

## 7

### Referências Bibliográficas

- 1 INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Key World Energy Statistics**. Paris, França, 2010.
- 2 MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional**. 2011 (Ano Base 2010).
- 3 PATE, C.B. MMS/Deepstar Workshop on Produced Fluids. In: Offshore Technology Conference, Houston, TX. May, 4th. 1995.
- 4 CREEK, J. L. ET AL. Wax Deposition in Single Phase Flow. **Fluid Phase Equilibria**, 158, 801-811. 1999.
- 5 MCCAIN JR. W.D. **The properties of Petroleum Fluids**. PennWell books, 2ª edição, Tulsa, 1990.
- 6 BECKER JR. **Crude oil waxes, emulsions and asphaltenes**. PennWell books, Tulsa, 1997.
- 7 WADE JR., L.G. **Organic Chemistry**. Capítulo 3. 7a edição. Prentice-Hall. New Jersey. 2009.
- 8 MCCLAFLIN, G.G.; WHITFILL, D.L. Control of Paraffin Deposition in production Operations. **Journal of Petroleum Engineering**, pp.1965-1970, November, 1984.
- 9 LEIROZ, A. T. **Estudo sobre a deposição de parafina em linhas de petróleo**. 2004. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Mecânica, PUC-Rio.
- 10 FOGLER, H. S. et al. The Effect of Operating Temperatures on Wax Deposition. **Energy & Fuels**, 25, 5180-5188. 2011.
- 11 WILKE, C.R; CHANG, P. Corelation of Diffusion Coefficients in Dilute Solution. **AIChE Journal**, Vol.1, pp. 264-270, 1955.
- 12 MERINO-GARCIA, D.; MARGARONE,M.; CORRERA, S. Kinetics of waxy gel formation from batch experiments. **Energy Fuels**, 21. 1287-1295. 2007.

- 13 BURGUER, E.D.; PERKINS, T.K.; STRIEGLER, J.H. Studies of Wax Deposition in the Trans Alaska Pipeline, **Journal of Petroleum Technology**, pp.1075-1086, June 1981.
- 14 FASANO, A.; FUSI, L.; CORRERA, S. Mathematical models for waxy crude oils. **Meccanica**, 39, 441-482. 2004.
- 15 FOGLER, H. S et al. Formation and Aging of Incipient Thin Film Wax-Oil Gels. **AIChE Journal**, Vol.46, N°5. 1059-1074. May 2000.
- 16 WEINGARTEN, J.S.; EUCHNER, J.A. Methods for predicting Wax Precipitation and Deposition. In: 61st Annual Conference of the Society of Petroleum Engineers, New Orleans, **SPE** 15654, 1986.
- 17 MATZAIN, A. et al. Multiphase Flow Wax Deposition Modelling. **ETCE** 17114. 2001.
- 18 QIYU, H.; JIFENG, W.; JINJUN, Z. Physical Properties of wax deposition on the walls of crude pipelines. **Petroleum Science and Technology**, 6, 64-68. 2009.
- 19 BROWN, T.S.; NIESEN, V.G; ERICKSON, D.D. Measurement and Prediction of the kinetics of Paraffin deposition in **68th Annual conference of the Society of petroleum Engineers**, Houston. SPE 26548,1993.
- 20 MISRA, S.; BARUAH S.; SINGH, K. Paraffin Problems in Crude Oil Production and transportation – A review. **SPE Production & facilities**, vol. 10, 50-54, 1995.
- 21 COLE, R.J.; JESSEN, F.W. Paraffin Deposition. **Oil and Gas Journal**, Vol.58, 38, 87. 1960.
- 22 HUNT, E. B. Laboratory Study of Paraffin deposition. **AIME** Vol. 225, 1259. 1962.
- 23 ZISMAN, W.A. Relation of the Equilibrium Contact Angle to Liquid and Solid Constitution. **ACS Advanced Chemistry Series**, 43, 1. 1964.
- 24 GIRIFALCO, L.A.; GOOD, R.J. A theory for the estimation of Surface and Interfacial Energies. I. Derivation and Application to Interfacial Tension. **The Journal of Physics Chemistry** 61 (7), 904-909. 1957.
- 25 KWOK, D.Y.; NEUMANN, A.W. Contact Angle Measurements and Contact Angle Interpretation. **Advanced Colloid Interface Science**, 81, 167-249. 1999.

