

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DE FLUIDOS SECUNDÁRIOS PARA SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO INDIRETA ADITIVADO COM DIFERENTES SAIS MINERAIS

Robert Ricardo Delgado Alvarado

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

roberth_preci@hotmail.com

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

RESUMO:

Este trabalho investiga as propriedades termofísicas (ponto de fusão, condutividade térmica, massa específica, calor específico, viscosidade dinâmica e viscosidade cinemática) em fluidos secundários a base de sais minerais que podem ser usados em sistemas de refrigeração com termoacumulação. Os sais minerais utilizados foram o cloreto de magnésio, cloreto de sódio e o cloreto de cálcio. Estes foram escolhidos em razão de suas propriedades termofísicas, estabilidade química miscibilidade em água, muito embora apresentem também características negativas de corrosividade. Os dados de propriedades dos fluidos secundários foram simulados com auxílio do software *SecCool*, utilizando-se o banco de dados do pesquisador *Melinder*. As concentrações mássicas foram estabelecidas dentro dos valores que o simulador computacional permitia, no intervalo de 9% até 20%. Os resultados obtidos confirmaram a hipótese investigativa inicial abaixamento do ponto de fusão das soluções (água+anticongelante) com o aumento da concentração mássica do soluto (sais minerais). Foram observados ainda que o calor específico e a condutividade térmica diminuem enquanto que a viscosidade cinemática, a viscosidade cinemática e a massa específica aumentam com o acréscimo da concentração mássica dos solutos. Finalmente, o cloreto de magnésio, dentre os sais analisados, foi o anticongelante que apresentou o conjunto das melhores propriedades termofísicas para aplicação em sistemas de refrigeração como fluido secundário.

PALAVRAS-CHAVE: Fluidos secundários, refrigeração, sais minerais, propriedades termofísicas, termoacumulação.

ANALYSIS OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF SECONDARY FLUIDS FOR INDIRECT REFRIGERATION SYSTEMS ADDITIVATED WITH DIFFERENT MINERAL SALTS

ABSTRACT:

This work investigates as thermophysical properties, specific calorific, dynamic viscosity and kinematic viscosity in fluids based on mineral salts that are used in thermoaccumulation refrigeration systems. The salts were used in magnesium chloride, sodium chloride and calcium chloride. These were sought because of their thermophysical properties, chemical stability, water characteristics, and also exhibit negative corrosivity. The properties data of the secondary fluids were simulated using the SecCool software, using the database of the researcher Melinder. The mass assemblies were included within the values that the computational simulator allowed, in the range of 9% up to 20%. The results obtained for an initial investigational analysis of the melting point of the solutions (water + antifreeze) with the increase of the mass concentration of the solute (mineral salts). It was observed that the specific heat and the thermal conductivity decrease while the kinematic viscosity, kinematic viscosity and capacity increase with the addition of the mass concentration of the solutes. Finally, the magnesium, among the salts, was the antifreeze that presented the set of the best thermophysical properties for the application in refrigeration systems as the secondary fluid.

KEYWORDS: Secondary Fluids, refrigeration, mineral salts, Thermophysical Properties, thermoaccumulation.

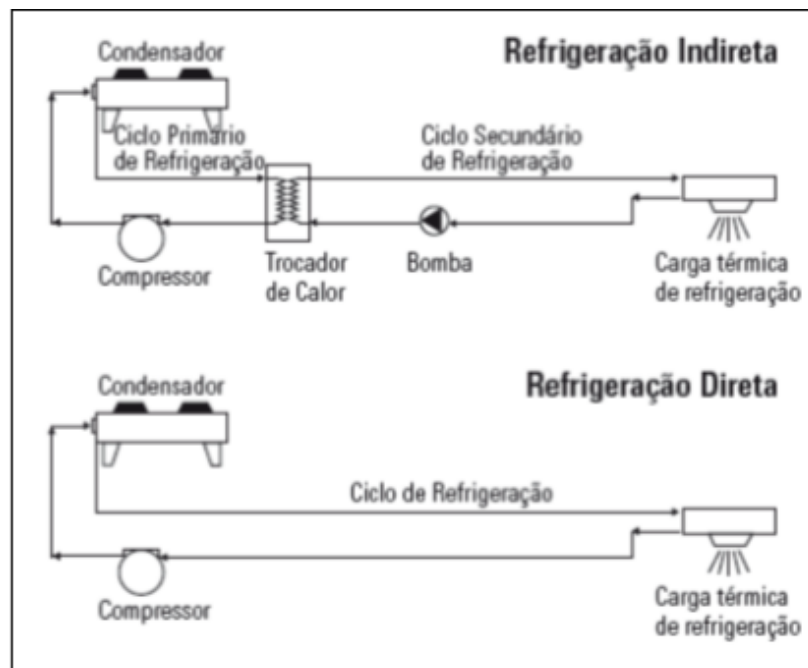
INTRODUÇÃO:

Uma nova era vem se consolidando na qual estuda-se maneiras de aliar crescimento econômico mantendo a preservação dos recursos naturais de forma inteligente para que eles se mantenham no futuro, sustentabilidade.

O presente trabalho é um exemplo da mesma, onde, se justificara a utilização da termoacumulação a qual se caracteriza por acumular energia em períodos noturnos, de baixa demanda, para ser usado em períodos de alta demanda visando reduzir o consumo energético (ASHRAE, 2016).

