termofísicas são de vital importância na avaliação dos fluidos no ponto de vista termodinâmico (ponto de fusão, massa específica, calor específico) e de transferência

de calor (condutividade térmica). Desta forma, a análise aprecia as propriedades citadas para cada amostra.

Para efeito comparativo, as soluções foram comparadas entre si, para cada tipo de álcool utilizado, e também com a água pura. Os dados das propriedades das amostras foram coletados para a temperatura de 4 °C, onde nessa temperatura a água possui maior massa específica, sendo escolhida como referência para a análise, já que a água pura se solidifica a 0 °C.

Com os valores obtidos construíram-se gráficos e tabelas para verificar e explorar as mudanças que os alcoóis provocam nas propriedades termofísicas em cada amostra, abordando os efeitos da concentração dos solutos para cada propriedade.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos dados coletados com base no programa SecCool, os valores numéricos das propriedades das amostras e suas concentrações supra citadas se encontram nas tabelas abaixo:

**Tabela 1: Propriedades termofísicas da água pura**

Produto e Concentração	Propriedades Termofísicas			
	Ponto de Fusão (°C)	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Específico (kJ/kg.K)	Condutividade Térmica (W/m.K)
Água pura a 4°C	0,00	1000,0	4,205	0,5704

**Tabela 2: Propriedades termofísicas de misturas água/álcool-20%**

Produto e Concentração	Propriedades Termofísicas			
	Ponto de Fusão (°C)	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Específico (kJ/kg.K)	Condutividade Térmica (W/m.K)
20% a 4°C				
Etilenoglicol	-7,87	1031,6	3,809	0,4819
Propilenoglicol	-7,15	1024,0	3,945	0,4729
Glicerol	-5,12	1050,7	3,829	0,5024

**Tabela 3: Propriedades termofísicas de misturas água/álcool-30%**

Produto e Concentração	Propriedades Termofísicas			
	Ponto de Fusão (°C)	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Específico (kJ/kg.K)	Condutividade Térmica (W/m.K)
30% a 4°C				
Etilenoglicol	-14,01	1047,1	3,641	0,4431
Propilenoglicol	-12,68	1034,3	3,812	0,4299
Glicerol	-9,48	1077,1	3,618	0,4699

**Tabela 4: Propriedades termofísicas de misturas água/álcool-40%**

Produto e Concentração	Propriedades Termofísicas			
40% a 4°C	Ponto de Fusão (°C)	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Específico (kJ/kg.K)	Condutividade Térmica (W/m.K)
Etilenoglicol	-22,28	1061,9	3,462	0,4075
Propilenoglicol	-21,05	1043,2	3,656	0,3901
Glicerol	-15,39	1105,8	3,372	0,4365

**Tabela 5: Propriedades termofísicas de misturas água/álcool-50%**

Produto e Concentração	Propriedades Termofísicas			
50% a 4°C	Ponto de Fusão (°C)	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Específico (kJ/kg.K)	Condutividade Térmica (W/m.K)
Etilenoglicol	-33,70	1076,3	3,268	0,3748
Propilenoglicol	-33,48	1050,8	3,473	0,3528
Glicerol	-23,32	1134,3	3,146	0,4060

