

Referencia Bibliográfica

A LAVAL LTDA., **Manual do Trocador de calor a placas tipo M3-FM**. 2002.

ASHRAE., **Design Guide for Cool Thermal Storage**. Ashrae Standard, USA. 1999.

AYEL, V., LOTTIN, O., PEERHOSSAINI, H., **Rheology, flow behavior and heat transfer of ice slurries: a review of the state of the art**. International Journal of Refrigeration 26. pp. 95-107. 2003.

AZEVEDO, L., **Natural convection in channel flows**. Doctor of Philosophy thesis. University Minnesota, USA. 1985.

BEL, O., LALLEMAND, A., **Etude d'un fluide frigopporteur diphasique – 1: Caractéristiques thermophysiques intrinsèques d'un Coulis de glace**. International Journal of Refrigeration (22), pp.164-174. 1999.

BELLAS, J. CHAER, I., TASSOU, S., **Heat transfer and pressure drop of ice slurries in plate heat exchangers**, Applied Thermal Engineering (22), UK, pp.721-732. 2002.

BRAGA, S. **Termoacumulação**, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Depto. Eng. Mecânica, 2003.

CHOI, U.S., FRANCE, D.M., KNODEL, B.D., **Impact of advanced fluids on costs of district cooling systems**, in: Proceedings of the 83rd Annual Conference of the International District and Cooling Association, Danvers, M.A., 1992, pp.344-359.

CHRISTENSEN, K., KAUFFELD, M., **Heat transfer measurements with ice slurry**. International conference – Heat transfer Issues in Natural Refrigerants, IIR/IIF. P.127-41. 1997.

EGOLF, P.W., **Ice Slurry: A Promising Technology**. International Institute of Refrigeration, August 2004.

FREI, B., BOYMAN, T., **Plate heat exchanger operating with ice slurry**. International Congress on Refrigeration, Washington, ICR0037, 2003.

GRUPTA, R.P., FRASER, C.A., ***Effect of new friction reducing additive on sunwell ice slurry characteristic***, National Research Council of Canada, Institute of Mechanical Engineering, Low Temperature Laboratory, Report no. TR-LT-023, NRC no. 32123, 1990.

GUT, J. A., PINTO, J. M., ***Conhecendo os Trocadores de Calor a Placas***, Universidade de São Paulo, Dep. Eng. Química, 2001.

GUT, J. A., PINTO, J. M., ***Modeling of plate heat exchangers with generalized configurations***. International Journal of Heat and Mass Transfer 46, 2571-2585. 2003.

GUT, J. A., PINTO, J. M., ***Optimal configuration design for plate heat exchangers***. International Journal of Heat and Mass Transfer 47, 4833-4848. 2004.

GUT, J. A., et al., ***Thermal model validation of plate heat exchangers with generalized configurations***. Chemical Engineering Science 59, 4591-4600. 2004.

HANSEN, T., KAUFFELD, M., ***Measuring Principles for the Determination of Ice Concentration in Ice Slurry***. ASHRAE Trans 2001.

HOLGER, M., ***Heat Exchangers***. Hemisphere publishing corporation, Washington, 1992.

HOLMAN, J. P., ***Transferência de Calor***. McGraw Hill Book Company, Inc., U.S.A. 1998.

JIMÉNEZ, H.G., ***Coefficientes de Transporte da Pasta de Gelo em um Trocador de Calor de Placas***. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2003.

KAKAÇ, S., et al. ***Heat Exchangers: Selection, Rating and Thermal Design***, 2nd ed., CRC Press, Boca Raton, 2002.

KANDLIKAR, S. G., ***Multipass plate heat exchangers-effectiveness-NTU results and guidelines for selecting pass arrangements***. ASME Journal of Heat Transfer 111, 300-313. 1989.

KANDLIKAR, S. G., SHAH, R. K., ***Asymptotic effectiveness-NTU formulas for multipass plate heat exchangers***. ASME Journal of Heat Transfer 111, 314-321. 1989.

KAUFFELD, M., et al., ***Experience with Ice Slurry***, 003-Paper 200. 20th International Congress of Refrigeration, IIR/IIF, Sydney, 1999.

KAWAJ, M., ***Heat Transfer Characteristics of Melting Ice Slurries in Compact Plate Heat Exchangers***. 21st IIR International Congress of Refrigeration, pp.17-22, Washington, 2003.