Existem dois tipos de sistemas de refrigeração, por expansão direta e por expansão indireta. A Figura 1 mostra o diagrama esquemático dos sistemas de refrigeração direta e indireta

Figura 1: Esquema comparativo de refrigeração de expansão indireta e expansão direta



Fonte: TICONA, 2007.

No primeiro, o sistema de refrigeração se dá através do fluido refrigerante primário que entra no compressor a baixa pressão e temperatura, saindo a alta pressão e temperatura seguindo para a unidade condensadora, onde o mesmo já líquido sai a alta pressão e temperatura. Em seguida passa pela válvula de expansão diminuindo a pressão e temperatura, finalmente o fluido de refrigeração passa pelo evaporador e começa um novo ciclo. Devido ao refrigerante entrar em contato direto com o meio que se quer refrigerar o processo é chamado de sistema de expansão direta.

No segundo, o refrigerante primário do “*Chiller*” resfria o fluido secundário (água+anticongelante) que circula através de dutos até os *Fancoils*, equipamentos que promovem a troca de calor entre o meio a ser climatizado e o fluido secundário. Fechando o circuito, a água retorna ao *Chiller* onde troca calor com o refrigerante primário que circula no mesmo e assim o calor retirado do fluido secundário é rejeitado para o ambiente, para a atmosfera. Desta maneira é possível então utilizar o sistema de refrigeração indireta com ou sem termoacumulação, utilizando-se fluidos secundários.

Do ponto de vista econômico estes dois sistemas se tornam interessantes, mas quando aplicado em indústrias de grande porte ou grandes projetos de climatização o primeiro não se enquadra como uma opção viável ambientalmente e economicamente.

Nos casos em que são necessários longos circuitos entre a unidade condensadora e a evaporadora, o fluido primário em circulação nas tubulações estaria sujeito a perda de carga considerável e possíveis vazamentos comprometeriam o meio ambiente, com elevação dos custos de manutenção e operação.

A solução para este impasse é a refrigeração por expansão indireta com termoacumulação, onde o fluido primário circula no chiller, garantindo um pleno controle e manutenção a baixo custo, e um fluido secundário de baixo custo e ambientalmente correto é refrigerado e utilizado para acumular energia em períodos noturnos, de baixo custo elétrico, e podendo ser utilizado em horários de pico evitando assim o alto consumo energético e tornando-se a instalação mais sustentável.

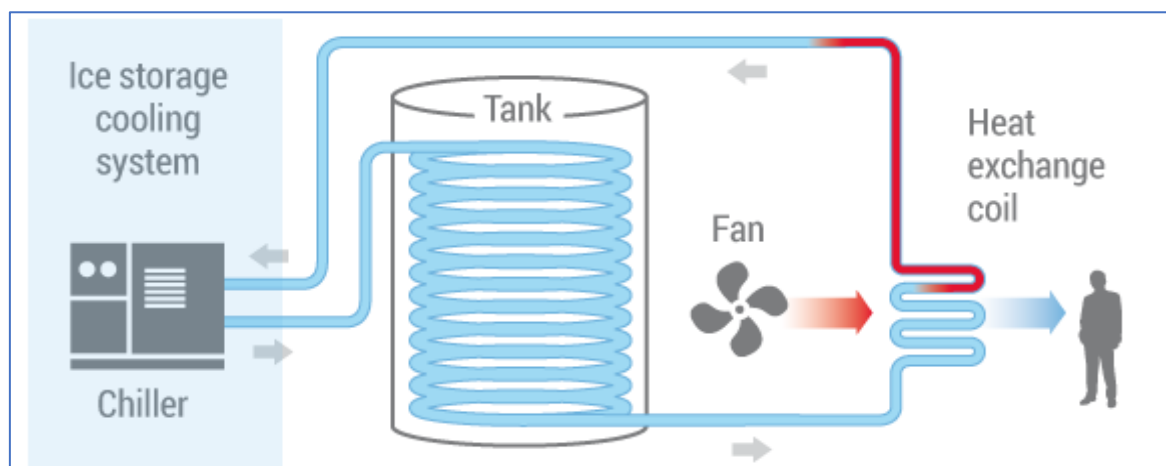


Figura 2: Sistema de refrigeração indireta com termoacumulação

Fonte: WULFINGHOFF, 2009

Os fluidos secundários apresentam alto calor específico, boa condutividade térmica, baixo impacto ambiental, não tóxicos, inertes quimicamente e de baixo custo. Estas qualidades são altamente desejáveis em instalações de sistemas de refrigeração indireta com termoacumulação.

A água pura apresenta estas características, porém tem um ponto de fusão a zero grau Celsius que a torna inviável para aplicação em sistemas de refrigeração indireta com

termoacumulação com temperaturas de operação abaixo de zero grau *Celcius*, pois congela e assim impossibilita o escoamento do fluido secundário nas instalações frigoríficas.

Para resolver isto é possível utilizar solutos que continuem a manter boas propriedades termofísicas da água pura, mas, que diminuam seu ponto de fusão.

METODOLOGIA:

A fim de obter as propriedades termofísicas foi utilizado o programa *SecCool*, desenvolvido pelo departamento de engenharia mecânica da Universidade de Dinamarca, o qual contém uma biblioteca com as propriedades termofísicas de diversos fluidos secundários baseados, entre outros, nos parâmetros experimentais do pesquisador Ake Melinder, cientista do Departamento de Tecnologias de Energia do Royal Institute of Technology da Suécia, e da ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers).