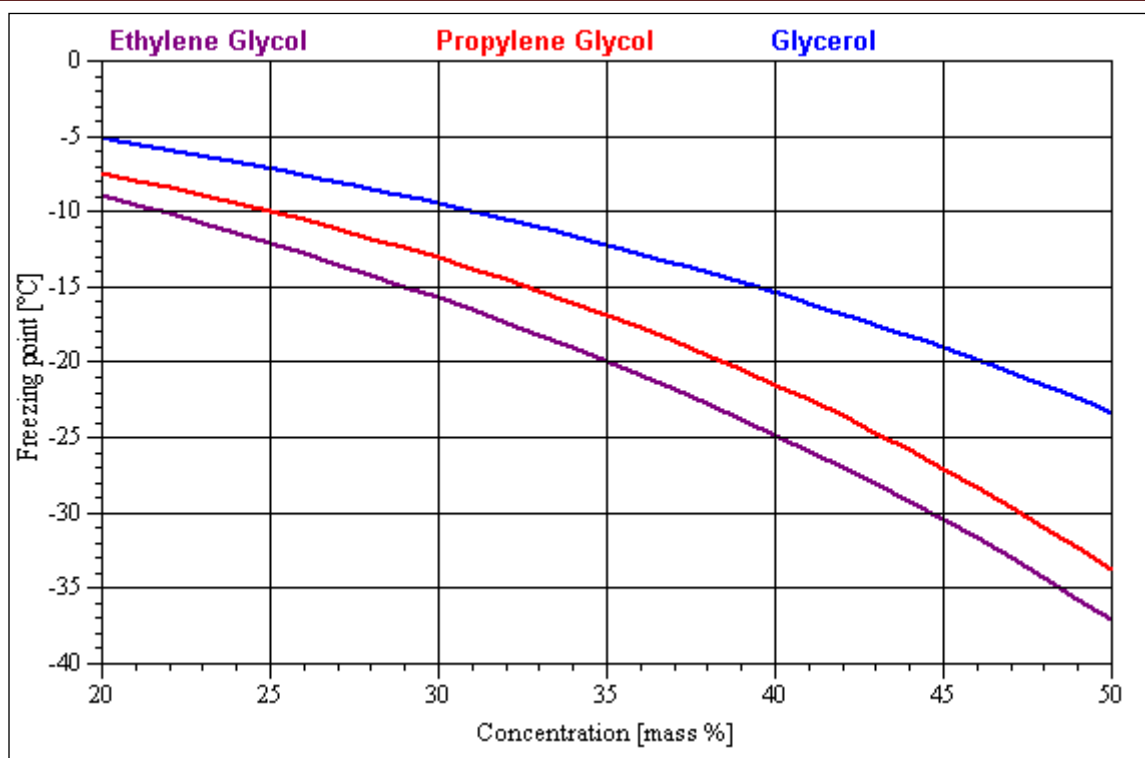
Com esses dados, cada propriedade foi analisada separadamente em função do álcool utilizado e de sua concentração, verificando suas influências nas misturas.

### PONTO DE FUSÃO

Se o principal objetivo de adicionar álcool na água for diminuir o ponto de fusão, pode-se comprovar isso observando os valores de cada amostra. Conforme o álcool é adicionado, o ponto de fusão da solução é abaixado, sendo o etilenoglicol o componente que provoca a maior redução e o glicerol o que reduz menos. O propilenoglicol tem comportamento similar ao etilenoglicol para diminuição do ponto de fusão (figura 3).

Para as concentrações variando entre 20% e 25%, há certa proporcionalidade nas curvas quanto ao decremento na redução do ponto de fusão. Aumentando a concentração a partir de 25%, a curva de solidificação do glicerol começa a se distanciar da curva do propilenoglicol, onde a partir de 35% o glicerol já não diminui de forma satisfatória o ponto de fusão, quando comparado com o propilenoglicol e o etilenoglicol.





**Figura 3: Variação do Ponto de Fusão em função da concentração**

Portanto, a hipótese investigativa inicial do abaixamento do ponto de fusão foi comprovada.