KNODEL, B.D., et al., **Heat transfer and pressure drop in ice-water slurries**, Applied Thermal Engineering (20), USA, pp.671-685. 2000.
 KREITH, F., **Princípios de Transferência de Calor**. International Textbook Company, E.U.A., 1970.

LOTTIN, O., EPIARD, C., **Dependence of the Thermodynamics properties of Ice slurries on the characteristics of marketed antifreezes**. International Journal of Refrigeration (24), France, pp.455-467. 2001.

LUGO, R., et al., An **Excess function method to model the thermophysical properties of One-phase secondary refrigerants**. International Journal of Refrigeration (25), France, pp.916-923. 2002.

MELINDER, A., **Thermophysical Properties of Liquid Secondary Refrigerants**. International Institute of Refrigeration 1997.

METZ, P., MARGEN, P., **The feasibility and economics of slush ice district cooling systems**, ASHRAE Transactions 932 (2), 1987, pp.1672-168.

NORGARD, E., **Performance of components of ice slurry systems: pumps, plate heat exchanger, fittings**. Proceedings of the 3rd IIR Workshop on Ice Slurries, Lucerne, 16-18 May 2001, pp.129-136.

PARISE, J., **Simulação de Sistemas de Refrigeração**, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Depto. Eng. Mecânica, 2003.

SÀNCHEZ, L., et al., **Determinación de las propiedades de um Hielo líquido formado a partir de Água y NaCl**. Estúdio Teórico-Experimental de la Universidad Pública de Navarra, Espana. 2001.

SHAMES, I. H., **La Mecanica de los Fluidos**. McGraw Hill Book Company, Inc., U.S.A. 1970.

STAMATOIU, E., **Experimental investigation of ice-slurry flow and heat transfer in a plate-type heat exchanger**, Proceedings of the 3rd IIR Workshop on Ice Slurries, Lucerne, 16-18, pp.61-68. May 2001.

TICONA, E.M., **Determinação Experimental do Coeficiente de Troca de Calor em um Gerador de Pasta de Gelo**. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. 2003.

WANG, L., SUNDEN, B., **Optimal design of Plate heat exchangers with and without pressure drop specifications**, Applied Thermal Engineering, pp.295-311. 2003.

WORSNOP, B. L., FLINT.H.T., **Curso superior de física practica**, Editorial EUDEBA, Buenos Aires. 1964.

Apêndice A. Propriedades da Água.

$$f_1(T) = \sum_{i=1}^n k_i T^i = k_0 + k_1 T + k_2 T^2 \dots$$

$$f_2(T) = \frac{1}{(1 + A_1 T)}$$

$$f_3(T) = B_1 \cdot 10^{\frac{B_2}{(T - B_3)}}$$

A temperatura nas correlações esta em graus kelvin, exceto no cálculo do peso específico (ρ).

	Cp = f1	$\rho = f1 \cdot f2$	$\mu = f3$	k = f1
	[J / kg - K]	[kg / m ³]	[N - s / m ²]	[J / kg - K]
	T[K]	T[°C]	T[K]	T[K]
F1				
K0	8,9527E+03	9,9984E+02		-5,8180E-01
K1	-4,0507E+01	1,8225E+01		6,3570E-03
K2	1,1236E-01	-7,9222E-03		-7,9663E-06
K3	-1,0131E-04	-5,5448E-05		
K4		1,4976E-07		
K5		-3,9330E-10		
F2				
A1		1,8160E-02		
F3				
B1			2,4140E-05	
B2			2,4780E+02	
B3			1,4000E+02	

Cp : Calor específico, [J / kg - K]

ρ : Peso específico, [kg / m³]

μ : Viscosidade dinâmica, [m.Pa / s]

k : Condutividade térmica, [J / kg - K]

Apêndice B. Propriedades das Misturas com Propileno Glicol

Segundo Melinder (1997), tem-se a segunda correlação polinomial, com os respectivos coeficientes, para as propriedades da mistura de propileno glicol e água.

$$f = \sum C_{ij} \cdot (x - x_m)^i \cdot (y - y_m)^j$$

Onde:

x: Concentração do propileno glicol

$x_m = 42.7686$, constante.

y: Temperatura [°C].

