

DESENVOLVIMENTO DE UMA ROTINA COMPUTACIONAL PARA O CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS DA ÁGUA

Fábio Alfaia da Cunha

alfaia@ufpa.br

Adriano Gomes Batista

agb@ufpa.br

Gonçalo Rendeiro

rendeiro@ufpa.br

Robson Evilácio de Jesus Santos

robsonejs@msn.com

Departamento de Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Pará. Rua Augusto Corrêa, Guamá, Belém – PA – Brasil, CEP: 66075-110

Resumo. *A geração de energia elétrica a partir de centrais termelétrica é considerada de importância estratégica na Amazônia devido a grande reserva de biomassa existente na região. Com o intuito de melhorar a tecnologia e os processos de funcionamento de uma planta deste tipo, uma termelétrica piloto está sendo construída no laboratório de engenharia mecânica da Universidade Federal do Pará. Para uma análise detalhada do ciclo termodinâmico desta termelétrica um dos instrumentos necessários e um software que calcule as propriedades termodinâmicas da água em suas diversas fases. Por isso, é desenvolvida neste trabalho uma rotina computacional para o cálculo das propriedades termodinâmicas da água nas fases: líquido comprimido, líquido saturado, vapor saturado e vapor superaquecido a partir de equações disponíveis na literatura. Os valores calculados pela rotina são avaliados mediante comparação com valores considerados de referência, tirados de bibliografias consagradas. Os desvios máximos encontrados entre os valores considerados padrões e os calculados, para cada propriedade, também são apresentados.*

Palavras-chave: propriedades termodinâmicas, central termelétrica, rotina computacional.

1. INTRODUÇÃO

A implementação computacional de equações de propriedades termodinâmicas é de suma importância quando se deseja desenvolver programas na área de termodinâmica, dado o número de equações envolvidas em determinados problemas, tal como o de simulação e otimização de ciclos termodinâmicos (Muneer, 1985 e Santos, 2003), neste caso as inúmeras consultas às tabelas termodinâmicas inviabilizaria este tipo de tarefa (Moraes, 1994). Além da automação na busca das propriedades, o uso de equações computacionais dá uma precisão melhor do que os valores interpolados de uma tabela (Muneer, 1991 e Najjar, 1997). Malhotra et al (2001) comenta a grande dificuldade de se integrar os softwares disponíveis às linguagens escolhidas pelos projetistas. Fica claro que existe uma preocupação no desenvolvimento de códigos que possam ser utilizados por diversas plataformas. No trabalho desenvolvido recentemente por Verma (2003) é apresentado um

Componente ActiveX em Visual Basic 6.0 para o cálculo de propriedades termodinâmicas que é bastante flexível, pois pode ser utilizado por qualquer linguagem que suporte *object link embedding* no ambiente Windons. Dentro desse contexto, o software utilizado para a programação é o FORTRAN que é a ferramenta mais indicada e utilizada na área de desenvolvimento de softwares de aplicação científica e tecnológica por possuir inúmeras bibliotecas disponíveis, tais como, IMSL, NUMERICAL RECIPES etc. O Fortran dá uma flexibilidade excelente, pois facilmente pode-se compilar o seu código para um arquivo do tipo “dll” que pode ser executado por outras linguagens, tais como, MatLab, Visual Basic, C, C++, Pascal (Delphi) e assembly. Porém os procedimentos de chamada das dlls diferenciam de uma linguagem para outra.

2. FORMULAÇÕES MATEMÁTICAS

Nesta parte do trabalho são mostradas as formulações matemáticas que permitem a determinação das propriedades termodinâmicas da água, na condição de líquido comprimido, líquido saturado, mistura líquido-vapor, vapor saturado e vapor superaquecido. Optou-se por utilizar em tal tarefa as formulações apresentadas por Reynolds (1979) porque estas possibilitam o cálculo das propriedades termodinâmicas da água com excelente precisão para uma ampla faixa de temperaturas (0°C a 1300°C) e pressões (0,0006Mpa a 100Mpa) para as fases de líquido saturado, vapor saturado e vapor superaquecido. Para o cálculo das propriedades da fase de líquido comprimido são empregadas expressões ajustadas pela técnica de mínimos quadrados pelos presentes autores.