### MASSA ESPECÍFICA

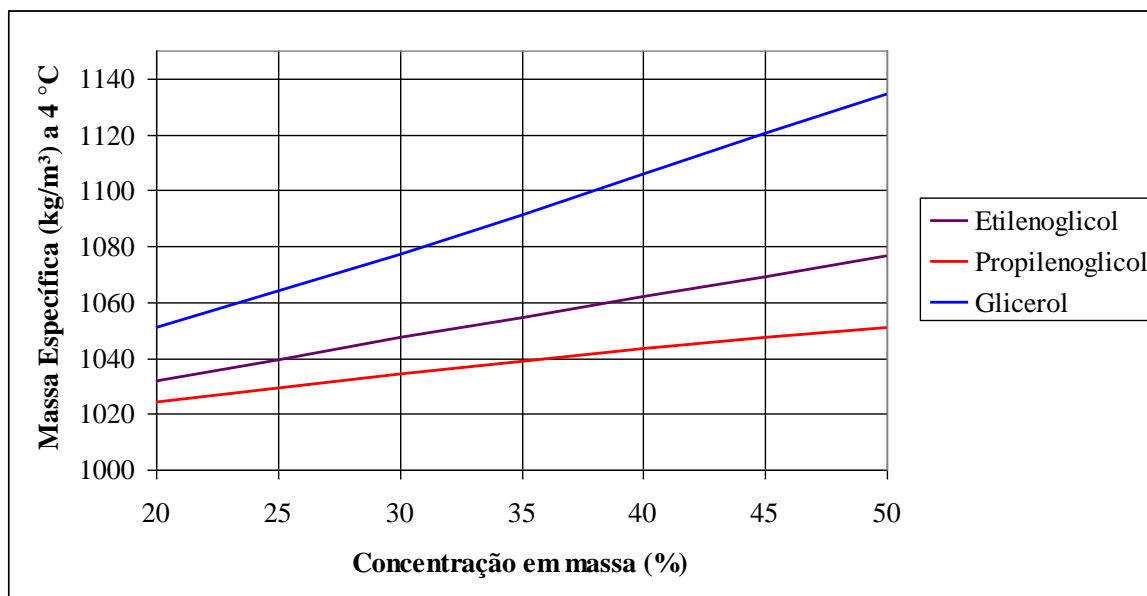
Como pôde ser visto na tabela 1, a massa específica da água a temperatura de 4 °C é 1000,0 kg/m<sup>3</sup>. As soluções apresentaram valores maiores para a mesma temperatura. Os alcoóis puros são mais densos, fazendo com que a mistura de cada álcool com a água tenha uma maior massa específica.

Para efeito de comparação inicial, as massas específicas do etilenoglicol, propilenoglicol e glicerol puros são, respectivamente, 1113 kg/m<sup>3</sup>, 1040 kg/m<sup>3</sup> e 1261 kg/m<sup>3</sup>, a temperatura de 20 °C (SOLOMONS, FRYHLE, 2007). A água nesta temperatura apresenta massa específica de 998,3 kg/m<sup>3</sup>, segundo o programa SecCool. Pode-se dizer a priori que o glicerol altera mais a massa específica, e o propilenoglicol o que menos modifica.

Baseando-se nessa premissa inicial, o resultado para a massa específica de cada amostra foi o esperado. Realmente verificou-se que o propilenoglicol alterou menos a massa específica, com o valor inicial 1024,0 kg/m<sup>3</sup> para adição de 20% em massa, atingindo o valor final de 1050,8 kg/m<sup>3</sup> para concentração de 50%. A mudança com o menor teor em massa foi de 2,4% e a maior de 5,1% em relação a massa específica da água pura. O etilenoglicol modificou a propriedade de forma parecida com o propilenoglicol, alterando em 3,2% inicial (20% em massa), para os 7,6% na maior concentração (50% em massa).

O glicerol foi o que mais variou o valor da massa específica de todas as soluções. Inicialmente, com a concentração de 20% em massa, a alteração foi de 5,1%. Para 50% de soluto, a variação ficou em 13,4%, com o valor de 1134,3 kg/m<sup>3</sup>.

Na figura 4 é representada as curvas de variação da massa específica para cada álcool em função da sua concentração. Os valores foram obtidos a temperatura de 4 °C. Percebe-se que o glicerol aumenta a massa específica de forma mais intensa que o propilenoglicol e o etilenoglicol, enquanto estes últimos possuem comportamento similar na alteração desta propriedade.