$y_m = 5.3571$, constante.

$i = 0, 1, \dots, 5$;

$j = 0, 1, \dots, 3$;

$(i + j) \leq 5$

Cij	Cp [J / kg - K]	K [W / m - K]	μ [mPa / s]	ρ [kg / m ³]
C ₀₀	3,6790E+03	3,060E-01	2,740E+00	1,0420E+03
C ₀₁	1,5710E+00	5,650E-04	-5,3420E-02	-4,9070E-01
C ₀₂	1,3310E-02	-3,770E-07	5,3720E-04	-2,8190E-03
C ₀₃	1,9750E-07	-6,410E-09	-4,9550E-06	-5,8950E-07
C ₁₀	-1,9330E+01	-3,150E-03	4,5000E-02	8,0810E-01
C ₁₁	1,1180E-01	-1,230E-05	-5,4880E-04	-9,6520E-03
C ₁₂	-1,1080E-03	-1,030E-08	1,8450E-06	7,1680E-05
C ₁₃	4,9240E-06	-5,540E-10	1,1920E-07	2,4040E-07
C ₂₀	-7,1560E-03	8,200E-06	-7,8080E-05	-7,1560E-03
C ₂₁	-2,3380E-04	1,810E-07	1,4530E-06	1,0880E-04
C ₂₂	2,7530E-05	1,590E-09	-2,8160E-07	3,3280E-06
C ₂₃	-3,1480E-07	1,710E-10	8,5620E-09	1,1530E-07
C ₃₀	4,7490E-03	-1,100E-06	6,5650E-06	1,1900E-04
C ₃₁	-2,6210E-05	-1,120E-09	-4,0320E-07	-6,2260E-06
C ₃₂	1,860E-06	3,050E-10	-1,2120E-09	-3,0260E-08
C ₄₀	-2,80E-04	5,030E-09	6,4410E-07	-1,1700E-05
C ₄₁	-9,500E-08	1,370E-10	-1,4300E-08	-2,9150E-07
C ₅₀	-1,680E-05	1,900E-09	1,0920E-08	-6,0330E-07

Cp : Calor específico, [J / kg - K]

K : Condutividade térmica, [W / m - K]

μ : Viscosidade dinâmica, [m.Pa / s]

ρ : Peso específico, [kg / m³]

Manipulando algebricamente a correlação para o propileno, para uma concentração de aditivo fixa, podem-se obter correlações cúbicas das propriedades em função da temperatura y [°C].

$$dxxm_1 = (x - xm)$$

$$dxxm_2 = (x - xm)^2$$

$$dxxm_3 = (x - xm)^3$$

$$dxxm_4 = (x - xm)^4$$

$$dxxm_5 = (x - xm)^5$$

$$A_0 = C_{00} + C_{10} \cdot dxxm_1 + C_{20} \cdot dxxm_2 + C_{30} \cdot dxxm_3 + C_{40} \cdot dxxm_4 + C_{50} \cdot dxxm_5$$

$$A_1 = C_{01} + C_{11} \cdot dxxm_1 + C_{21} \cdot dxxm_2 + C_{31} \cdot dxxm_3 + C_{41} \cdot dxxm_4$$

$$A_2 = C_{02} + C_{12} \cdot dxxm_1 + C_{22} \cdot dxxm_2 + C_{32} \cdot dxxm_3$$

$$A_3 = C_{03} + C_{13} \cdot dxxm_1 + C_{23} \cdot dxxm_2$$

$$k_0 = A_0 + A_1 \cdot (-1 \cdot ym) + A_2 \cdot (1 \cdot ym^2) + A_3 \cdot (-1 \cdot ym^3)$$

$$k_1 = A_1 + A_2 \cdot (-2 \cdot ym) + A_3 \cdot (3 \cdot ym^2)$$

$$k_2 = A_2 + A_3 \cdot (-3 \cdot ym)$$

$$k_3 = A_3$$

$${}_f Prop_{(T)} = k_0 + k_1 T + k_2 T^2 + k_3 T^3$$

Apêndice C. Equivalente em Água do Calorímetro.

O equivalente em água do calorímetro ($m_{e,q}$) tem um significado físico simple, representa a massa de água cuja capacidade calorífica é igual á dos componentes do calorímetro (recipiente, elemento agitador, instrumento de medição da temperatura, etc).

