

4 Procedimento experimental

No capítulo anterior foi apresentado o método da avaliação do coeficiente global de troca de calor no processo de formação da pasta de gelo. Neste capítulo é apresentado o procedimento experimental adotado para obter os parâmetros que permitem avaliar o coeficiente em questão.

O coeficiente global de troca de calor no gerador é dado pela seguinte equação:

$$U = \frac{\dot{Q}}{A \cdot \Delta T}$$

Para avaliar este coeficiente são necessários os seguintes parâmetros:

- a) Calor transferido
- b) Área de troca de calor
- c) Temperatura de referencia,

A avaliação do calor trocado é feita através de um balanço de energia já apresentado no capítulo anterior, dado pela expressão seguinte:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{\text{gelo liq}} (c_{p,fp} \cdot (T_{ent} - T_{\text{gelo liq}}) + h_{ls} \cdot x_{\text{gelo}} + x_{\text{gelo}} (273,16 - T_{\text{gelo liq}})(c_{p,gelo} - c_{p,fp}))$$

As variáveis necessárias são:

- a) Vazão mássica da pasta de gelo;
- b) Temperatura de entrada da solução no evaporador;
- c) Temperatura da pasta de gelo na saída do gerador;
- d) Fração de gelo na pasta na saída do gerador e
- e) Propriedades termofísicas da solução aquosa (apresentadas no apêndice)

Adotou-se para a determinação da fração de gelo o método de calorimetria. Fazendo um balanço de energia no calorímetro, a fração de gelo pode ser avaliada pela expressão a seguir:

$$Q = m_{\text{gelo liq}} (c_{p,fp} \cdot (T_{\text{final}} - T_{\text{gelo liq}}) + h_{ls} \cdot x_{\text{gelo}}) + C_{\text{calorimetro}} (T_{\text{final}} - T_{\text{gelo liq}})$$

Para tal foi construído um calorímetro apresentado esquematicamente na figura 42. Um recipiente de vidro (vaso Dewar) com parede dupla e vácuo entre elas, foi empregado com um isolamento extra feito com espuma elastomérica. O calorímetro também dispõe de elementos indispensáveis, são eles: resistência elétrica, agitador mecânico e um sensor de temperatura. O fornecimento de energia elétrica é realizado através de um transformador trifásico variável e um sistema retificador. O conjunto fornece corrente contínua de tensão variável, o qual foi ajustado com o critério de minimizar as incertezas associadas a este método.

Também foi preciso usar uma balança de laboratório com incerteza de $\pm 0,1\text{g}$. O calorímetro comporta uma massa de amostra da ordem de 500 g, o que reduz a incerteza na medição a valores muito baixos.

A temperatura foi medida com um termopar marca Omega com incerteza de medição de $\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Figura 42 - Vista do calorímetro empregado na determinação da fração de gelo

Para empregar o método de calorimetria faz-se necessário o conhecimento das seguintes variáveis:

- a) Massa da amostra de pasta de gelo;
- b) Temperatura inicial da pasta de gelo;
- c) Temperatura final da solução;
- d) Potência elétrica fornecida e
- e) Tempo de aplicação desta potência elétrica.

A validação do método calorimétrico foi realizada com massas conhecidas de água pura e gelo e está descrita no apêndice. Nestes testes foi possível avaliar a capacidade térmica dos componentes do calorímetro.

O procedimento experimental na determinação da fração de gelo é o seguinte:

- Aguarda-se que o gerador opere em regime permanente;

- Toma-se uma primeira amostra da pasta de gelo (este cuidado serve para resfriar o recipiente do calorímetro e também a resistência elétrica e os outros elementos do calorímetro)
- Toma-se uma segunda e definitiva amostra da pasta de gelo, com os parâmetros estabelecidos previamente;
- O sensor de temperatura é usado para monitorar continuamente a temperatura do sistema, ao mesmo tempo em que se monitora o tempo decorrido;
- O passo seguinte consiste em fornecer potência elétrica ao calorímetro. A potência instantânea e o tempo são registrados no sistema de aquisição de dados, juntamente com a temperatura.

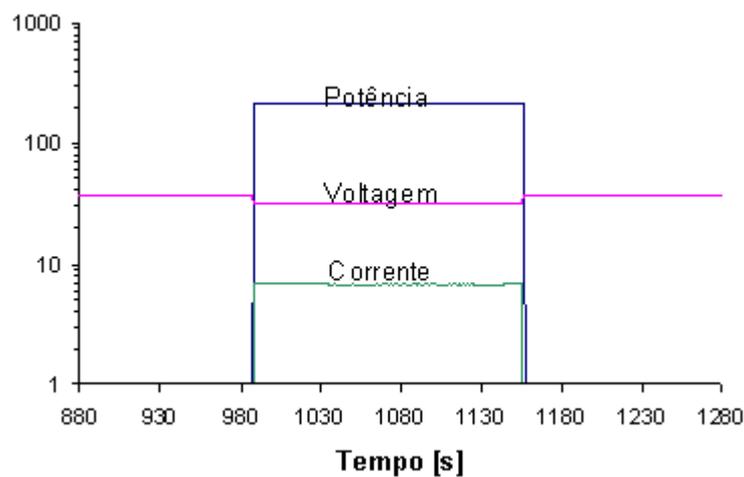


Figura 43 - Valores da potencia elétrica, voltagem e corrente fornecida no calorímetro ao longo do tempo

A figura 44 a seguir mostra a variação da temperatura da pasta de gelo enquanto é fornecida potência elétrica à massa inserida no calorímetro. É possível observar que a temperatura da pasta não varia significativamente durante o processo de mudança de fase. Observa-se claramente o instante em que a mudança de fase se encerra e é iniciado o fornecimento de calor sensível.