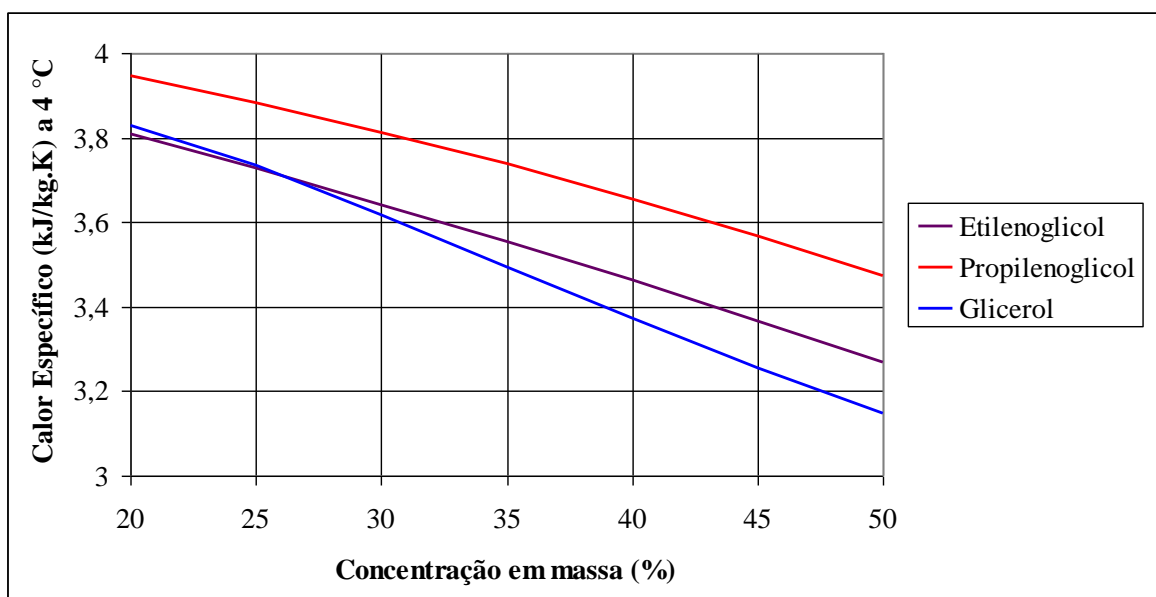
**Figura 4: Variação da Massa Específica a 4 °C**

## CALOR ESPECÍFICO

Uma das propriedades mais relevantes na termodinâmica é o calor específico. Trata-se da energia necessária para elevar a temperatura em uma unidade por uma unidade de massa de uma substância (ÇENGEL, BOLES, 2006). Quanto maior for o calor específico de uma substância, maior a dificuldade para sofrer variações em sua temperatura.

O calor específico das substâncias varia de acordo com a temperatura, porém essa variação é de pequena ordem, podendo ser desprezada e considerada constante. O calor específico sofre mudança abrupta no seu valor, quando uma substância muda de fase.

O valor numérico para o calor específico de cada solução é fundamental para seleção e uso como fluido secundário. Neste estudo, foi analisada a variação desta propriedade com relação ao álcool e sua concentração utilizada. A figura 5 mostra as curvas do calor específico *versus* concentração para cada álcool obtido a temperatura de 4 °C.



**Figura 5: Variação do Calor Específico a 4 °C**

Avaliando os dados apresentados nas tabelas 1 a 5, verifica-se inicialmente que todas as amostras possuem valores menores do calor específico quando comparados ao da água pura. Neste caso, é mais fácil modificar o estado termodinâmico das misturas do que da água propriamente pura.

Observando o gráfico acima, foi verificado que o glicerol apresenta uma curva mais inclinada que a do etilenoglicol e do propilenoglicol. Entre as concentrações de 20% e de 30%, o glicerol apresenta uma curva similar a dos outros alcoóis e com valores bem próximos do etilenoglicol. Isso significa dizer que o glicerol tem comportamento semelhante ao etilenoglicol dentro deste intervalo e, de forma geral, a adição de glicerol promove maiores reduções do calor específico quando comparado aos outros alcoóis. Numericamente falando, a maior redução que o glicerol promove, na concentração de 50%, é de 25,2%. Os outros alcoóis em sua máxima concentração reduzem 22,2% e 17,4% respectivamente para o etilenoglicol e propilenoglicol.