- 26 HANSEN, F. K. The measurement of surface energy of polymer by means of contact angles of liquids on solid surfaces. University of Oslo. Disponível em: <[http://folk.uio.no/fhansen/surface\\_energy.pdf](http://folk.uio.no/fhansen/surface_energy.pdf)>. Acesso em 11/07/2012.
- 27 REBEL, W. Wetting theory and its application to the study and use of the surface properties of polymers. **Farbe and Lack**, 77(10), 997-1006. 1971
- 28 WANG, J.; OBER, C.K. Self-Organizing Materials with Low Surface Energy: The Synthesis and Solid-State Properties of Semifluorinated Side-Chain Ionenics. **Macromolecules**, 30 (24):7560-7567. 1997.
- 29 PATTON, C. C.; CASAD, B. M. Paraffin Deposition from Refined Wax-Solvent Systems. **SPE** 2503, 1970.
- 30 BRADY, R.F. A fracture mechanical analysis of fouling release from non-toxic antifouling coatings. **Progress in Organic Coatings**, 43:188-192. 2001.
- 31 PASO, K. et al. Novel Surfaces with Aplicability for Preventing Wax Deposition: A Review. **Journal of Dispersion Science Technology**, 30:6,757-781. 2009.
- 32 PARKS, C.F. Chemical Inhibitors combat paraffin deposition. **Oil & Gas Journal** 58 (14), 97-99. 1960.
- 33 BUCK, E. Paraffin Prevention by Coatings. DeepStar Project DSIIA CTR A906-1. 1996.
- 34 JORDA, R. M. Paraffin Deposition and Prevention in Oil Wells. **Journal of Petroleum Technology**. p. 1605-1612. 1966.
- 35 OSIPOW, L. I. **Surface Chemistry: Theory and Industrial Applications**. Reinhold Publishing, 2ª edição, 1962.
- 36 JURGUEN, J. H. **An Experimental Study in the Nature of the Film Forming Characteristics of Crude Oil Fractions on Steel Surfaces and their Influence on Paraffin Deposition**. PhD Dissertation, The University of Texas, 1967.
- 37 EFFNER, H. F. Coatings for The Prevention Of Paraffin Deposition : Cold Finger Screening Studies. DeepStar CTR 3205-1. 1996
- 38 HSU, J.J.C. Effect of Coatings on Wax Deposition Under Turbulent Flow Conditions. DeepStar CTR 3205-3. 1997

- 39 HSU, J.J.C. Effect of the Ultra JGC Ultra Slick-13 Treated Tubes on Wax Deposition. DeepStar CTR 4203-4A. 1999.
- 40 ZHANG, X. et al. Wettability effect of coatings on drag reduction and paraffin deposition prevention in oil. **Journal of Petroleum Science & Engineering**, 36, 87-95. 2002.
- 41 TIAN, J.; XUE, Q. The plat drag reduction with low surface energy coating in water tunnel. **Chinese Science Bulletin**, 42 (4), 307-310. 1997.
- 42 CAMARGO JR., S.S. et al. Influence of hydrogenated amorphous carbono coatings on the formation of paraffin deposits. **Surface & Coatings Technology**, 200, 6479-6483. 2006.
- 43 AKBARZADEH, K.; RATULOWSKI, J.; DAVIES, T. The Importance of Deposition Measurements in the simulation and Design of Subsea Pipelines. **SPE** 115131. 2008.
- 44 TINSLEY, J. F., PRUD'HOMME, R. K. Deposition Apparatus to study the effects of polymers and asphaltenes upon wax deposition. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, 72,166-174. 2010.
- 45 ZOUGARI, M. et al. Novel Organic Solids Deposition and Control Device for Live-Oils: design and Applications. **Energy&Fuels**, 20, 1656-1663. 2006.
- 46 MATZAIN, A. **Single Phase Liquid Paraffin Deposition Modeling**. MSc Thesis, TULSA University (1996).
- 47 CHEN, X.T. et al. Techniques for Measuring Wax Thickness During Single and Multiphase Flow. The University of Tulsa. **SPE** 38773. 1997.
- 48 SONG,J. et al. Experiments and numerical modeling of solid state sintering for 316 stainless steel components. **Journal of Materials Processing and Technology**. Vol. 177, Issues 1-3 (352-355). 2006.
- 49 DRUFLON ELETRONICS. Properties of PTFE and some other insulating materials. Disponível em : <[www.drufon.com/ptfeprop.html](http://www.drufon.com/ptfeprop.html)>. Acesso em 25/07/2012.
- 50 MOORE, A.L et al. Thermal Conductivity Measurements of Nylon 11 – Carbon Nanofiber Nanocomposites. **Journal of Heat Transfer**, Vol. 131, Issue9, 091602. 2009.
- 51 SILVA, S.R.P. Properties of Amorphous Carbon. **EMIS** data reviews series N°29. INSPEC publication. 2003.