Ao misturar um anticongelante com a água, esta tem as suas propriedades termofísicas (massa específica, ponto de fusão, calor específico, viscosidade, condutividade térmica etc) modificadas de acordo com a quantidade de soluto inserida na solução.

Em princípio, pressupõe-se que quanto maior a quantidade de anticongelante, menor o ponto de fusão da solução, que é um dos principais fatores analisados. Os aditivos anticongelantes selecionados na presente pesquisa foram os sais minerais: cloreto de magnésio, cloreto de sódio e cloreto de cálcio.

As concentrações em massa dos solutos analisados variam entre 9% a 20%. Esses valores foram escolhidos devido a que no programa as concentrações em massa dos sais minerais oferecidos apresentam um limite que varia de acordo com cada substância e fazendo uma superposição desses limites, encontram-se concentrações comuns que variam dentro do range escolhido.

Assim, foram selecionadas as concentrações mássicas de 9, 12, 16 e 20%, respectivamente, para simulação das propriedades termofísicas dos sais minerais pré-selecionados.

As propriedades termofísicas dos sais minerais, objeto da investigação foram: o ponto de fusão, a massa específica, o calor específico, a condutividade térmica, a viscosidade dinâmica e a viscosidade cinemática.

Os valores foram obtidos fixando-se a temperatura de 4 °C, pois nessa temperatura a água possui maior massa específica, sendo definida como referência para a análise. Os dados de propriedades termofísicas do *SecCool* foram posteriormente organizados em tabelas e gráficos a fim de se fazer uma análise comparativa.

RESULTADO E DISCUSSÕES:

Com base nos dados coletados através do programa *SecCool*, valores numéricos das propriedades termofísicas de cada amostra, além da água pura, são apresentados nas Tabelas a seguir:

Tabela 1: Propriedades termofísicas da água pura

Produto e Concentração	Propriedades Termofísicas					
	Ponto de fusão (°C)	Massa Específica (kg/m ³)	Calor específico (kJ/kg.K)	Condutividade térmica (W/m.K)	Viscosidade dinâmica (cP)	Viscosidade cinemática (cSt)
Água pura a 4°C	0,00	1000,0	4,205	0,5704	1,569	1,569

Tabela 2: Propriedades termofísicas de misturas água/sal - 9%

Produto e Concentração	Propriedades Termofísicas					
	Ponto de fusão (°C)	Massa Específica (kg/m ³)	Calor específico (kJ/kg.K)	Condutividade térmica (W/m.K)	Viscosidade dinâmica (cP)	Viscosidade cinemática (cSt)
9% a 4°C						
Cloreto de magnésio	-7,06	1077,5	3,635	0,5493	2,318	2,152
Cloreto de sódio	-5,79	1072,3	3,734	0,5628	1,778	1,658
Cloreto de cálcio	-4,99	1076,9	3,683	0,5623	1,906	1,77

Tabela 3: Propriedades termofísicas de misturas água/sal-12%

Produto e Concentração	Propriedades Termofísicas					
	Ponto de fusão (°C)	Massa Específica (kg/m ³)	Calor específico (kJ/kg.K)	Condutividade térmica (W/m.K)	Viscosidade dinâmica (cP)	Viscosidade cinemática (cSt)
12% a 4°C						
Cloreto de magnésio	-11,39	1104,6	3,466	0,5421	2,730	2,471
Cloreto de sódio	-8,15	1093,4	3,621	0,5606	1,893	1,731
Cloreto de cálcio	-7,52	1106,2	3,459	0,5606	2,071	1,873

Tabela 4: Propriedades termofísicas de misturas água/sal-16%

Produto e Concentração	Propriedades Termofísicas					
16% a 4°C	Ponto de fusão (°C)	Massa Específica (kg/m ³)	Calor específico (kJ/kg.K)	Condutividade térmica (W/m.K)	Viscosidade dinâmica (cP)	Viscosidade cinemática (cSt)
Cloreto de magnésio	-18,93	1141,8	3,260	0,5318	3,481	3,049
Cloreto de sódio	-11,88	1122,2	3,495	0,5574	2,089	1,862
Cloreto de cálcio	-12,32	1144,4	3,252	0,5553	2,390	2,088

Tabela 5: Propriedades termofísicas de misturas água/sal-20%

Produto e Concentração	Propriedades Termofísicas					
20% a 4°C	Ponto de fusão (°C)	Massa Específica (kg/m ³)	Calor específico (kJ/kg.K)	Condutividade térmica (W/m.K)	Viscosidade dinâmica (cP)	Viscosidade cinemática (cSt)
Cloreto de magnésio	-28,67	1179,0	3,063	0,5204	4,578	3,883
Cloreto de sódio	-16,49	1154,1	3,390	0,5538	2,334	2,031
Cloreto de cálcio	-18,29	1184,7	3,069	0,5508	2,884	2,401

A partir desses dados será analisada cada propriedade termofísica separadamente em função do sal mineral e da sua concentração na solução.