2.1. Formulação para a Região de Líquido Saturado, Vapor Saturado e Superaquecido

As formulações matemáticas para as fases de líquido saturado, vapor saturado e vapor superaquecido são feitas através do emprego de expressões de dois tipos:

- (1) Uma equação envolvendo pressão, massa específica e temperatura (P-ρ-T), dada na forma $P = P(\rho, T)$ (equação de estado).
- (2) Uma equação para o calor específico a volume constante à densidade nula (gás ideal), dada na forma. $C_v^\circ = C_v^\circ(T)$

A primeira expressão apresenta-se na seguinte forma:

$$P = \rho RT \left[1 + \rho Q + \rho^2 \left(\frac{\partial Q}{\partial \rho} \right)_T \right] \quad (1)$$

Onde o valor de Q, é dado por:

$$Q = (\tau - \tau_c) \times \sum_{j=1}^7 (\tau - \tau_{aj})^{j-2} \times \left[\sum_{i=1}^8 A_{ij} (\rho - \rho_{aj})^{i-1} + e^{-E_p} \times \sum_{i=9}^{10} A_{ij} \rho^{i-9} \right] \quad (2)$$

Onde: $\tau = 1000/T$ $\tau_c = 1000/T_c$
 $\tau_{a1} = \tau_c$ $\tau_{aj} = 2,5$ para $j > 1$
 ρ_{a1} $\rho_{aj} = 1000$ para $j > 1$

Nas equações acima, os valores de massa específica são dados em kg/m³, os valores de temperatura em K (Kelvin) e os de pressão em Pa (Pascal). T_c é a temperatura do ponto crítico cujo valor é $T_c = 647,286$ K (374,123 °C) e R é a constante dos gases cujo valor para a água é $R = 461,51$ J/kg K. Os valores das constantes A_{ij} são apresentados em Reynolds (1979).

A segunda expressão calcula o calor específico a volume constante:

$$C_v^o = \sum_{i=1}^6 G_i T^{i-2} \quad (3)$$

Os valores das constantes G_i são apresentados em Reynolds (1979).

As equações (1) e (3) são utilizadas juntamente com relações termodinâmicas, para obter a formulação para as demais propriedades.

2.1.1 Energia Interna Específica

A energia interna de uma substância compressível simples pode ser expressa como:

$$u = u(T, v) \quad (4)$$

Diferenciando a equação (4) e usando a definição $C_v = \left(\frac{\partial u}{\partial v} \right)_T$ resulta:

$$du = C_v dT + \left(\frac{\partial u}{\partial v} \right)_T dv \quad (5)$$

Das relações termodinâmicas têm-se:

$$\left(\frac{\partial u}{\partial v} \right)_T = T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v - P \quad (6)$$

Substituindo a equação (6) na equação (5), usando $dv = d\rho/\rho^2$ e integrando segundo a trajetória mostrada na fig. 1, obtém-se:

$$u = \int_{T_0}^T C_v^o(T) dT + \int_0^{\rho} \frac{1}{\rho^2} \left[P - T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_\rho \right] d\rho + u_0 \quad (7)$$

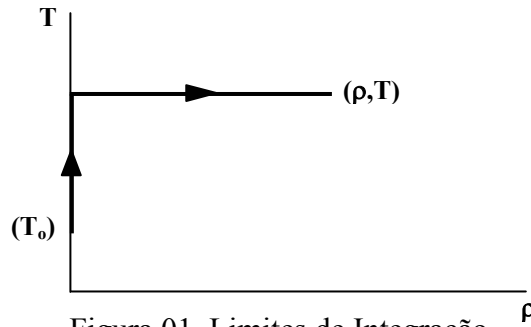


Figura 01. Limites de Integração

Observa-se que a primeira integração é realizada à densidade zero, o que justifica a presença de C_v^o no lugar de C_v , e a segunda à temperatura constante. Na equação (7) $u_0 = 2,3750207 \times 10^6$ J/kg é o valor de referência para $T_0 = 273,16$ K (0 °C).

2.1.2 Entalpia Específica

A entalpia específica é calculada em função da energia interna, pressão e massa específica:

$$h = u + P/\rho \quad (8)$$

2.1.3 Entropia Específica

A entropia é determinada pela equação de Gibbs:

$$ds = \frac{1}{T} du + \frac{P}{T} dv \quad (9)$$

Usando as equações (5) e (6), tem-se:

$$ds = \frac{C_v}{T} du - \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_\rho dv \quad (10)$$

Somando e subtraindo o termo $[-R \ln(\rho)]$ à equação (10) e integrando segundo a trajetória mostrada na fig. 01, obtém-se:

$$s = \int_{T_0}^T \frac{C_v^0(T)}{T} dT - R \ln(\rho l) + \int_0^p \frac{1}{\rho^2} \left[\rho R - \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_\rho \right] d\rho + s_0 \quad (11)$$

Onde $s_0 = 6,6965776 \times 10^3 \text{ J/kg.K}$ é o valor de referência para $T_0 = 273,16 \text{ K}$ (0°C).