- 52 TAYLOR, W.J.; DUNN, R.; HOVEY, P. **Experimental Results for Thermal Conductivity of Paraffin waxes**. Crosby Laboratory, University of Maine. 2011.
- 53 TANAKA, Y. et al. Thermal Conductivity of Five Normal Alkanes in the Temperature Range 283-373 K at pressures up to 250 MPa. **International Journal of Thermophysics**, vol 9, N° 3, 1988.
- 54 C-THERM TECHNOLOGIES. Thermal Conductivity of Mineral Oil Based Transformer Fluid. Disponível em: <[http://www.ctherm.com/blog/thermal\\_conductivity\\_of\\_mineral\\_oil\\_based\\_transformer\\_fluid/](http://www.ctherm.com/blog/thermal_conductivity_of_mineral_oil_based_transformer_fluid/)>. Acesso em 12/07/2012.
- 55 INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P. **Fundamental of Heat and Mass Transfer**. 6th edition. Hoboken: Wiley. 490-515. 2007
- 56 NOVASKI, O. **Introdução à Engenharia de Fabricação Mecânica**. São Paulo. Editora Edgard Blucher, 2ª edição, p. 119. 1994.
- 57 MONTEIRO, D.W. et al. Single-mask micro fabrication of aspherical optics using KOH anisotropic etching of Si. **Optics Express**. Vol 11. N° 18. pág 2244-2252. 2003.
- 58 VAN OSS; CAREL, J. **Interfacial Forces in Aqueous Media**. CRC Press 2nd edition, 2006. Boca Raton, Fl.
- 59 TRIGWELL, S.; SELVADURAY, G. Effect of Surface Treatment on the Surface Characteristics of AISI 316L Stainless Steel. In: Proceedings Materials and Processes for Medical Devices Conference, ASM International, Boston, Massachusetts. November 14-16, 2005.
- 60 BUENO, H. **The critical surface tension of 316L Stainless Steel**. Master of Science Thesis. San Jose State University. 2005.
- 61 DANN, J.R. Critical Surface Tension of Polymeric Solids as Determined with Polar Liquids. **Journal of Colloid and Interface Science**, vol.32, N°2, 302-320. 1970
- 62 YU, G.Q.;TAY, B.K.;SUN, Z. Fluorinated amorphous diamond-like carbon films deposited by plasma enhanced chemical vapor deposition. **Surface & Coatings Technology**, 191, 236-241. 2005.
- 63 KRUSZEWSKI, K.M.; GAWALT, E.S. Perfluorocarbon thin films and polymer brushes on stainless steel 316 L for the control of interfacial properties. **Langmuir**, 27(13), 8120-8125. 2011.

- 64 HALLAB, N.J. et al. Evaluation of Metallic and Polymeric Biomaterial Surface Energy and Surface Roughness Characteristics for Directed Cell Adhesion. **Tissue Engineering**, volume 7, Number 1, 2001.
- 65 CHANG, W.V.; QIN, X. **Acid-Base Interactions: Relevance to Adhesion Science Technology**, Vol.2, K.L. Mittal, VSP, Utrecht, The Netherlands, p.39, 2000.
- 66 JANCZUK, B. ; BIALOPIOTROWICZ, T. Surface free-energy components of liquids and low energy solids and contact angles. **Journal of Colloid and Interface Science**. Vol. 127, page 189. 1989.
- 67 SEWELL, J.H. **Modern Plastics Encyclopedia**, 48 (6), 66-72. 1971
- 68 GODET, C. et al. Surface energy and hybridization studies of amorphous carbon surfaces. **Applied Surface Science**, 254, 4980-4991. 2008.

# A

## Apêndice – Memória de Cálculo

### A.1. Curva da bomba

De forma a determinar a vazão da bomba, foi realizada uma curva de calibração, onde foi variada a frequência de rotação da bomba e após um tempo cronometrado, a massa de líquido deslocada foi medida. O líquido utilizado nesta determinação foi água e através de sua densidade ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ) foi determinada a vazão volumétrica da bomba em função da rotação. O resultado é apresentado na Figura A-1.