PONTO DE FUSÃO:

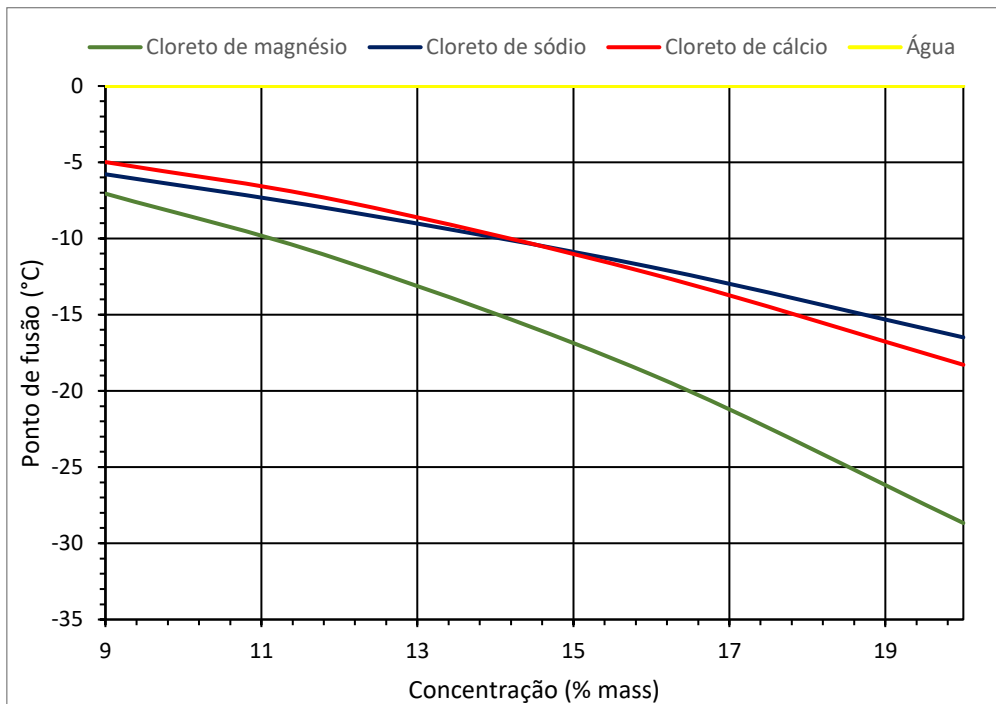


Figura 3: Variação do Ponto de Fusão em função da concentração

Foi possível observar todas as soluções que quando se aumenta a concentração do soluto na solução ocorre uma redução do ponto de fusão, condição que é desejada ao adicionar um anticongelante na água pura utilizada em um sistema de refrigeração indireta.

O cloreto de cálcio e o cloreto de sódio apresentam valores similares, porém a partir da concentração de 16% o cloreto de sódio tende a não diminuir com a mesma efetividade do cloreto de cálcio.

A redução do ponto de fusão é um dos principais objetivos, nota-se que o cloreto de magnésio apresenta os melhores resultados, com valores mínimos de $-7,6\text{ °C}$ a 9% de concentração mássica e máxima de $-28,67\text{ °C}$ a 20% de concentração mássica.

MASSA ESPECÍFICA:

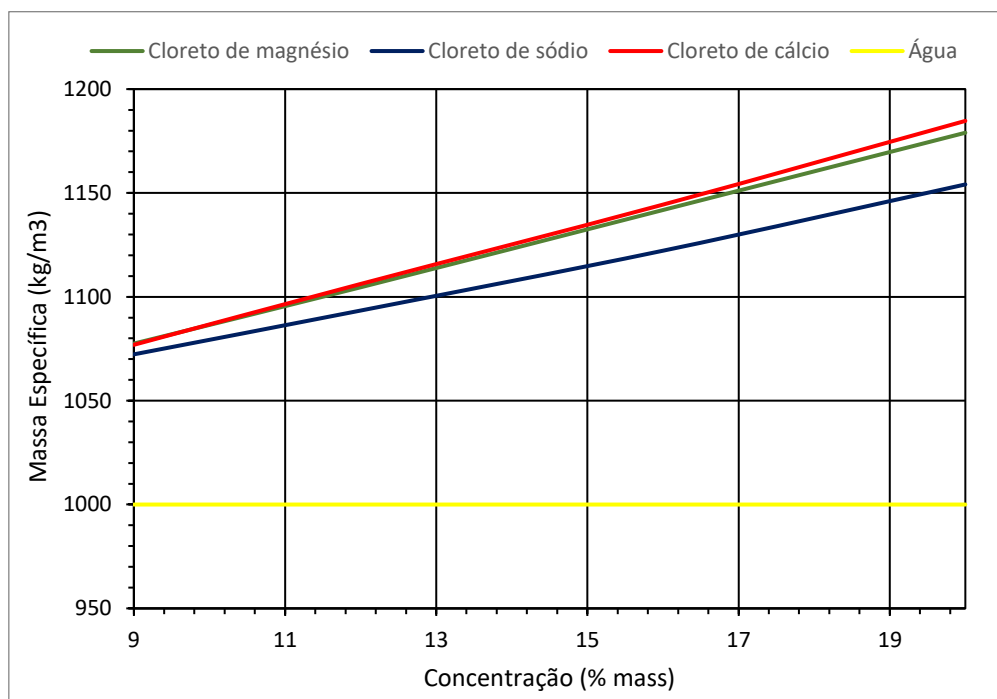


Figura 4: Variação da massa específica em função da concentração

A água pura a 4 graus Celsius tem massa específica de 1000 kg/m^3 como pode ser visto na tabela 1. Os sais minerais puros apresentam uma densidade maior que da água pura e quando adicionados a água pura, formando uma solução, o valor da massa específica tende a aumentar.