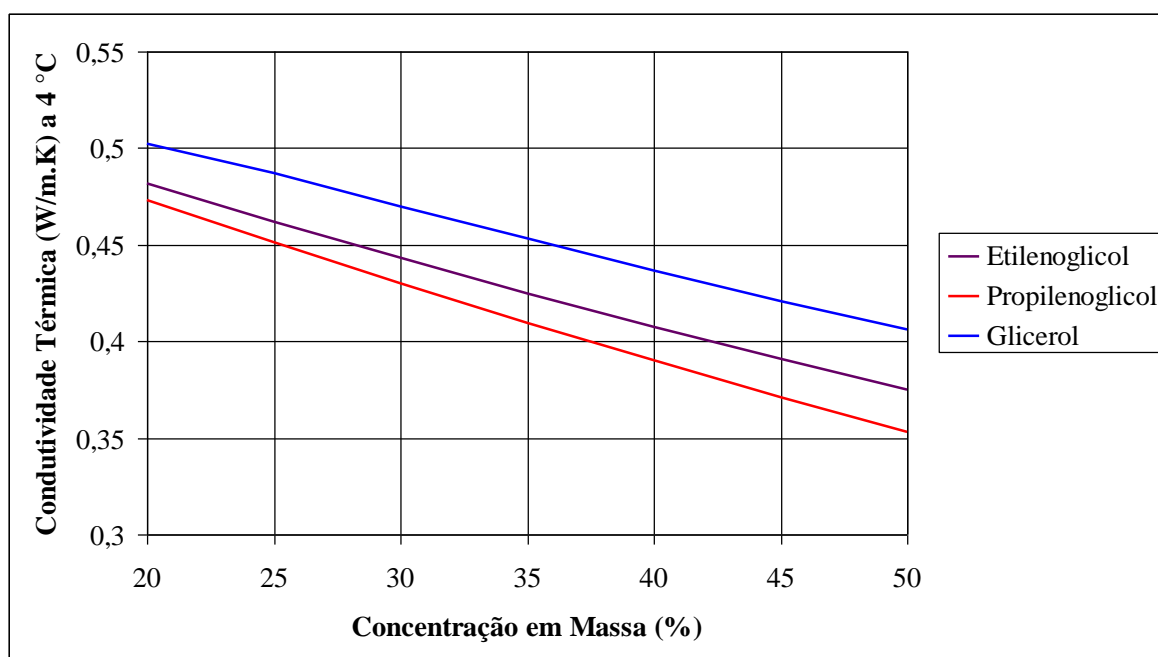
É importante ressaltar que há um ponto em comum entre as curvas do glicerol e do etilenoglicol: quando a concentração em massa atinge 26%, o valor do calor específico é de 3,71 kJ/kg.K para ambas as misturas. Neste ponto, as duas soluções possuem a mesma característica térmica, requerendo a mesma quantidade de calor para alterar a temperatura.

## CONDUTIVIDADE TÉRMICA

A condutividade térmica é uma propriedade de transporte característica de cada material, que indica a taxa com qual um dado material pode transportar energia sob condições determinadas de geometria e temperatura. O mecanismo de transferência de calor por condição em materiais sólidos é bastante conhecido, sendo que nos fluidos são mais difíceis de serem descritas e os mecanismos envolvidos ainda não são bem definidos. Estima-se que o mecanismo de transferência de calor nos líquidos seja semelhante aos dos gases, ou seja, por colisões moleculares e difusão molecular (ÇENGEL, 2007)

Além dos efeitos do estado do material, a condutividade térmica é função da temperatura também. Para os líquidos não-metálicos, a condutividade térmica geralmente diminui com o aumento da temperatura. A água e o glicerol puros são exemplos de exceções à regra, onde o seu comportamento é diferenciado da grande maioria dos fluidos líquidos (INCROPERA, 2002).

No caso dos fluidos secundários analisados, a variação da condutividade térmica da mistura é função da concentração do álcool adicionado, para uma dada temperatura constante. Em todas as amostras o valor numérico da condutividade térmica diminuiu com o incremento da concentração em massa dos alcoóis. Na figura 6 é representada essa variação:



**Figura 6: Variação da Condutividade Térmica a 4 °C**

O glicerol puro possui a maior condutividade térmica entre os alcoóis estudados, 0,286 W/m.K a 300 K, enquanto que o etilenoglicol e o propilenoglicol puros possuem a 300 K, respectivamente, 0,252 W/m.k e 0,206 W/m.K. Assim, observando o gráfico acima, vê-se que se mantêm as mesmas características, quando os alcoóis são os solutos das soluções.