Frequencia (Hz)	Média (L/h)
7	99.0
10	142.3
15	215.5
20	290.6
25	365.0
30	438.3
35	514.3
40	587.3
45	660.3
50	736.1
55	808.3
60	882.2

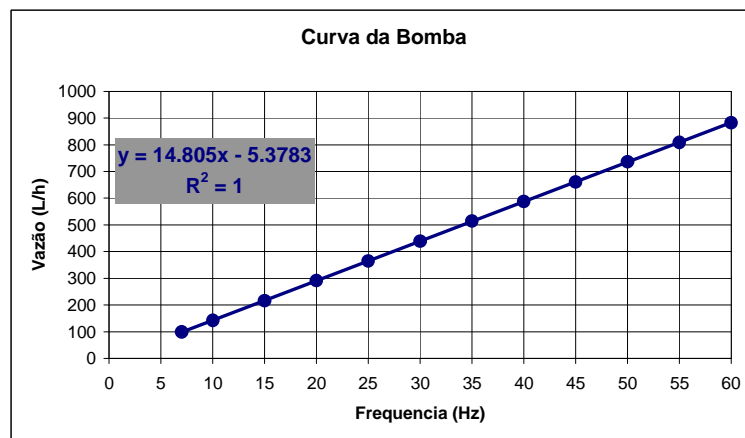


Figura A-1 – Curva de calibração da bomba de cavidades progressivas

## A.2. Número de Reynolds

O número de Reynolds na seção de teste foi determinado através das equações apresentadas abaixo:

$$\text{Re} = \frac{d_h \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad (\text{A-1})$$

$$D_h = \frac{4 \cdot A}{P} = \frac{4 \cdot b \cdot h}{2 \cdot (b + h)} = \frac{2 \cdot b \cdot h}{b + h} \quad (\text{A-2})$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{b \cdot h} \quad (\text{A-3})$$

$$\text{Re} = \frac{\frac{2 \cdot b \cdot h}{b + h} \cdot \frac{Q}{b \cdot h} \cdot \rho}{\mu} = \frac{2 \cdot Q \cdot \rho}{(b + h) \cdot \mu} \quad (\text{A-4})$$

$$\text{Re} = \frac{2 \cdot Q \cdot \rho}{\mu \cdot (b + h)} \quad (\text{A-5})$$

Onde:  $d_h$  é o diâmetro hidráulico em metros,  $v$  é a velocidade do fluido em m/s,  $\rho$  é a densidade do fluido em kg/m<sup>3</sup>,  $\mu$  é a viscosidade dinâmica do fluido em Pa.s,  $A$  é a área da seção transversal em m<sup>2</sup>,  $P$  é o perímetro molhado em metros,  $b$  é a largura da base da seção transversal em metros,  $h$  é a altura da seção transversal em metros e  $Q$  é a vazão de fluido em m<sup>3</sup>/s.

Assim, sendo conhecidos a base e a altura da seção de teste (0,04 m e 0,01 m respectivamente), a densidade (785 kg/m<sup>3</sup> a 35°C) e a viscosidade dinâmica (2,11x10<sup>-3</sup> Pa.s a 35°C), o número de Reynolds se torna uma função linear da vazão. A relação entre a frequência da bomba, a vazão e o número de Reynolds foi mostrada na seção 3.6.2. Como exemplo, pode-se calcular o número de Reynolds quando a vazão de solução de parafina é de 883 L/h ou 2,45x10<sup>-4</sup> m<sup>3</sup>/s.

$$\text{Re} = \frac{2 \cdot Q \cdot \rho}{\mu \cdot (b + h)} = \frac{2 \cdot 2,45 \times 10^{-4} \cdot 785}{2,11 \times 10^{-3} (0,04 + 0,01)} = 3643 \quad (\text{A-6})$$

Além disso, foi observado o comportamento da redução do número de Reynolds na seção em função da espessura de depósito formada. A expectativa inicial era de que a redução de Reynolds não fosse significativa sendo estimada em valores inferiores a 10%, entretanto em algumas medidas apresentaram redução de número de Reynolds entre 10% e 12%, porém sem incorrer em



alteração do regime de fluxo. Portanto o efeito da formação de depósito não causou alteração significativa nas condições de fluxo.