2.2 Região de Saturação

Na região de saturação, torna-se mais conveniente o uso de fórmulas que permitam o cálculo das propriedades em função apenas da temperatura. As expressões fornecidas por Reynolds (1979) são apresentadas a seguir:

2.2.1 Pressão de Saturação

$$\ln \left(\frac{P_{\text{sat}}}{P_c} \right) = \left(\frac{T_c}{T} - 1 \right) \times \sum_{i=1}^8 F_i \left[a \times (T - T_p) \right]^{i-1} \quad (12)$$

Onde P_c é a pressão no ponto crítico cujo valor é $317,0 \text{ kg/m}^3$. Os valores das constantes F_i são apresentados em Reynolds (1979).

2.2.2 Entalpia e Entropia de Vaporização

Utilizando a equação de Clausius-Clapeyron.

$$h_{fg} = T_{fg} \frac{dP_{\text{sat}}}{dT_{\text{sat}}} \quad (13)$$

$$s_{fg} = \frac{h_{fg}}{T} \quad (14)$$

2.2.3 Equação de Densidade de Líquido Saturado

A formulação mostrada a seguir permite a determinação da densidade de líquido saturado para um dado valor de T :

$$\rho_f = \rho_c \left[1 + \sum_{i=1}^N D_i (1 - T/T_c)^{i/3} \right] \quad (15)$$

2.3 Formulação Matemática para a Região de Líquido Comprimido.

Para o cálculo das propriedades termodinâmicas da fase de líquido comprimido são empregadas expressões ajustadas a partir de tabelas de Keenan (1978) pela técnica de mínimos quadrados pelo

presente autor. Considerando uma propriedade qualquer p_1 e outras duas p_2 e p_3 , na região de líquido comprimido, sabe-se que p_1 pode ser determinado a partir de p_2 e p_3 , ou seja, $p_1 = f(p_2, p_3)$. Admitindo que p_3 é a temperatura e p_2 a pressão. Na região de líquido comprimido p_1 varia mais com p_3 do que com p_2 . Isto é considerado pela ordem dos polinômios de ajuste.

O polinômio de ajuste de p_1 em função de p_3 é dado por:

$$p_1 = \sum_{i=0}^7 a_i p_3^i \quad (16)$$

Onde os “ a_i s” são constantes com relação a p_3 , mas variam com p_2 , $a_i = f(p_2)$:

$$a_i = \sum_{j=0}^3 b_{i,j} p_2^j \quad (17)$$

De posse de todos os coeficientes das equações o procedimento de cálculo das propriedades na rotina é o seguinte:

1. Primeiro são calculados os coeficientes “ a_i s” a partir de propriedade p_2 pela equação (17)
2. A partir de p_3 é calculada a propriedade p_1 pela equação (16).

3. IDENTIFICAÇÃO DAS FASES PELO PROGRAMA.

Para que o código identifique em que fase a água se encontra, cada par de propriedades é composto por T e f ou P e f, onde f é qualquer uma das propriedades (s, v, u, X). Todos os pares possuem T ou P para que o programa possa encontrar os valores de saturação das outras propriedades para então fazer o cálculo do título. Por exemplo, se for dado um par **T** e **s**, o programa verificará **sf** e **sg** para a temperatura de entrada e, então, calcula o título e define a fase da água. É claro que o procedimento descrito acima só é feito se T ou P do par dado for menor que o crítico. Acima do ponto crítico é utilizada outra estratégia, já que acima dele não existe uma situação onde duas fases coexistam, como pode ser verificado na fig. 02.

Quando está se lidando na região de pressões supercríticas não é válido dizer que a fase é vapor ou líquido, é utilizada simplesmente designação de fluido. Porém, convencionalmente, para temperaturas inferiores à crítica o fluido é referido como líquido comprimido e para temperaturas acima de crítica, vapor superaquecido (Wylen et al, 1993), e é com base nisso que o código identifica as fases para essa região. A Sub-rotina PROP fornecida por Reynolds pode ser utilizada para as fases vapor superaquecido e líquido comprimido se $P > P_c$.