Considerando uma mostra de água no calorímetro tem-se

$$Q = [Cp_{ag} \cdot m_{ag} + Cp_{re} \cdot m_{re} + Cp_{ca} \cdot m_{ca} + Cp_{xx} \cdot m_{xx}] \cdot \Delta T$$

$$Q = Cp_{ag} \cdot \left[m_{ag} + \frac{Cp_{re} \cdot m_{re} + Cp_{ca} \cdot m_{ca} + Cp_{xx} \cdot m_{xx}}{Cp_{ag}} \right] \cdot \Delta T$$

$$Q = Cp_{ag} \cdot (m_{ag} + m_{eq-ag}) \cdot \Delta T$$

Onde:

- Q : Equivalente elétrico subministrado á mostra, [w].
- m_{ag} : Massa de água no calorímetro, [kg].
- Cp_{ag} : Calor específico da água, [J / kg.°K].
- m_{re} : Massa do recipiente do calorímetro, [kg].
- Cp_{re} : Calor específico do recipiente do calorímetro, [J / kg.°K].
- m_{ca} : Massa do conjunto agitador e resistência elétrica, [kg].
- Cp_{ca} : Calor específico conj. agitador e resistência elétrica, [J / kg.°K].
- m_{xx} : Massa dos demais elementos no calorímetro, [kg].
- Cp_{xx} : Calor específico dos demais elem. no calorímetro, [J / kg.°K].
- ΔT : Variação de temperatura da mostra, [°C].
- m_{eq-ag} : Massa equivalente em água do calorímetro, [kg].

Fazendo vários testes se obtém uma boa aproximação da seguinte relação.

$$k_{eq} = \text{Pend.}(\Delta T \text{ vs. } t) = \frac{P_{el}}{Cp_{ag} \cdot (m_{ag} + m_{eq})}$$

O termo da massa equivalente é uma constante para um dado calorímetro.

$$m_{eq-ag} = \frac{1}{k_{eq}} \cdot \frac{P_{el}}{Cp_{ag}} - m_{ag}$$

$$m_{eq-pg} = m_{eq-ag} \frac{Cp_{ag}}{Cp_{pg}}$$

Apêndice D. Cálculo da Fração de gelo

Fazendo um balanço de energia

$$Q_{el} = Q_{sen} + Q_{lat}$$

$$Q_{sen} = m_{fp} \cdot Cp_{fp}(T_2 - T_1) + m_{eq-ag} \cdot Cp_{ag} \cdot (T_2 - T_1)$$

$$Q_{lat} = m_{pg} \cdot L(X_2 - X_1)$$

Considerando o efeito da variação na temperatura, e da concentração do aditivo na análise para determinar a fração de gelo.

$$\int_{t_1}^{t_2} \dot{Q}_{el} \cdot dt = \int_{T_1, X_1}^{T_2, X_2} m_{fp(X)} \cdot Cp_{fp(T, C_0, X)} \cdot df + \int_{T_1}^{T_2} m_{eq-cal} \cdot Cp_{eq-cal} \cdot dT + m_{pg} \cdot L(X_2 - X_1)$$

A massa do fluido portador pode-se expressar como:

$$m_{fp} = m_{pg} \cdot (1 - X_g)$$

Reemplazando:

$$\int_{t_1}^{t_2} \dot{Q}_{el} \cdot dt = \int_{T_1, X_1}^{T_2, X_2} m_{pg} \cdot (1 - X_{g(1)}) \cdot Cp_{fp(T, C_0, X)} \cdot dI + \int_{T_1}^{T_2} m_{eq-ag} \cdot Cp_{ag(T)} \cdot dT + m_{pg} \cdot L(X_2 - X_1)$$

$$\int_{t_1}^{t_2} \dot{Q}_{el} \cdot dt = \int_{T_1, X_1}^{T_2, X_2} m_{pg} \cdot (1 - X_{g(1)}) \cdot Cp_{fp(T, C_0, X_{m-g})} \cdot dI + \int_{T_1}^{T_2} m_{eq-ag} \cdot Cp_{ag(T)} \cdot dT + m_{pg} \cdot L(X_2 - X_1)$$