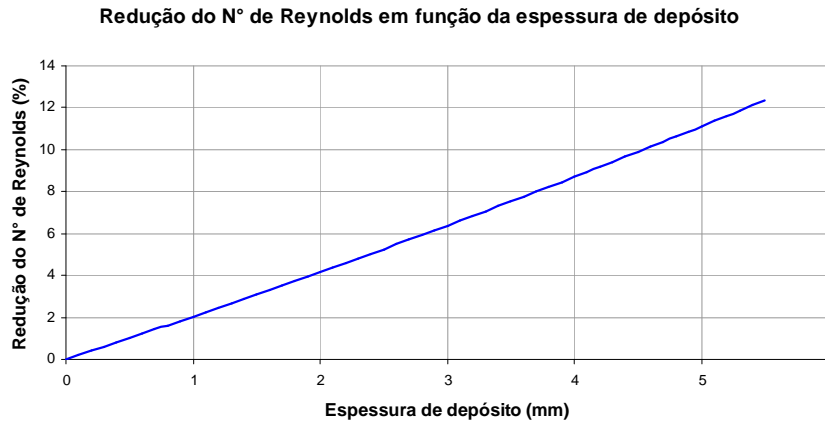


Figura A-2 – Redução do número de Reynolds em função do crescimento do depósito

### A.3. Teor de parafina na solução circulante

Uma das principais preocupações em loops experimentais fechados é a redução do teor de parafina na solução em função da deposição. É importante que a concentração de parafina permaneça constante, ou seja, tenha variação desprezível, para que não haja alterações nas condições de deposição. Sendo assim uma análise da concentração de parafina líquida na solução pode ser realizada para validar qual a magnitude desta variação para o experimento realizado.

Para efeito de cálculo foram consideradas as condições mais extremas de deposição: espessura de depósito de 5 mm (ou 0,5 cm) e porosidade do depósito (fração de óleo) de 20%. Ambos são condições bastante conservadoras, pois a espessura de parafina só atingiu espessuras maiores que 5 mm em dois casos da matriz de testes e a porosidade do depósito pode variar de 20 a 95%, sendo o volume poroso preenchido com óleo. Com base nestes critérios os cálculos abaixo foram realizados.

$$V_{\text{depósito}} = A_{\text{depósito}} \times \delta_{\text{depósito}} = 60\text{cm}^2 \times 0,5\text{cm} = 30\text{cm}^3 \quad (\text{A-7})$$

$$m_{\text{depositada}} = \rho_{\text{parafina}} \times V_{\text{depósito}} \times (1 - \phi_{\text{depósito}}) = 0,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 30\text{cm}^3 \times (1 - 0,2) = 19,2\text{g} \quad (\text{A-8})$$

$$m_{\text{óleo}} = \rho_{\text{parafina}} \times V_{\text{depósito}} \times \phi_{\text{depósito}} = 0,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 30 \text{cm}^3 \times 0,2 = 4,8 \text{g} \quad (\text{A-9})$$

$$m_{\text{solução}} = V_{\text{tanque}} \times \rho_{\text{solução}} = 4000 \text{cm}^3 \times 0,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 3200 \text{g} \quad (\text{A-10})$$

$$m_{\text{parafina}} = V_{\text{tanque}} \times \rho_{\text{solução}} \times C_{\text{solução}} = 4000 \text{cm}^3 \times 0,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 0,2 \frac{\text{g}}{\text{g}} = 640 \text{g} \quad (\text{A-11})$$

$$m_{\text{parafina}} - m_{\text{depósito}} = 640 \text{g} - 19 \text{g} = 621 \text{g} \quad (\text{A-12})$$

$$m_{\text{solução}} - m_{\text{depósito}} - m_{\text{óleo}} = 3200 \text{g} - 19 \text{g} - 4,8 \text{g} = 3176,2 \text{g} \quad (\text{A-13})$$

$$C'_{\text{solução}} = \frac{621}{3176,2} = 19,6\% \cong 20\% \quad (\text{A-14})$$

Onde  $A$  é a área,  $\delta$  é a espessura,  $V$  é o volume,  $\phi$  é a porosidade,  $\rho$  é a porosidade,  $m$  é a massa,  $C$  a concentração e  $C'$  a concentração ao final do ensaio. Com o resultado obtido prova-se que mesmo no pior cenário, a variação da concentração de parafina pode ser considerada desprezível.

#### A.4. Espessura de depósito

O cálculo de espessura de depósito através da imagem capturada pela câmera foi realizado tomando como referência a espessura da janela de visualização de acrílico cuja medida era conhecida (15 mm). A distância entre as extremidades da janela de acrílico eram medidas em número de pixels e um fator multiplicador era obtido dividindo 15 mm pelo número de pixels. As espessuras dos depósitos de parafina eram medidos em termos de número de pixels e este valor era multiplicado pelo fator multiplicador fornecendo assim a espessura de depósito em mm. A Figura A-3 mostra uma imagem capturada com as medidas em pixels da janela de acrílico e da espessura de depósito.

Ao utilizar o software *Axiovision*, a medida de referência era calibrada inicialmente e, mantida a posição, o foco e o zoom da câmera, as medidas de espessura de depósito eram automaticamente calculadas.