Com base no gráfico da Figura 4 pode-se notar que o cloreto de magnésio e o cloreto de cálcio apresentam comportamento muito próximo com valores mínimos de $1077,5 \text{ kg/m}^3$ e $1076,9 \text{ kg/m}^3$ a 9% de concentração mássica, respectivamente, e máximos de $1179,0 \text{ kg/m}^3$ e $1184,7 \text{ kg/m}^3$ com 20% de concentração mássica, respectivamente.

O que apresentou menor variação foi o cloreto de sódio com valores mínimos de $1072,3 \text{ kg/m}^3$ e $1154,1 \text{ kg/m}^3$ a 9% e 20% de concentração mássica respectivamente.

Em termos de porcentagem o que teve menor aumento na massa específica foi o cloreto de cálcio, aumentando apenas 7,3% a 9% de concentração mássica.

Ainda em porcentagem o maior aumento, 18,5%, foi o observado para o cloreto de cálcio quando este estava em sua maior concentração, 20%.

CALOR ESPECÍFICO:

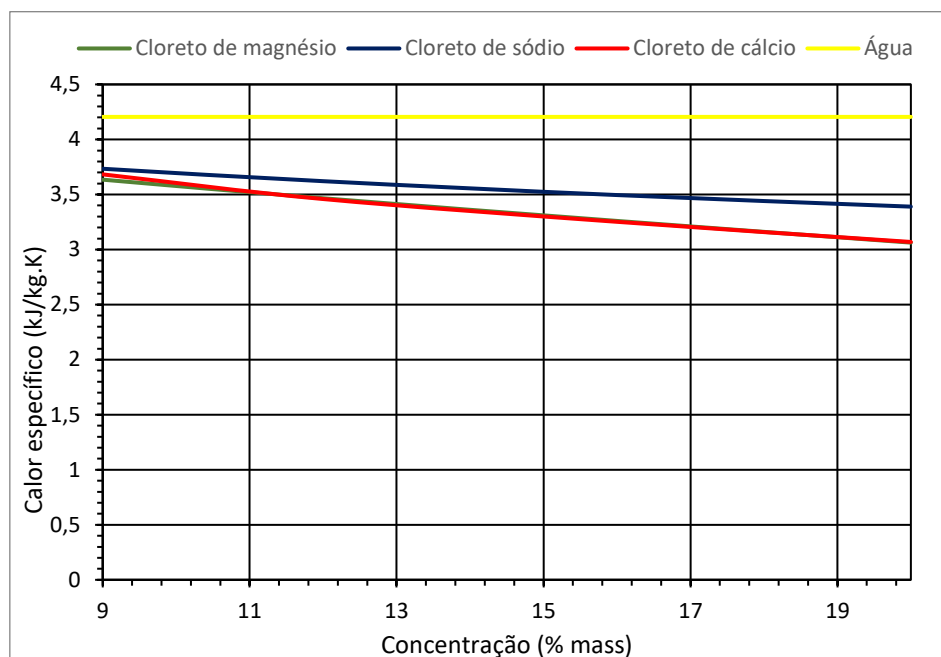


Figura 5: Variação do calor específico em função da concentração

Esta é definida como a quantidade de calor necessária para que um grama de qualquer substância varie sua temperatura em uma unidade (ÇENGEL, BOLES, 2006). Percebe-se a importância desta propriedade termodinâmica no processo de refrigeração onde valores altos indicam uma maior dificuldade de variação de temperatura. Assim sendo o valor numérico de cada solução se torna importante no momento de escolher qual soluto recomendar.

O calor específico não sofre grandes variações em mudanças de temperaturas, já quando existe uma mudança de fase as variações tornam-se relevantes, sendo assim, todos os dados obtidos foram a uma temperatura de 4 graus celsius. Na figura 5 podemos verificar o comportamento do calor específico para cada solução à medida que se varia a concentração mássica.

Percebe-se que o cloreto de magnésio e o cloreto de cálcio apresentam valores extremamente próximos, diferindo um pouco apenas quando a concentração mássica foi de 9% com valores de 3,635 kJ/kg. K e 3,683 kJ/kg.K respectivamente. O cloreto de sódio difere dos anteriores e apresenta os maiores valores tanto na concentração mínima quanto na máxima sendo estes, 3,734 kJ/kg.K e 3,390 kJ/kg.K, respectivamente. Nota-se que a medida que aumenta-se a concentração de soluto o valor de calor específico sofre uma diminuição, onde novamente o cloreto de magnésio e cloreto de cálcio apresentam a maior abaixamento do calor específico em relação ao da água pura reduzindo em quantidade bastante aproximadas de 27,15% e 27,02%, respectivamente, enquanto que o cloreto de sódio apresenta redução de 19,38%, todos estes em sua concentração máxima.