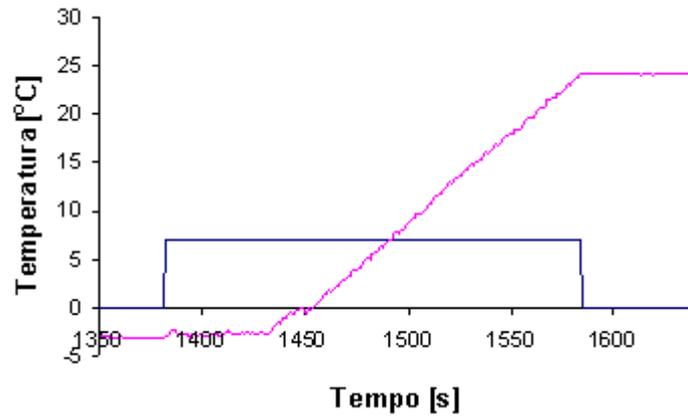


Figura 44 - Variação da temperatura da pasta de gelo durante o fornecimento de potência elétrica

Determinadas estas variáveis, a fração de gelo na pasta é calculada por balanço de energia de calor latente, calor sensível e a energia dissipada na resistência elétrica.

As outras variáveis foram registradas no sistema de aquisição de dados e, como já mencionado, foi empregado o sensor de temperatura do calorímetro e o sistema de aquisição permitia determinar o intervalo de tempo em que foi tomada a amostra. A figura seguinte mostra o registro durante este procedimento.

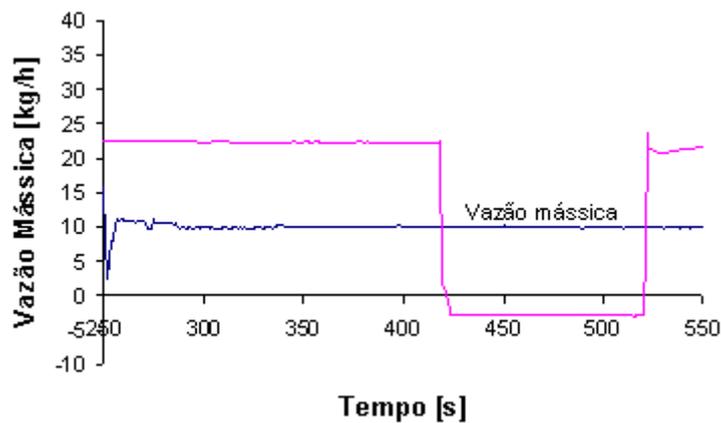


Figura 45 - Variação da vazão mássica durante o intervalo de coleta da amostra

O protótipo experimental foi projetado para funcionar a diferentes condições de operação. Por exemplo, cita-se a temperatura do evaporador, que pode ser fixada para diferentes valores.

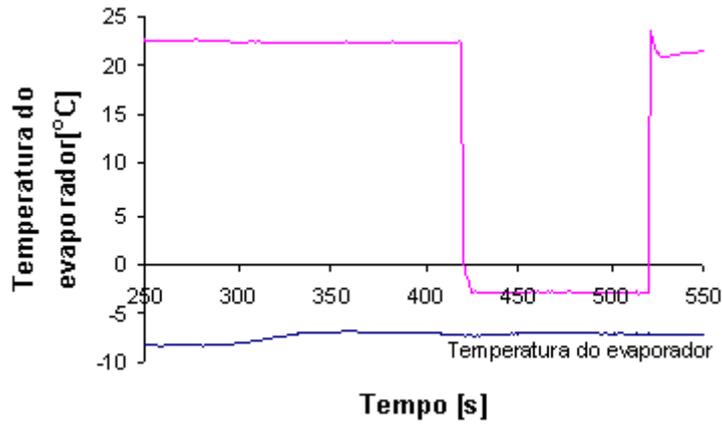


Figura 46 - Variação da temperatura do evaporador e o intervalo

Foram monitorados todos os valores necessários durante o intervalo em que foi coletada a amostra de pasta de gelo.

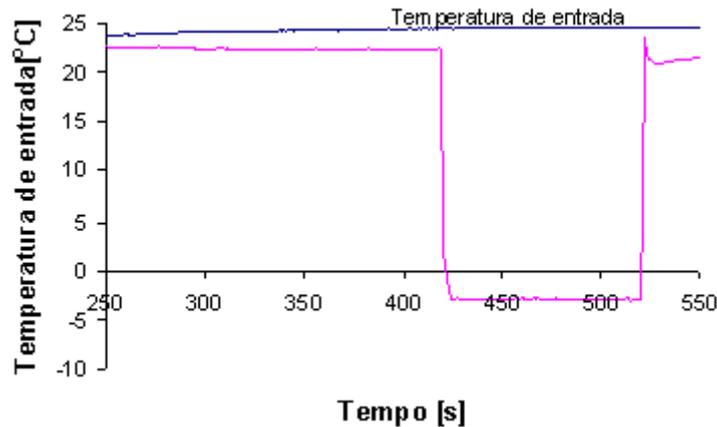


Figura 47 - Variação da temperatura do evaporador e o intervalo

Os dados são reduzidos e avaliado o calor transferido no evaporador. Com a fração de gelo conhecida as parcelas de calor latente e calor sensível são determinadas. Todas as variáveis estão determinadas e subseqüentemente o coeficiente de troca de calor é avaliado.