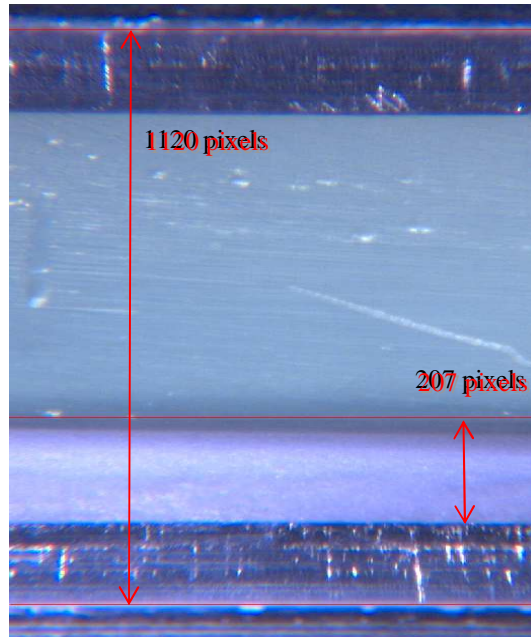


Figura A-3 – Imagem capturada com exemplo de medida de espessura de depósito de parafina

Como exemplo, utilizando as medidas da imagem tem-se que:

$$207 \text{ pixels} \times \frac{15 \text{ mm}}{1120 \text{ pixels}} = 2,77 \text{ mm} \quad (\text{A-15})$$

### A.5. Temperatura medida

As temperaturas obtidas, através dos termopares tipo E instalados, foram calculadas através da equação (A-16) a partir das tensões medidas. Esta equação de calibração já é utilizada no laboratório de mecânica dos fluidos da PUC-Rio para termopares tipo E com sucesso. O termopar de referência é imerso em um banho de gelo isolado termicamente.

$$(T_i - T_r) = -0,128 + 17,195 \cdot (e_i - e_r) - 0,2581 \cdot (e_i - e_r)^2 \quad (\text{A-16})$$

Onde  $e_i$  é a tensão medida em mV,  $e_r$  é a tensão do termopar de referência medida em mV,  $T_i$  é a temperatura em °C e  $T_r$  é a temperatura de referência em °C

Como exemplo, para uma tensão medida de 0,503 mV e uma tensão de referência de -1,365 mV, a temperatura calculada é de 31,09°C.

## A.6. Fluxo de calor medido

Para obter os valores de fluxo de calor foram utilizados os dados de calibração obtidos na seção 3.4.1. A partir das medidas de tensão, os fluxos de calor eram calculados utilizando as equações (A-17) e (A-18) de acordo com o número de série do sensor.

$$q'' = 534,93 \cdot e - 39,328 \quad (\text{HFS-4 11021964}) \quad (\text{A-17})$$

$$q'' = 529,04 \cdot e - 22,296 \quad (\text{HFS-4 11021973}) \quad (\text{A-18})$$

Onde  $q''$  é o fluxo de calor por unidade de área em  $\text{W/m}^2$  e  $e$  é a tensão medida em mV.

Assim para uma medida de tensão de 4,835 mV com o sensor HFS-4 11021964 e uma tensão de 5,173 mV com o sensor HFS-4 11021973, os fluxos de calor calculados são de 2547  $\text{W/m}^2$  e 2714  $\text{W/m}^2$  respectivamente.

## **B**

### **Apêndice - Procedimentos Experimentais**

#### **B.1.**

##### **Abertura da seção de teste**

- Certificar que as fitas térmicas estão desligadas e que a bomba está desligada.
- Fechar ambas as saídas dos tanques (sobre a placa de aquecimento)
- Esvaziar a seção de teste através da válvula de dreno na saída da bomba
- Retornar o óleo drenado para o tanque de óleo
- Fechar as válvulas de entrada e saída do banho (junto aos trocadores de calor)
- Remover o banho de gelo para local seguro
- Remover os termopares inseridos na entrada e saída da seção e fixá-los em local adequado
- Desconectar a mangueira na entrada e na saída através dos engates rápidos
- Guarnecer a mesa com papel toalha para conter vazamento
- Remover as porcas que prendem a seção
- Remover a peça de alumínio, a placa de polipropileno e a cortiça
- Remover o trocador de calor superior
- Secar a mesa com auxílio de papel toalha
- Tirar placa superior e apoiá-la sobre um papel toalha limpo com o ressalto voltado para baixo
- Remover o excesso de óleo da seção de teste com papel toalha
- Remover a seção de acrílico (com as mangueiras e engate rápido) e dispô-la em local seguro
- Secar a seção de acrílico com papel toalha. Reservar.
- Tirar placa inferior e apoiá-la sobre um papel toalha limpo com o ressalto voltado para baixo
- Abrir placa superior, removendo a placa fina e o filme de PVC. Secar ambos com papel toalha e reservar.
- Remover a placa metálica em formato de U que cobre o sensor