CONDUTIVIDADE TÉRMICA:

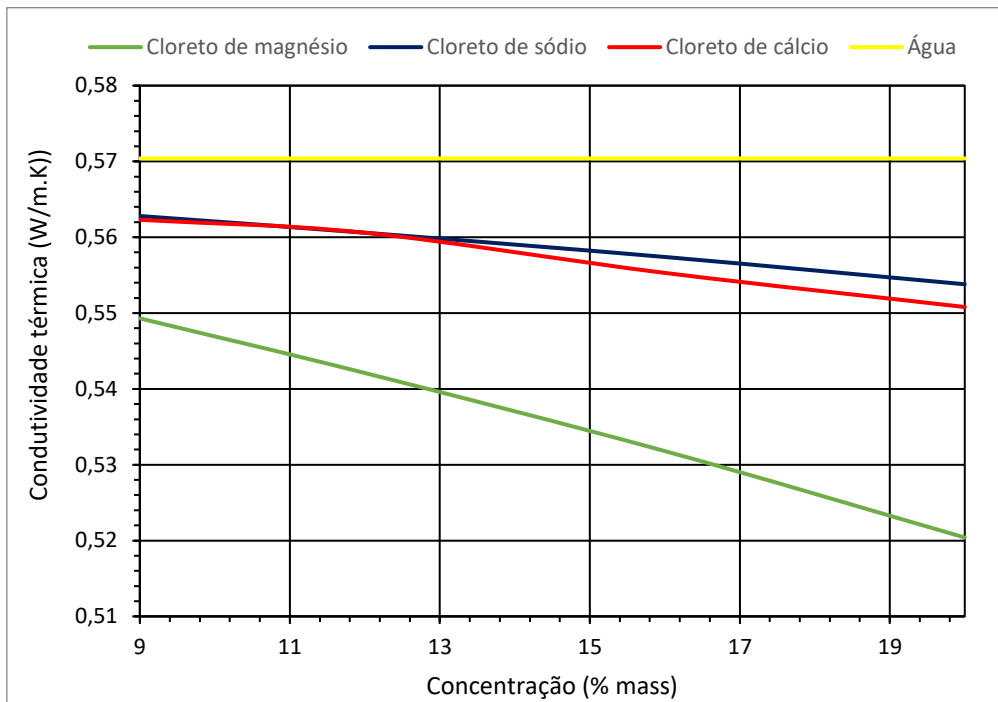


Figura 6: Variação da condutividade térmica em função da concentração

Ela é definida como sendo uma energia em trânsito que vai no sentido do corpo de maior temperatura para o corpo de menor temperatura, é também uma propriedade que varia de acordo com o tipo de material e geometria, por exemplo, pisos cerâmicos e pedras tem uma maior taxa de transferência do que a madeira ou borracha. Em materiais sólidos o mecanismo de transferência de calor é conhecido, já nos fluidos são mais difíceis de serem descritos sendo comparados ao comportamento dos gases, ou seja, por colisões moleculares e difusão molecular (ÇENGEL,2007).

Analisando o gráfico da figura 6 nota-se que à medida que se aumenta a concentração mássica os valores de condutividade térmica diminuem. O cloreto de sódio e o cloreto de cálcio apresentam comportamentos similares e no ponto de concentração mássica de 12% possuem o mesmo valor de 0,5606 W/m.K, 1,71% abaixo da condutividade térmica da água pura. A solução que apresenta menor valor de condutividade, porem a maior variação de valores entre 9% e 20% de concentração mássica é a solução com cloreto de magnésio, diminuindo entre 3,9% e 8,76% a condutividade da água pura. É possível observar também que para todas as misturas a condutividade térmica é inferior à da água pura.

VISCOSIDADE DINÂMICA

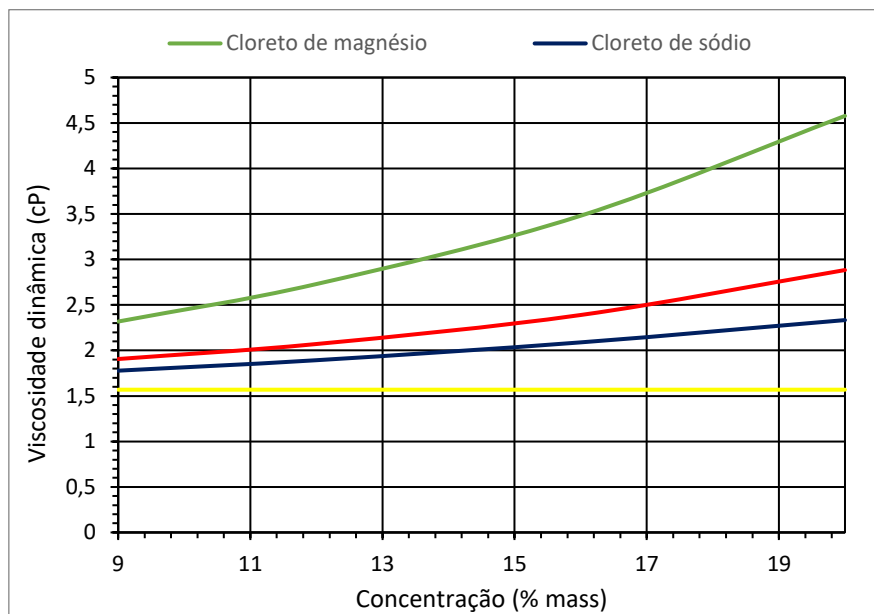


Figura 7: Variação da viscosidade dinâmica em função da concentração

A viscosidade pode ser definida como uma resistência que o fluido apresenta ao escoamento. Sendo que essa resistência é o atrito interno que é resultante do movimento de uma camada de fluido em relação à outra.

Um bom fluido secundário requer uma baixa viscosidade, o que ocasiona uma baixa perda de pressão e, conseqüentemente, necessita de uma baixa potência de bombeamento.