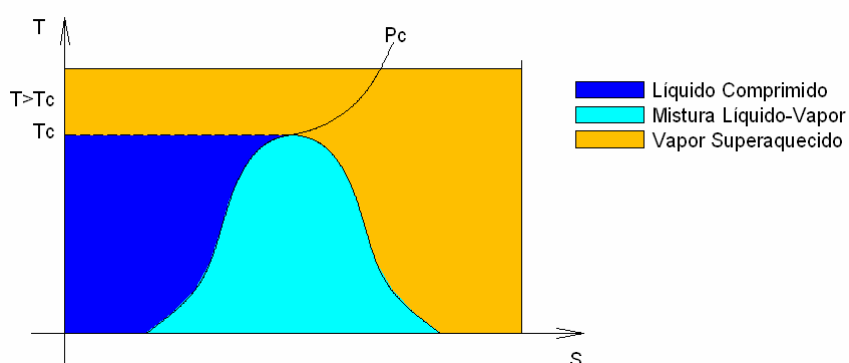


Figura 02. Diagrama T -s.

4. DESCRIÇÃO DAS SUB-ROTINAS

Sub-rotina **PWATER** (T,P,V, U,H, S)

Com as entradas T e v essa sub-rotina utiliza as equações (1), (3), (7), (8), (11) para o cálculo das propriedades P , u , h , s nas fases vapor saturado, vapor superaquecido e, se a pressão for acima da crítica, líquido comprimido.

Sub-rotina **PROP** (T,P,V, U,H,S, NOP)

Esta sub-rotina pode ser chamada com quaisquer duas propriedades específicas e com uma estimativa de valor para T e /ou v, para calcular as propriedades não especificadas nas fases vapor saturado, vapor superaquecido e, se a pressão for acima da crítica, líquido comprimido. O cálculo das propriedades é feito de forma iterativa utilizando a sub-rotina PWATER. Cada par de propriedades, para a entrada na sub-rotina, está associado a um número chamado de NOP:

Número do par de propriedades (NOP)	1	2	3	7	8	9
Par de propriedades de entrada	T e V	T e P	P e V	T e S	P e S	P e H

Sub-rotina **SWATER** (T, P, DPDT)

Quando chamada com a entrada T a partir da equação (12) calcula a pressão de saturação P_{sat} e a derivada $dP_{sat}/dT_{sat} = DPDT$.

Sub-rotina **SAT**(T, P, DPDT, NOP2)

É utilizada para calcular $P_{sat}(T)$ ou $T_{sat}(P)$ e dP_{sat}/dT_{sat} , dependendo do valor do NOP2:

- Para NOP2 =1, calcula $P_{sat}(T)$ e dP_{sat}/dT .
- Para NOP2 =2, calcula $T_{sat}(T)$ e dP_{sat}/dT .

Sub-rotina **DWATER**(PSAT,T,ROF,VF,VG,VFG,HFG,HG,HF,SFG,SG,SF,NOP,NOP2)

Quando chamada com a entrada T essa sub-rotina utiliza as equações (12), (13), (14), (15), para o cálculo da densidade de líquido saturado (ρ_f), pressão de saturação (P_{sat}), volume específico de líquido saturado (VF), volume específico de vapor saturado (VG), diferença entre VG e VF (VFG), entalpia de líquido saturado (HF), entalpia de vapor saturado (HG), diferença entre HG e HF (HFG), entropia de líquido saturado (SF), entropia de vapor saturado (SG), diferença entre SH e SF (SFG).

Sub-rotina **AJUSTE**(NOP,NOP2,V,T,P)

Nesta sub-rotina estão colocadas estimativas dos valores de T e/ou v necessários para a sub-rotina PROP dependendo do par de propriedades de entrada. Ela também ajusta o valor de NOP2 em função do valor de NOP.