Considerando o Cp como função só dependente da temperatura num passo pequeno de integração

$$\int_{t_1}^{t_2} \dot{Q}_{el} \cdot dt = \int_{T_1}^{T_2} m_{pg} \cdot (1 - X_{m-g}) \cdot Cp_{fp(T, C_0, X_{m-g})} \cdot dT + \int_{T_1}^{T_2} m_{eq-ag} \cdot Cp_{ag(T)} \cdot dT + m_{pg} \cdot L(X_2 - X_1)$$

A fração de gelo no instante i pode-se expressar em função da concentração inicial, e a concentração no instante da mostra.

$$X_{g-1} = 1 - \frac{\%C_0}{\%C_i}$$

A expressão ficara como:

$$\int_{t_1}^{t_2} \dot{Q}_{el} dt = \int_{T_1}^{T_2} m_{pg} \cdot \left(\frac{\%C_0}{\%C_{m-g}} \right) \cdot Cp_{f(T, C_0, X_{m-g})} \cdot dT + \int_{T_1}^{T_2} m_{eq-ag} \cdot Cp_{ag(T)} \cdot dT + m_{pg} \cdot L \cdot (X_2 - X_1)$$

Para um diferencial de tempo, tem-se

$$dQ = m_{pg} \cdot \frac{\%C_0}{\%C_{i+1}} \cdot Cp_{m-fp} \cdot (T_i - T_{i+1}) + m_{eq-ag} \cdot Cp_{ag(T)} \cdot (T_i - T_{i+1}) + m_{pg} \cdot L \cdot (X_{i+1} - X_i)$$

Finalmente

$$X_{i+1-t} = X_i + \frac{1}{L} \cdot \left[\frac{\dot{Q} \cdot (t_{i+1} - t_i)}{m_{pg}} - \frac{\%C_0}{\%C_{i+1}} \cdot Cp_{m-fp} \cdot (T_i - T_{i+1}) - m_{eq-ag} \cdot Cp_{m-ag} \cdot (T_i - T_{i+1}) \right]$$

Para cada instante de tempo i , se faz os cálculos iterativos de conservação de energia até convergir num valor certo da fração de gelo. Finalmente, ao integrar ao longo de todo o intervalo de tempo, obtém-se o valor da fração de gelo da mostra.

Apêndice E. Método da Efetividade.

Pelo método da efetividade, pode se encontrar os NTU, e a partir de aí se pode obter o coeficiente global de troca de calor, segundo Kandlikar (1989).

Para a condição de troca em contra-corrente:

$$e_{tc} = \frac{1 - \exp[-NTU_1 \cdot (1 - R_1)]}{1 - R_1 \cdot \exp[-NTU_1 \cdot (1 - R_1)]}$$

Logo o NTU:

$$NTU_1 = \frac{1}{(1 - R_1)} \ln \left[\frac{1 - e_{tc} \cdot R_1}{1 - e_{tc}} \right]$$

Para a condição de troca em paralelo

$$e_{tp} = \frac{1 - \exp[-NTU_1 \cdot (1 + R_1)]}{1 + R_1}$$

Logo o NTU:

$$NTU_1 = \frac{1}{(1 + R_1)} \ln \left[\frac{1}{1 - e_{tp} \cdot (1 + R_1)} \right]$$

Onde:

- ϵ : Relação de efetividade de temperatura, [-].
- NTU : Número de unidades de transferência de calor, [-].
- R : Razão de capacidades caloríficas dos fluidos, [-].
- C : Capacidade calorífica da vazão mássica, [W / °C].

Onde se definem os seguintes termos.

$$NTU_1 = \frac{U \cdot A}{C_1}$$

$$R_1 = \frac{C_1}{C_2}$$

$$e_1 = \frac{T_{1-e} - T_{1-s}}{T_{1-e} - T_{2-e}}$$

$$e_2 = \frac{T_{2-s} - T_{2-e}}{T_{1-e} - T_{2-e}}$$

Para o cálculo de R, se teve que considerar uma capacidade de fluxo calorífico equivalente para a pasta de gelo, já que tem uma zona dominada pela mudança de fase, e outra só de variação de calor sensível, logo da capacidade de resfriamento da pasta de gelo.