É possível observar na figura 7 acima que à medida que a concentração aumenta também há o aumento do valor da viscosidade dinâmica das misturas, apresentando-se todas acima da viscosidade da água pura, o que não é desejável. Tem-se que os menores valores de viscosidade são os do cloreto de sódio variando numa faixa entre 1,778 cP e 2,3 cP, em termos de porcentagem aumenta entre 13,32% a 48,75% em relação a viscosidade da água pura, tendo dentre as misturas apresentadas o valor mais próximo ao da viscosidade da água pura a 4 °C quando sua concentração é de 9%.

Os valores para o cloreto de cálcio apresentam-se um pouco maiores que os do cloreto de sódio, uma média de 13,54% maior. Já o cloreto de magnésio, por sua vez apresentou os valores mais elevados, o que não é desejável para um fluido secundário. De acordo com as tabelas e a figura 7 se observa que em sua concentração mínima, em 9%, seu valor inicial é de 2,318 cP, valor superior ao maior valor apresentado pelo cloreto de sódio em sua concentração máxima. Em sua concentração máxima, 20%, o valor da viscosidade dinâmica do cloreto de magnésio atingiu 4,578 cP, o que é 191% superior se comparado com a substância padrão, a água pura.

VISCOSIDADE CINEMÁTICA

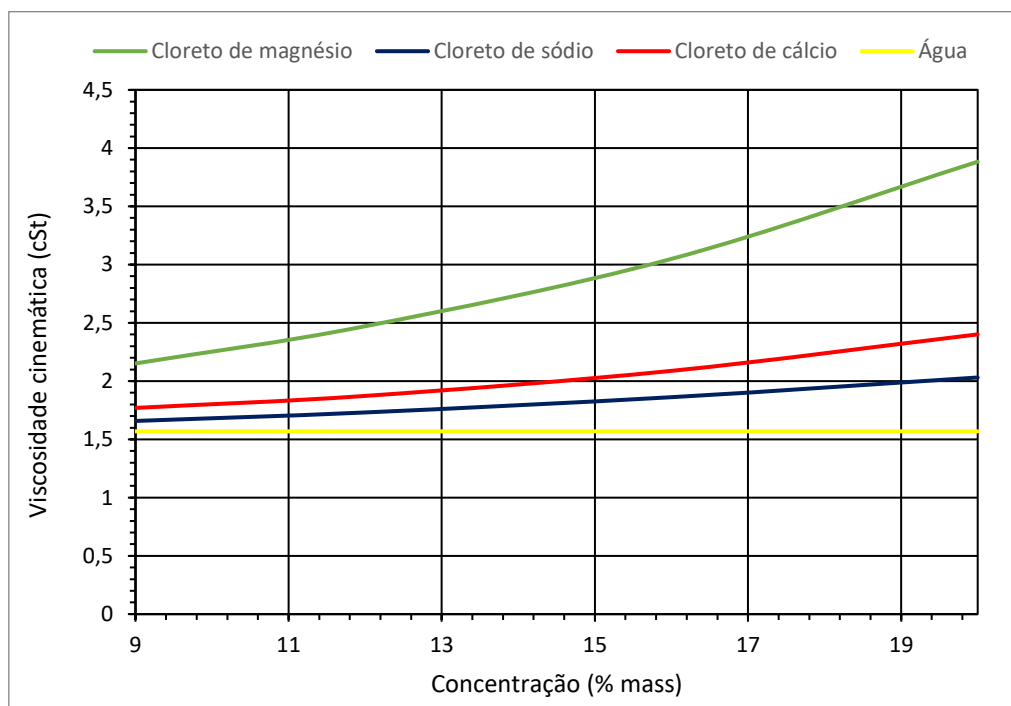


Figura 8: Variação da viscosidade cinemática em função da concentração

A relação entre a viscosidade dinâmica pela densidade de uma substância é a viscosidade cinemática. Da mesma forma que a viscosidade dinâmica é desejável que o fluido tenha uma baixa viscosidade cinemática para um funcionamento mais eficiente do sistema, bombas, tubulações, entre outros.

De forma semelhante ao que ocorreu com a viscosidade dinâmica os valores para viscosidade cinemática de todas as misturas aumentaram com o aumento da concentração, apresentando resultados superiores ao da água pura.

Novamente observa-se que o cloreto de sódio foi o que apresentou menores valores variando entre 1,658 e 2,0 cSt, tendo o valor bastante próximo ao da água em sua concentração mínima, 9%.

Assim como para viscosidade dinâmica o cloreto de magnésio apresentou valores bastante levados, dentre os quais no seu valor mínimo, 2,152 cSt a 9% de concentração mássica, foi superior ao máximo apresentado pelo cloreto de sódio. Quando se analisa o valor de sua viscosidade com 20% de concentração é possível observar que aquele é muito superior aos demais, 3,9 cSt, sendo 148% maior que o valor da água pura.

CONCLUSÕES:

A partir das tabelas e gráficos apresentados, é possível extrair respostas a respeito das propriedades termofísicas dos fluidos secundários analisados. Estas propriedades são de suma importância para determinar o melhor tipo de solução tendo em vista a diminuição de consumo energético e a consequente adequação em um quadro sustentável.

Para cada propriedade analisada, existe uma conclusão a ser tomada, considerando-se as características de cada amostra.