Sub-rotina **CALCULOS** (P,T,V,H,S, U,X, EST, NOP)

É a principal dentre todas as sub-rotinas, pois é ela o objetivo do trabalho. Nela, entrando-se com um número correspondente a um par de propriedades (NOP) e com os valores das propriedades, são calculadas as demais propriedades e a fase da substância (líquido comprimido, mistura líquido-vapor ou vapor superaquecido) que é armazenado na variável **EST**. O fluxograma da sub-rotina é mostrado na fig. 3 e os números dos pares de propriedades são os seguintes:

Número do par de propriedades (NOP)	1	2	3	4	5	7	8
Par de propriedades de entrada	T e V	T e P	P e V	P e X	T e X	T e S	P e S

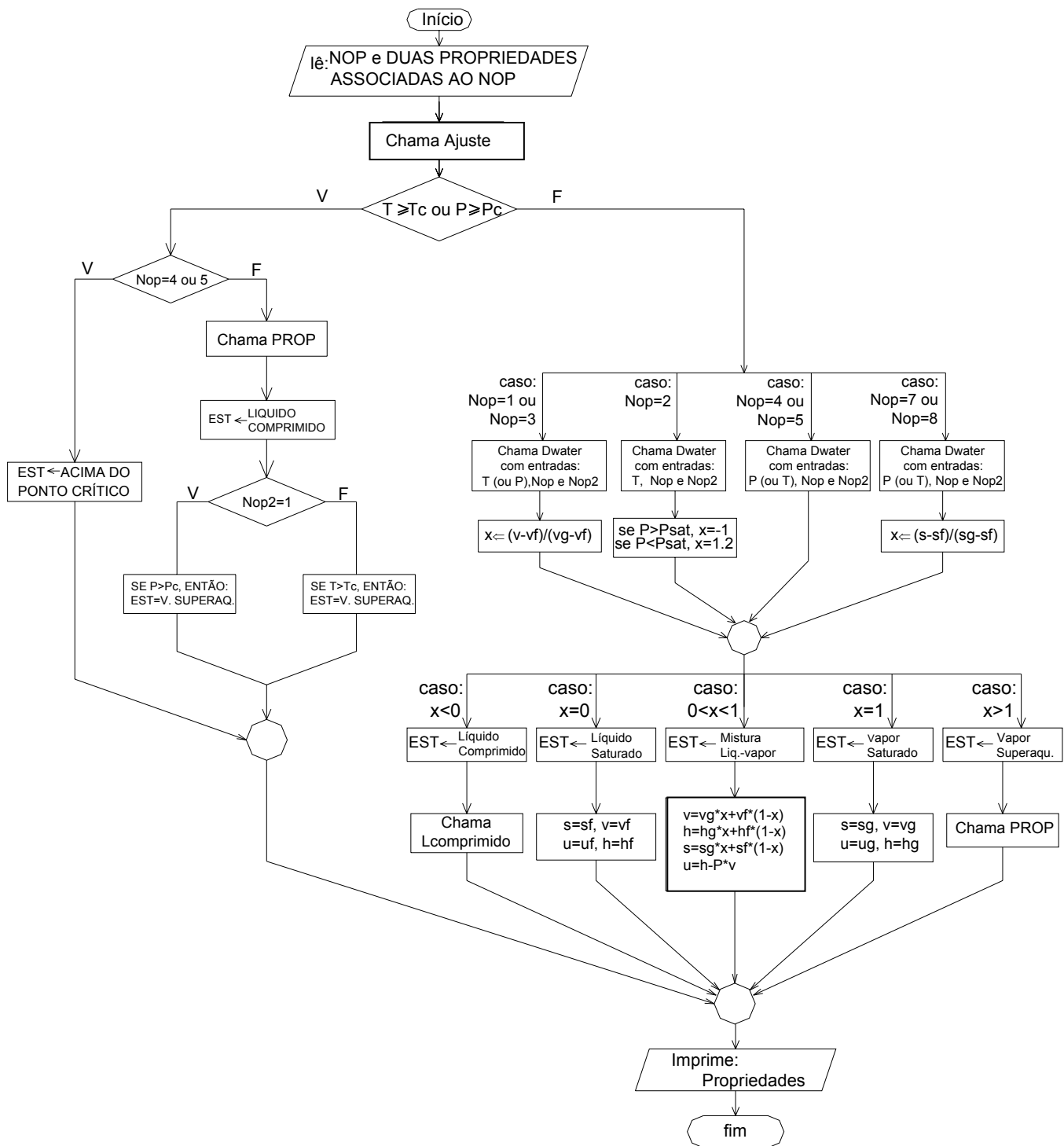


Figura 03. Fluxograma da Sub-rotina **CALCULOS**.

5. RESULTADOS

Nesta seção são mostrados e avaliados os resultados encontrados com a rotina computacional desenvolvida. O erro entre o valor padrão considerado e o calculado é determinado da seguinte forma: $\text{Erro}(\%) = |(p_{\text{ref}} - p_{\text{cal}}) / p_{\text{ref}} * 100|$, onde “p” é a propriedade que está sendo avaliada. O índice “ref” faz referência à propriedade padrão e o índice “cal” a propriedade calculada pela rotina.