$$\dot{m}_{pg} \cdot Cp_{eq-pg} (T_{pg-e} - T_{pg-s}) = \dot{m}_{pg} \cdot [Cp_{m-fp} (T_{fp-e} - T_{fp-s}) + L \cdot (X_{g-e} - X_{g-s})]$$

$$Cp_{eq-pg} = \frac{Cp_{m-fp} (T_{fp-e} - T_{fp-s}) + L \cdot (X_{g-e} - X_{g-s})}{(T_{pg-e} - T_{pg-s})}$$

$$Cp_{eq-pg} \approx Cp_{m-fp} + L \cdot \frac{(X_{g-e} - X_{g-s})}{(T_{pg-e} - T_{pg-s})}$$

Assim tem-se

$$C_2 = \dot{m}_{pg} \cdot Cp_{eq-pg}$$

Apêndice F. Mínimos Quadrados.

Para o caso

$$\frac{1}{U} - \frac{e_{plac}}{k_{plac}} = \frac{p}{a \cdot \text{Re}_{ag}^b} + \frac{q}{a \cdot \text{Re}_{sol}^b}$$

Fazendo

$$z = \frac{1}{U} - \frac{e_{plac}}{k_{plac}}$$

$$\frac{1}{U} - \frac{e_{plac}}{k_{plac}} = \frac{p}{a \cdot \text{Re}_{ag}^b} + \frac{q}{a \cdot \text{Re}_{sol}^b}$$

$$z = c \cdot (m \cdot x + n \cdot y)$$

Onde:

$$c = \frac{1}{a}$$

$$p = \left(\frac{D_{H1}}{k_1} \right) \cdot \left(\frac{1}{\text{Pr}_1^{0,3}} \right)$$

$$x = \frac{1}{\text{Re}_1^b}$$

$$q = \left(\frac{D_{H2}}{k_2} \right) \cdot \left(\frac{1}{\text{Pr}_2^{0,4}} \right)$$

$$y = \frac{1}{\text{Re}_2^b}$$

Logo o desvio quadrático médio será:

$$S = \sum_i^n (z_i - c(m_i \cdot x_i + n_i \cdot y_i))^2$$

Minimizando a função erro

$$\frac{\partial S}{\partial c} = 0$$

$$c = \frac{\sum_i^n (z_i \cdot m_i \cdot x_i) + \sum_i^n (z_i \cdot n_i \cdot y_i)}{\sum_i^n (m_i^2 \cdot x_i^2) + 2 \cdot \sum_i^n (m_i \cdot x_i \cdot n_i \cdot y_i) + \sum_i^n (n_i^2 \cdot y_i^2)}$$

Apêndice G. Coeficiente de correlação R-Quadrado.

A regressão quantifica como pode se descrever uma variável com respeito de outra (conceito estatístico bi-variável).

Seja a relação linear entre duas variáveis

$$y = a_1 \cdot x + a_0$$

Segundo o método dos mínimos quadrados, tem-se que escolher os coeficientes a_1 , e a_0 tal que minimizar o erro de $y_c - y$.

$$y_i = a_1 \cdot x_i + a_0$$

A função de erro para a data

$$\sum_{i=1}^n (y_i - y_c)^2$$

$$\sum_{i=1}^n (y_i - a_1 \cdot x_i - a_0)^2$$

Minimizando:

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^n (y_i - a_1 \cdot x_i - a_0)^2}{\partial a_1} = 0$$

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{y} - y_i) \cdot (\bar{x} - x_i)}{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2} = \frac{\text{cov}(x, y)}{\text{var}(x)} \quad \text{e,}$$

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^n (y_i - a_1 \cdot x_i - a_0)^2}{\partial a_0} = 0$$

$$a_0 = \bar{y} - a_1 \cdot \bar{x}$$

Logo se observa:

$$\bar{y} = a_0 + a_1 \cdot \bar{x}$$

Para ter uma ideia do ajuste, tem-se a relação estatística R-Quadrado:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_c - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = \frac{\text{var}(y_c)}{\text{var}(y_i)}$$

Onde:

$\sum (y_i - y_m)^2$: Soma total dos quadrados.

$\sum (y_c - y_m)^2$: Soma de regressão de quadrados.

$\sum (y_i - y_c)^2$: Soma residual de quadrados.

Vale lembrar que a medida de correlação para dados de uma variável, é a seguinte:

$$s = \sqrt{\text{var}(x)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n}}$$