- Ponto de fusão: O objetivo de adicionar um sal mineral na água é tendo em vista a diminuição do ponto de fusão. Todas as soluções cumpriram esse objetivo. O cloreto de sódio e o cloreto de cálcio tiveram resultados similares, já o cloreto de magnésio apresentou os melhores resultados chegando a uma temperatura de fusão de $-28,67$ graus celsius para uma concentração de 20%. Isto a torna a mais versátil se o objetivo é trabalhar em indústrias com tuneis de conservação de alimentos.
- Massa específica: Esta propriedade é muito importante quando o objetivo é a portabilidade e a construção do sistema de refrigeração. Todas as soluções tiveram um acréscimo da sua massa específica se comparada a água a 4 graus celsius. Dentre as soluções a que mais se destacaram foram cloreto de magnésio e cloreto de cálcio tendo praticamente similitude do início ao fim, porém o último foi o que apresentou melhores resultados com uma massa específica de $1884,7 \text{ kg/m}^3$ a 20% de concentração mássica.
- Calor específico: Como foi dito anteriormente esta propriedade pode definir o tipo de solução a ser considerada, sabendo que, quanto maior o valor maior será a dificuldade para variar a temperatura. Verificou-se que em todas as amostras houve uma redução desta propriedade. O cloreto de sódio é o que apresenta uma diminuição menos acentuada, já o cloreto de magnésio e o cloreto de cálcio apresentam maiores reduções e praticamente os mesmos valores ao longo das várias concentrações.
- Condutividade térmica: Todos os sais minerais reduziram a condutividade térmica se comparadas a da água pura a 4 graus celsius. O destaque fica para as soluções de cloreto de sódio e cloreto de cálcio que apresentaram o menor decréscimo e comportamento similar. Não menos importante porém alguém dos já mencionados fica o cloreto de sódio onde, por exemplo, o valor da condutividade térmica a uma concentração de 9% é menor do que comparado ao cloreto de cálcio a uma concentração de 20%.

- Viscosidade cinemática e dinâmica: Esta propriedade está intimamente relacionada com o escoamento, quanto maior a viscosidade maior será a energia gasta para promover o deslocamento do fluido por todo o sistema de refrigeração secundária e tanque de armazenamento, levando a maiores custos de energia com bombas de maior potência. A solução de cloreto de magnésio apresentou os maiores valores de viscosidade tanto na viscosidade dinâmica quanto na cinemática. Os valores nesta em termos de porcentagem em relação a água pura foram de 148% superior a 20% de concentração mássica. O cloreto de cálcio e o cloreto de sódio são os que menos se afastam da curva da água pura, dando destaque para a solução de cloreto de sódio que apresenta a menor variação, % a 20% de concentração mássica se comparada a da água pura.

De acordo com os resultados todas as soluções apresentam uma propriedade física na qual se destacam. Por exemplo, o cloreto de magnésio apresenta a maior redução no ponto de fusão, característica bastante desejada num fluido secundário, porém, entre todos, foi o que apresentou os maiores valores de viscosidade dinâmica e cinemática, o que é compromete a viabilidade de seu uso dificultando o escoamento e elevando o custo de implementação do sistema de bombeamento do ciclo secundário com termoacumulação.

O cloreto de sódio se destaca nos quesitos calor específico, condutividade térmica e viscosidade cinemática e dinâmica, entretanto foi a solução que mesmo em sua máxima concentração, 20%, apresentou a menor diminuição do ponto de fusão. Além disso, esse sal é bastante corrosivo o que poderia ocasionar maiores custos de manutenção do sistema de refrigeração.

O cloreto de cálcio, em termos gerais comportou-se de forma mediana, destacando-se apenas na propriedade termofísica de massa específica, o qual teve o maior aumento, fator este bastante interessante o que possibilitaria um menor volume de armazenamento, consequentemente necessitando de uma menor área de armazenamento.

Dessa forma, faz-se necessário estudos mais aprofundados em termos de custos de implementação destes sais, bem como cálculos de dimensionamento de bombas e outros equipamentos para utilização deles. Possibilitando uma conclusão mais detalhada para definir o melhor soluto para o fluido secundário com termoacumulação.

REFERÊNCIAS

ASHRAE. **ASHRAE Refrigeration 2018** - SI Edition. Atlanta: ASHRAE, 2018.

ASHRAE. **HVAC Systems and Equipment**. Atlanta, United States: American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning, 2016.

BARBOSA, L. C. de A. *Introdução à Química Orgânica*. São Paulo, Brasil: Prentice Hall, 2004. 3.

CARRIER AIR CONDITIONING CO. *Handbook of Air Conditioning System Design*. New York, United States: McGraw-Hill, 2003.

ÇENGEL, Y. A. *Heat and Mass Transfer: A Practical Approach*. 3rd edition. New York, United States: McGraw-Hill, 2007. 5.

ÇENGEL, Y. A., BOLES, M. A. *Thermodynamics: An Engineering Approach*. 6th edition. New York, United States: McGraw-Hill, 2006. 4.

INCROPERA, F. P., DEWITT, D. P. *Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa*. 4ª edição. São Paulo, Brasil: LTC, 2002

MELINDER, A. *Thermophysical Properties of Aqueous Solution Used as Secondary Working Fluids*. Stockholm, Sweeden, 2007. Doctoral Thesis – Dept. of Energy Technology, School of Industrial Engineering and Management – Royal Institute of Technology, 200

WULFINGHOFF D. R. Chiller Plant. **Energy Efficiency Manual**. Maryland: Energy Institute Press, 2009. Cap. 2, pp. 405-436.

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.