5.1 Resultados da Região de Líquido Comprimido

Para esta região são consideradas pressões de 5 e 10 MPa e temperatura na faixa de 20 a 260°C, conforme as tabelas 1. As propriedades avaliadas são a entropia e entalpia em função da pressão e temperatura. Pode-se perceber nas tabelas que os valores calculados são bastante satisfatórios. As propriedades de referência foram obtidas de Keenan (1978).

Tabela 1. Comparação entre as propriedades termodinâmicas calculadas e as de referência.

P=5MPa					Erro(%)	
T(°C)	$s_{cal}(J/kg\cdot K)$	$h_{cal}(J/kg)$	$s_{ref}(J/kg\cdot K)$	$h_{ref}(J/kg)$	Erro _{entropia}	Erro _{entalpia}
20	2,955992651484597E2	8,865028980354237E4	295,6	88650	2,485965E-4	3,269075E-4
60	8,284923895162173E2	2,553043485634307E5	828,5	255300	2,884182E-4	1,703315E-3
100	1,303020058385488E3	4,227226539951769E5	1303	422720	1,539400E-3	6,278376E-4
140	1,734305776618327E3	5,921470374935215E5	1734,3	592150	3,330806E-4	5,002966E-4
180	2,134129300945559E3	7,652613786398422E5	2134,1	765250	1,372988E-3	1,801531E-4
220	2,512826330302742E3	9,444090664891587E5	2512,8	944400	1,047847E-3	9,884592E-5
260	2,883001199948414E3	1,134300492298220E6	2883	1134300	4,162151E-5	4,340105E-5
P=15MPa					Erro(%)	
T(°C)	$s_{cal}(J/kg\cdot K)$	$h_{cal}(J/kg)$	$s_{ref}(J/kg\cdot K)$	$h_{ref}(J/kg)$	Erro _{entropia}	Erro _{entalpia}
20	2,934043728881557E2	9,799145297836061E4	293,4	97990	1,490418E-3	1,482782E-3
60	8,232385668085052E2	2,636796082399681E5	823,2	263670	4,684986E-3	3,644039E-3
100	1,295467795585972E3	4,302698568772373E5	1295,5	430280	2,485867E-3	2,357330E-3
140	1,724230782153447E3	5,987311058257447E5	1724,2	598720	1,785300E-3	1,854928E-3
180	2,120991612868287E3	7,704928193148867E5	2121	770500	3,954328E-4	9,319513E-4
220	2,495319923158963E3	9,475200653359296E5	2495,3	947500	7,984274E-4	2,117713E-3
260	2,857602972529890E3	1,133402060814525E6	2857,6	1133400	1,040219E-4	1,818258E-4

5.2 Resultados da Região de Saturação

Com relação a entropia de saturação, foram avaliados 102 pontos e o erro máximo encontrado foi de 0,0828%. O mesmo número de pontos foi considerado para a entalpia e o erro máximo encontrado foi de 0,0805%. Nesta avaliação foram excluídos os pontos muito próximos do ponto crítico. As figuras abaixo mostram os pontos que foram avaliados em ambos os casos.