Na concentração de 20%, o propilenoglicol e o etilenoglicol têm os valores de condutividade bem próximos, com uma diferença de apenas 1,87%. A diferença para o glicerol é de 4,08% e 5,87% respectivamente para o etilenoglicol e o propilenoglicol. Conforme a quantidade de soluto é aumentada às diferenças de condutividade entre as soluções aumentam, chegando 13,1% entre glicerol e propilenoglicol, e 7,68% quando se comparam glicerol e etilenoglicol, todos na concentração de 50%.

Assim sendo, a menor diferença entre a condutividade térmica entre a água pura e as soluções estudadas é de 11,9%, para a amostra de água e glicerol a 20%. A maior diferença está na solução água/propilenoglicol: redução de 38,1% da condutividade a 50% em massa de concentração. A maior redução do etilenoglicol a 50% está bem próxima a do propilenoglicol, com o decremento em 34,3% da condutividade térmica.

## CONCLUSÕES

A partir dos dados e gráficos apresentados, é possível tirar conclusões a respeito das propriedades termofísicas dos fluidos secundários mostrados anteriormente. Essas propriedades exprimem as características destes fluidos para um uso mais eficiente em sistemas de refrigeração por expansão-indireta, destacando a importância de menores impactos ambientais, como a redução de energia elétrica e das cargas dos fluidos refrigerantes.

Para cada propriedade analisada, existe uma conclusão a ser considerada, respeitando as características de cada amostra:

- **Ponto de Fusão:** A aplicação de um anticongelante na água é justamente para reduzir o seu ponto de fusão. Todos os alcoóis analisados cumpriram essa função. O etilenoglicol possui o melhor desempenho na redução: sua curva se torna acentuada quando a concentração é aumentada. O propilenoglicol apresenta características semelhantes ao etilenoglicol, mostrando que é uma alternativa. O glicerol não reduz de forma tão intensa quanto os outros alcoóis, no entanto, nas concentrações entre 20% e 30% tem comportamento aproximado ao propilenoglicol. O aumento da concentração do glicerol não proporciona uma redução tão eficiente do ponto de fusão.
- **Massa Específica:** A massa específica aumentou em todas as soluções analisadas. O fato de que o glicerol puro possuir a maior massa específica entre os alcoóis estudados justifica o maior acréscimo, quando comparado ao da água pura. Esse incremento é útil em processos de termoacumulação, pois reduz o volume dos tanques termoacumuladores, com melhoria das características de portabilidade e construção do sistema. O propilenoglicol e o etilenoglicol apresentam menores incrementos, apresentando esta característica de forma semelhante.
- **Calor Específico:** Verificou-se que em todas as amostras houve uma redução do valor desta propriedade. Essa redução diminui a inércia térmica da solução e é um fator determinante na especificação e seleção do anticongelante. O propilenoglicol é o soluto que menos diminuiu o calor específico. O glicerol e o etilenoglicol possuem características termodinâmicas aproximadas para concentrações em massa entre 20% e 30%, havendo um ponto comum entre eles a 26% de concentração. Depois dos 30%, o glicerol promove uma redução maior no calor específico, sendo a solução que menos requer calor para alterar sua temperatura.
- **Condutividade Térmica:** O comportamento dos alcoóis misturados em diferentes concentrações foi similar. Todas as amostras reduziram a condutividade térmica. O glicerol merece destaque por conseguir o menor decremento: uma perda de apenas 11,9% para 20% em massa. O etilenoglicol e o propilenoglicol proporcionam um menor efeito na transmissão de calor, com perdas de até 38% para o propilenoglicol na concentração de 50%. Essas diferenças são capazes de alterar um processo de transferência de calor por condução em mais de 10%, sendo mais crítico ainda quando a concentração dos solutos é de 50%. A condutividade térmica é uma propriedade essencial de um fluido térmico num projeto de trocadores de calor.

O glicerol merece destaque como um anticongelante se tratando da condutividade térmica e massa específica, além de não ser tóxico e com alta disponibilidade no mercado;

entretanto, possui uma inércia térmica baixa para um processo de termoacumulação e com pequenas reduções no ponto de fusão.