- Retirar o sensor, com cuidado utilizando o estilete nas laterais para fazer uma alavanca e suspender o sensor levemente (não puxar pelos fios)
- Prende-lo com fita crepe na em local seguro
- Repetir o procedimento para a placa inferior
- Remover com papel toalha o querosene que por ventura tenha caído no trocador inferior
- Secar tudo muito bem

## **B.2. Reposicionamento dos sensores**

- Colocar fina camada de pasta térmica no espaço destinado ao sensor (ela servirá como uma espécie de “cola”)
- Posicionar o sensor, atentando para que a parte plana fique virada para baixo (em contato com a pasta térmica) e a parte protuberante (próxima aos fios) fique voltada para cima.
- Fixá-lo com a ponta dos dedos e fixar os fios nas canaletas exercendo leve pressão
- Colocar mais uma camada fina de pasta térmica sobre o sensor
- Colocar a pequena placa de metal em formato U sobre o sensor de fluxo de forma a coincidir o espaço vazio (“dente”) com a protuberância do sensor
- Posicionar o filme de PVC sobre a placa de forma que os fios fiquem cobertos pelo PVC e haja um vão no sentido oposto aos fios
- Aplicar bastante pasta térmica suficiente para cobrir os espaços vazios
- Nivelar a pasta térmica com a lâmina do estilete, no nível do filme de PVC
- Posicionar a placa de metal fina e fechar a placa
- Limpar bem a placa, retirando todo resíduo de pasta térmica das laterais
- Repetir o procedimento para a placa superior

## **B.3. Fechamento da seção de teste**

- Posicionar o trocador de calor Inferior sobre a cortiça e a placa de polipropileno
- Posicionar a placa inferior sobre o trocador de calor com o ressalto voltado para cima

- Limpar e Verificar o posicionamento do anel de vedação da placa inferior
- Encaixar a seção de acrílico sobre o ressalto com cuidado, com o cuidado de encaixar também o trocador de calor inferior. A entrada da seção é aquela que contém as placas difusoras
- Conectar os engates rápidos
- Limpar e verificar o posicionamento do anel de vedação da placa superior
- Encaixar a placa superior na seção de acrílico (ressalto voltado para baixo)
- Encaixar o trocador de calor superior
- Posicionar a cortiça e a placa de polipropileno
- Fechar a seção com a peça de alumínio
- Antes de apertar a seção verificar se as placas metálicas estão bem encaixadas na seção de acrílico (não deve haver espaços entre a lateral de acrílico e as placas metálicas mesmo sem aperto)
- Apertar as porcas ao máximo (a força fica limitada aos quatro batentes posicionados nos tirantes).
- Testar contra vazamento, abrindo as válvulas do trocador de calor e verificando.
- Reinsserir os termopares de entrada e saída da seção de teste

Obs.: Realizar todas as operações com especial atenção para os fios de termopar e os fios dos sensores de fluxo. Os mesmos não devem ficar esticados em demasia. Caso haja necessidade, desconectar os plugues dos fios de termopar das placas de aço.

#### **B.4. Procedimento para medição de deposição de parafina**

- Ligar as placas de aquecimento do tanque de óleo (ajustar para 50) e de parafina (ajustar para 80), inclusive agitação magnética.
- Verificar o banho de gelo. Caso a quantidade de gelo não seja suficiente, preparar novo banho de gelo.
- Ligar os banhos e ajustar a temperatura para 35°C, mantendo as válvulas de entrada e saída dos trocadores fechadas.