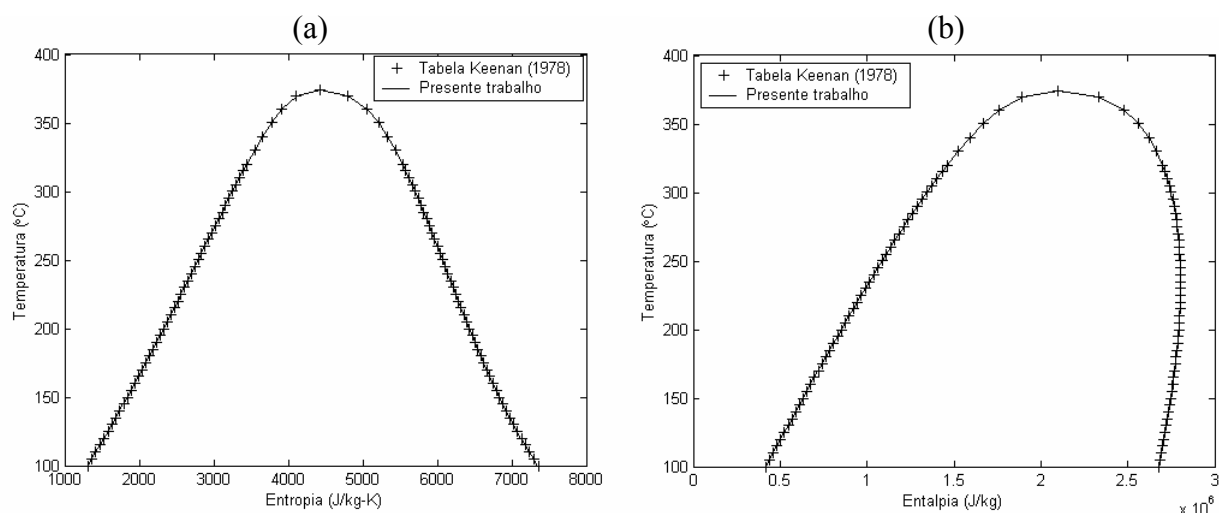


Figura 04. Entropia de saturação (a) e entalpia de saturação (b).

5.3 Resultados da Região de Vapor Superaquecido

Para este caso são mostrados valores de entropia e entalpia em função da temperatura (T) e pressão (P). Na figura 5(a) observa-se uma excelente concordância dos valores calculados com relação aos de referência, o erro máximo encontrado para esta região foi de 0,0220%. Dada a dificuldade de se plotar várias curvas num gráfico de entalpia em função de P ou T, optou-se por relacionar a entalpia à entropia. Para que isso fosse possível foram calculados os valores de entropia em função de T e P, com os mesmos valores de P e T foram calculados valores de entalpia. O gráfico resultante é mostrado na figura 5(b). O erro máximo encontrado para este caso foi de 0,0307%. Observou-se que tanto para entropia como para entalpia os valores dos erros encontrados cresciam com o aumento da pressão.

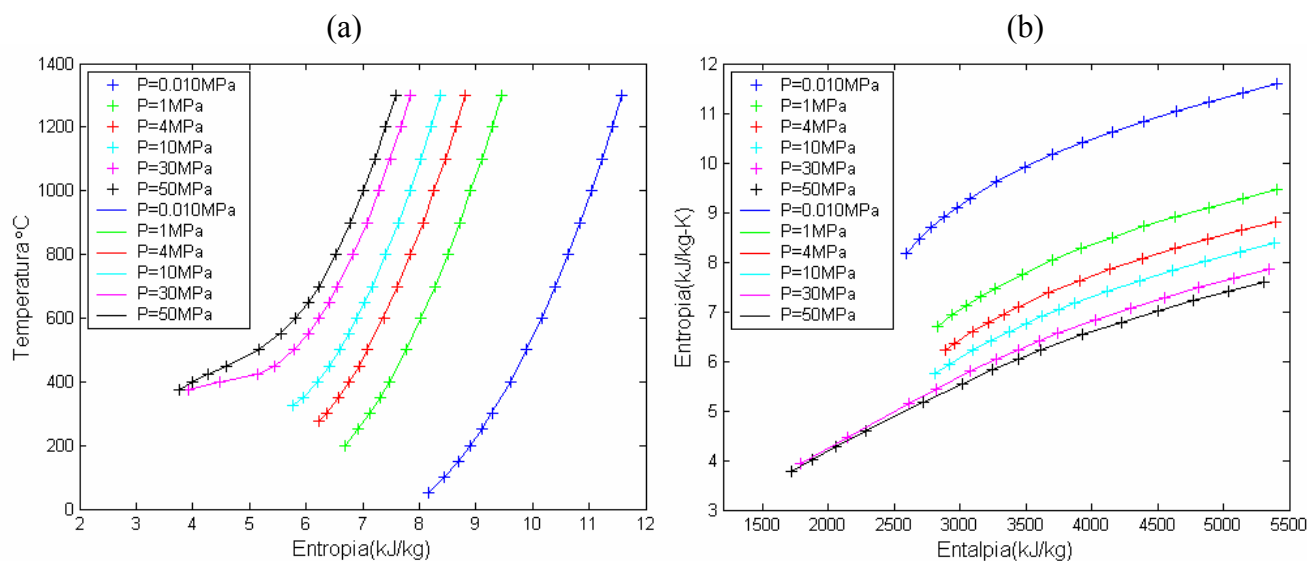


Figura 05. Entropia na região de vapor superaquecido para vários valores de Temperaturas e Pressões (a) e Entalpia na região de vapor superaquecido x Entropia (b). Os valores de referência estão com o marcador “+” e são tirados de Keenan (1978), já os valores calculados são representados pelas linhas contínuas.