O etilenoglicol mostrou ser o fluido que apresenta propriedades intermediárias mais adequadas como aditivo em fluidos secundários, justificando o seu grande uso comercial e industrial, apesar de ser tóxico. O propilenoglicol tem características termofísicas próximas ao do etilenoglicol, porém menores, exceção ao seu alto calor específico. Pode ser uma alternativa ao etilenoglicol como anticongelante atóxico.

Em suma, dentre as análises de cada propriedade, verificou-se que, a menos da impossibilidade de operar a temperaturas abaixo de 0 °C, a água pura sempre será o melhor fluido secundário, com vantagens superiores em relação a qualquer outra solução aquosa. Avaliando os alcoóis estudados, não se pode considerar que tal álcool em tal concentração é o melhor aditivo anticongelante. Cada um alterou as propriedades das soluções, conforme suas características intrínsecas. Todos realizaram o principal objetivo de permitir que a solução tenha o ponto de fusão menor que o da água pura.

## REFERÊNCIAS

1. ASHRAE. **HVAC Systems and Equipment**. Atlanta, United States: American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning, 2008.
2. BARBOSA, L. C. de A. **Introdução à Química Orgânica**. São Paulo, Brasil: Prentice Hall, 2004.
3. ÇENGEL, Y. A., BOLES, M. A. **Thermodynamics: An Engineering Approach**. 6th edition. New York, United States: McGraw-Hill, 2006.
4. ÇENGEL, Y. A. **Heat and Mass Transfer: A Practical Approach**. 3rd edition. New York, United States: McGraw-Hill, 2007.
5. CARRIER AIR CONDITIONING CO. **Handbook of Air Conditioning System Design**. New York, United States: McGraw-Hill, 2003.
6. CHUMIOQUE, J. J. R. **Simulação de um Sistema de Refrigeração com Termoacumulação operando em Regime Transiente**. Rio de Janeiro, Brasil, 2004. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Mecânica – Pontifícia Universidade Católica, 2004.
7. DOSSAT, R. J., HORAN, T. J. **Principles of Refrigeration**. 5th edition. New Jersey, United States: Prentice Hall, 2001.
8. FINK, J. K. **Oil Field Chemical**. Burlington, United States: Gulf Professional Publishing, 2003.
9. INCROPERA, F. P., DEWITT, D. P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 4ª edição. São Paulo, Brasil: LTC, 2002.
10. JAKOBSEN, A., et al. **CoolPack: a collection of simulation tools for refrigeration**. Lyngby, Denmark: IPU & Department of Mechanical Engineering Technical – University of Denmark, 2001.
11. MELINDER, A. **Thermophysical Properties of Aqueous Solution Used as Secondary Working Fluids**. Stockholm, Sweden, 2007. Doctoral Thesis – Dept. of

- Energy Technology, School of Industrial Engineering and Management – Royal Institute of Technology, 2007.
12. PRUZAESKY, F. C., et al. **Pasta de gelo e nanofluidos em sistemas de refrigeração. Climatização e Refrigeração**, edição n° 96, p. 47-60, 2008.
  13. ROTH, K., ZOGG, R., BRODRICK, J. **Cool Thermal Energy Storage**. ASHRAE Journal, vol. 48, p. 94-96, 2006.
  14. SKOVRUP, M. J. **SecCool Properties: users manual**. Lyngby, Denmark: IPU & Department of Mechanical Engineering Technical – University of Denmark, 2005.
  15. SOLOMONS, T. W. G., FRYHLE, C. **Organic Chemistry**. 9th edition. Hoboken, United States: John Wiley & Sons, 2007.
  16. TICONA, E. M. **Determinação Experimental das Características de Transferência de Calor de um Gerador de Pasta de Gelo**. Rio de Janeiro, Brasil, 2007. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia Mecânica – Pontifícia Universidade Católica, 2007.
  17. WYLEN, G., SONNTAG, R., BORGNAKKE, C. **Fundamentos da Termodinâmica**. 6ª edição. São Paulo, Brasil: Edgard Blücher, 2003.