- Verificar se o tanque de parafina está cheio (acima do nível da entrada). Caso negativo preparar mais solução e completar o nível.
- Verificar a posição das válvulas:
  - Saída do tanque de parafina: fechada
  - Saída do tanque de óleo: aberta
  - Dreno: fechada
  - Vente: fechada
  - Entrada do tanque de parafina: fechada
  - Entrada do tanque de óleo: aberta
- Ligar a bomba e iniciar a circulação de óleo com frequência de 20 Hz, com objetivo de aquecer e condicionar o sistema.
- Ligar a iluminação da célula.
- Abrir as válvulas do trocador de calor.
- Ligar a fonte que alimenta as fitas térmicas.
- Garantir a passagem de óleo no sistema acima de 35°C por pelo menos 15 minutos.
- Parar a bomba e remover todo o óleo pelo dreno inferior (saída da bomba). Retornar o óleo para o tanque.
- Bloquear a saída de óleo do tanque e desligar a placa de aquecimento
- Abrir a válvula de vente e ligar a bomba em vazão mínima (10Hz) recolhendo o óleo novamente através do dreno.
- Fechar o dreno e retornar o óleo para o tanque.
- Fechar o vente. Fechar, também, a válvula de entrada do tanque de óleo.
- Garantir que toda a solução de parafina esteja líquida. Desligar o aquecimento da placa.
- Abrir válvula de saída do tanque de parafina.
- Aquecer os seguintes pontos com soprador de ar quente: cotovelo da entrada do tanque de parafina, cotovelo da entrada do tanque de descarte e válvula de retenção.
- Ligar a bomba com frequência de 20 Hz. Parte da solução de parafina será descartada limpando o sistema.
- Após 15 segundos abrir a válvula de entrada do tanque de parafina e circular a solução na vazão desejada.
- Bloquear a saída e a entrada do trocador de calor inferior.



- Ajustar a temperatura do banho inferior de acordo com a vazão desejada (ver tabela).
- Manter a circulação do banho superior com a temperatura de 35°C.
- Regular a voltagem da fonte de forma que a temperatura de entrada na seção de teste fique estável em 35°C +/- 0,1°C.
- Verificar o posicionamento da câmera e iluminação.
- Após estabilidade da temperatura de entrada e da temperatura do banho, acionar a aquisição de imagens com a câmera (frequência 10s, duração 60 minutos), anotando o nº da iteração (labview; reiniciar a contagem previamente).
- Em seguida abrir a válvula de entrada do trocador de calor inferior e depois a de saída. Anotar a iteração (labview).
- Ajustar a velocidade da bomba do banho para “rápida”, até que a temperatura da placa inferior atinja 30°C. Após isto retornar para “média”.
- Regular a potência da fonte de forma a manter a temperatura de entrada em 35°C +/- 0,1°C.
- Haverá queda no fluxos de calor e na temperatura da placa inferior.
- Capturar as imagens da seguinte forma e na seguinte ordem:
  - 1 hora com frequência de 10 segundos
  - 1 hora com frequência de 2 minutos
  - 8 horas com frequência de 5 minutos
- Permanecer a aquisição de imagens até que o regime permanente tenha sido atingido. Após isso parar a aquisição. O regime permanente é atingido quando não há variação significativa da espessura de depósito em 30 minutos. O tempo mínimo de aquisição é de 2 horas.
- Ligar a placa de aquecimento do tanque de óleo.
- Ajustar a temperatura do banho para 40°C e manter a circulação de parafina até que não haja mais depósito (limpeza da seção de teste).
- Parar a bomba e fechar a válvula de saída do tanque de parafina.
- Remover o fluido ainda quente das linhas num bécher de vidro e retornar para o tanque de parafina.
- Abrir a válvula de vente e ligar a bomba em vazão mínima (10Hz) recolhendo a solução de parafina novamente através do dreno.
- Fechar o dreno e retornar a parafina para o tanque.
- Fechar o vente. Fechar, também, a válvula de entrada do tanque de parafina.

- Abrir a válvula de saída do tanque de óleo.
- Aquecer os seguintes pontos com soprador de ar quente: cotovelo da entrada do tanque de descarte e válvula de retenção.
- Partir a bomba com frequência de 20 Hz, acionar o cronômetro, e limpar o sistema descartando o fluido para o tanque de descarte (válvulas de entrada de ambos os tanques devem estar fechadas).
- Depois de transcorrido 15 segundos abrir a válvula de entrada do tanque de óleo e retomar a circulação normal de óleo pelo sistema.
- Drenar o tanque de descarte pelo fundo para um bécher e descartá-lo em local adequado (bombonas azuis).
- O sistema está pronto para realizar nova medida.
- Salvar os vídeos das imagens capturadas.
- Salvar os arquivos .txt do labview.

Tabela B-1 – Temperatura do banho termostático a ser ajustada, por vazão da bomba e por placa de teste

		Aço Inox 316L e DLC	Teflon <sup>®</sup>	Nylon 11 <sup>®</sup>
Frequência (Hz)	Nº de Reynolds	Temp. do banho (°C)	Temp. do banho (°C)	Temp. do banho (°C)
10	589	26,5	25,5	25,1
20	1200	24,1	23,1	22,0
30	1810	22,0	21,0	20,1
50	3032	17,3	15,3	14,2
60	3643	13,7	11,0	10,1