6. CONCLUSÕES

Foram apresentados os procedimentos para o desenvolvimento de uma rotina computacional para o cálculo das propriedades termodinâmicas da água nas fases: líquido comprimido, mistura líquido-vapor e vapor superaquecido. O código em Fortran resultante foi compilado para um arquivo do tipo “dll” para que a rotina pudesse ser utilizada em um outro programa para impressão dos gráficos apresentados durante o trabalho. Para todos os casos apresentados, verificou-se que os resultados estão muito próximos dos encontrados nas tabelas de Keenan (1978), o que mostra a confiabilidade dos cálculos da rotina apresentada. A implementação de equações computacionais para o cálculo de propriedades termodinâmicas é bastante trabalhosa, porém uma vez realizada esta tarefa podem-se desenvolver rotinas para simulação e otimização de ciclos a vapor.

7. REFERÊNCIAS

- Irvine, T. F., Liley, P. E., 1984. “Steam and Gas Tables with Computer Equations”, Academic Press, Orlando, FL 185p.
- Keenan JH, Keyes FG, Hill PG, Moore JG., 1978, “Steam tables – thermodynamic properties of water including liquid and solid phases (international system of units)”, New York: Wiley.

- Malhotra, A.; Panda, D. M. R., 2001, "Thermodynamic properties of superheated and supercritical steam", *Applied Energy*; Vol. 68, pp.387-393.
- Moraes, G. J. A., 1994, "Análise de Critérios de Otimização de Ciclos a Vapor para Geração de Energia", Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pará.
- Muneer, T., 1985, "An Equation Of State For Steam For Systems Analysis", *Energy Convers.* Vol. 25, N° 3, pp. 273-275.
- Muneer, T.; Scott, S. M., 1991, "Density And Temperature Explicit equations Of State For Steam. *Energy Convers*", Vol. 31, N° 4, pp. 315-325.
- Najjar, Y. S. H., 1997, "Determination of thermodynamic properties of some engineering fluids using two-constant equations of state", *Thermochimica acta*, Vol. 303, pp.137-143.
- Pátek, J.; Sifner O., 1994, "Fast calculations of the properties of superheated steam from the saturation curve up to 600°C and 30 MPa", *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 148, pp. 515-520.
- Reynolds W.C., 1979, "Thermodynamic properties in SI. Graphs, tables and computational equations for 40 substances", *Stanfor Univ. Press*.
- Santos, R., E. J., Silva Jr., J. B., 2003, "Utilização de Biomassa para a Geração de Energia em um Ciclo Rankine". Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pará.
- Van Wylen G. J., Sonntag R. E., 1993, "Fundamentos da Termodinâmica Clássica", Edgard Blücher,.
- Verma, Mahendra P., 2003, "Steam tables for pure water as an Active component in Visual Basic 6.0", *Computers & Geosciences*, pp. 1-9.

DEVELOPMENT OF A COMPUTATIONAL ROUTINE FOR CALCULATING THE THERMODYNAMIC PROPERTIES OF WATER

Fábio Alfaia da Cunha

alfaia@ufpa.br

Adriano Gomes Batista

agb@ufpa.br

Gonçalo Rendeiro

rendeiro@ufpa.br

Robson Evilácio de Jesus Santos

robsonejs@msn.com

Mechanical Engineering Department, Federal University of Pará, Augusto Corrêa Street, Guamá, Belém - PA - Brazil, P. O. Box 66075-110

Abstract: *Generation of electric energy from thermoelectric installations is considered to be an important strategy in Amazonia due to the large reserves of biomass existing in the region. With the intention of improving the technology and processes for operating a plant of this nature a pilot thermoelectric unit is being built in the mechanical engineering laboratory of the Federal University of Pará. For a detailed analysis of the thermodynamic cycle of this thermoelectric unit one of the instruments needed is a software that can calculate the thermodynamic properties of water in their various phases. To this end, this paper develops a computational routine for calculating the thermodynamic properties of water in the following phases: compressed liquid, saturated liquid, saturated vapour and superheated vapour, by means of equations available in the literature. The values calculated by the routine are evaluated through a comparison with values considered to be reference values, obtained from respected bibliographies. The maximum deviations found between the values considered to be standard and those calculated for each property are also presented.*

Keywords: *thermodynamic properties, thermoelectric installations, computational routine*