

# I Congresso Geral de Energia Nuclear

Rio de Janeiro, 17 a 20 de Março de 1986

ANAIS - PROCEEDINGS

## APLICAÇÃO DA CORRELAÇÃO DE BOWRING PARA O CÁLCULO DO FLUXO DE CALOR CRÍTICO.

Ronaldo Célem Borges  
Roberto Longo Freitas

Divisão de Termodinâmica e Termohidráulica  
Departamento de Tecnologia Nuclear  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares-CNEN/SP  
São Paulo - SP

### Sumário

A avaliação do fluxo de calor crítico é de extrema importância no projeto de um reator nuclear, pois o mesmo permite verificar a margem de segurança do projeto relativamente aos danos nas varetas combustíveis. Este trabalho compara a correlação proposta originalmente por Bowring para o cálculo do fluxo de calor crítico e a sua forma alternativa comumente encontrada na literatura. Dependendo da correlação empregada, valores significativamente diferentes são encontrados e desse modo, uma escolha criteriosa deve ser feita para evitar que a margem de segurança do projeto seja violada.

### Abstract

The evaluation of the critical heat flux is of great importance for the nuclear reactor project, because it permits the verification of the safety margin with respect to fuel rod damage. This work presents a comparison of the original critical heat flux correlation proposed by Bowring with an alternative form derived from it presented in several papers. Very different results have been encountered from the application of the two correlation forms. Therefore, a criterious choice of the correlation form must be done to avoid the violation of the project's safety margin.

## 1 - OBJETIVO

A predição do fluxo de calor crítico é de suma importância no projeto de um reator nuclear, pois o mesmo permite verificar a margem de segurança da planta relativamente aos danos nas varetas combustíveis.

Este trabalho apresenta resultados conflitantes sobre o emprego da correlação original de Bowring para o cálculo do fluxo de calor crítico comparativamente à sua forma alternativa desenvolvida na literatura pertinente.

## 2 - CORRELAÇÃO DE BOWRING E SUA FORMA ALTERNATIVA

A correlação para cálculo do fluxo de calor crítico desenvolvida originalmente por Bowring [1] é dada por:

$$\psi_1 = \frac{A + B \cdot \Delta h_{ent}}{C + L} \quad (1)$$

onde A, B e C são parâmetros otimizados estabelecidos em função da pressão, velocidade mássica e diâmetro do tubo, como definido na citada referência;  $\Delta h_{ent}$  é o subresfriamento do fluido na entrada do canal, expresso em termos de entalpia e L é o comprimento aquecido do canal.

Em diversos trabalhos [2-5], esta correlação, mediante manipulação matemática utilizando o conceito de balanço térmico, é apresentada na seguinte forma alternativa:

$$\psi_2 = \frac{A - B \cdot h_{fg} \cdot x}{C} \quad (2)$$

onde  $h_{fg}$  é o calor latente de vaporização e x é o título termodinâmico na saída do canal.

É importante ressaltar que a correlação de Bowring vem sendo bastante utilizada, possuindo uma ampla faixa operacional, a saber: pressão de 0,2 à 19 MPa; diâmetro do tubo de 2 à 45 mm; comprimento do tubo de 0,15 à 3,7 m e velocidade mássica de 136 à 18600 kg/s.m<sup>2</sup>.

## 3 - RESULTADOS OBTIDOS

Visando prever o fluxo de calor crítico durante o desenvolvimento do projeto de uma seção de testes para este fim, diversas correlações foram consideradas e dentre estas, as citadas no item 2. Esta seção de testes é caracterizada por um canal vertical de 12 mm de diâmetro (D), com comprimento aquecido (L) de 1 m, tendo as seguintes condições operacionais: pressão (p) de 13,8 MPa; veloci

dade mássica (G) variando de 500 a 6000 kg/sm<sup>2</sup>; subresfriamento do fluido na entrada ( $\Delta T_{sub}$ ) de 68 e 135 °C; e título termodinâmico na saída (x) de 0 a 0,10.

As figuras 1a e 1b mostram o fluxo de calor crítico calculados pela expressão original da correlação de Bowring ( $\psi_1$ ) e pela sua forma alternativa ( $\psi_2$ ), parametrizados nas diversas condições operacionais acima citadas. São verificadas discrepâncias elevadas através dos resultados obtidos, atingindo em alguns casos um fator da ordem de 10.

Assim, atenção especial deve ser dispensada ao se utilizar a correlação de Bowring para predição do fluxo de calor crítico em qualquer de suas formas.

#### 4 - CONCLUSÕES

O emprego direto da correlação original de Bowring ou de sua forma alternativa pode levar a uma predição errônea do fluxo de calor crítico e portanto, comprometer seriamente o projeto de um reator nuclear no tocante a esta margem de segurança.

Assim, cada vez mais, é recomendada a realização de experimentos desta natureza a fim de validar correlações utilizadas no desenvolvimento de um projeto. No caso específico da correlação de Bowring, é necessário avaliar e validar suas expressões, confrontando-as com o maior número de resultados experimentais disponíveis. Lembra-se, entretanto, que a equação 1, descrita em função do subresfriamento de entrada, é a forma original da correlação de Bowring.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BOWRING, R.W., A simple but accurate round tube uniform heat flux, dryout correlation over the pressure range 0,7-17 MN/m<sup>2</sup> (100-2500 psia). Winfrith, Mar. 1972. (AEEW-R-789).
- [2] COLLIER, J.G. - Convective boiling and condensation. 2<sup>nd</sup> ed.. England, McGraw-Hill, 1981.
- [3] LEUNG, J.C.M. Transient critical heat flux and blowdown heat transfer studies. Evanston, Illinois, June 1980. (Dissertation of doctor of philosophy, Northwestern University).
- [4] LEUNG, J.C.M.; GALLIVAN, K.A.; HENRY, R.E. & BANKOFF, S.G. Critical heat flux predictions during blowdown transients. Int. J. Multiphase Flow, 7(6): 677-701, 1981.
- [5] KAO, S.P. & KAZIMI, M.S. Critical heat flux predictions in rod bundles. Nuclear Technology, 60 (1): 7-13, Jan. 1983.

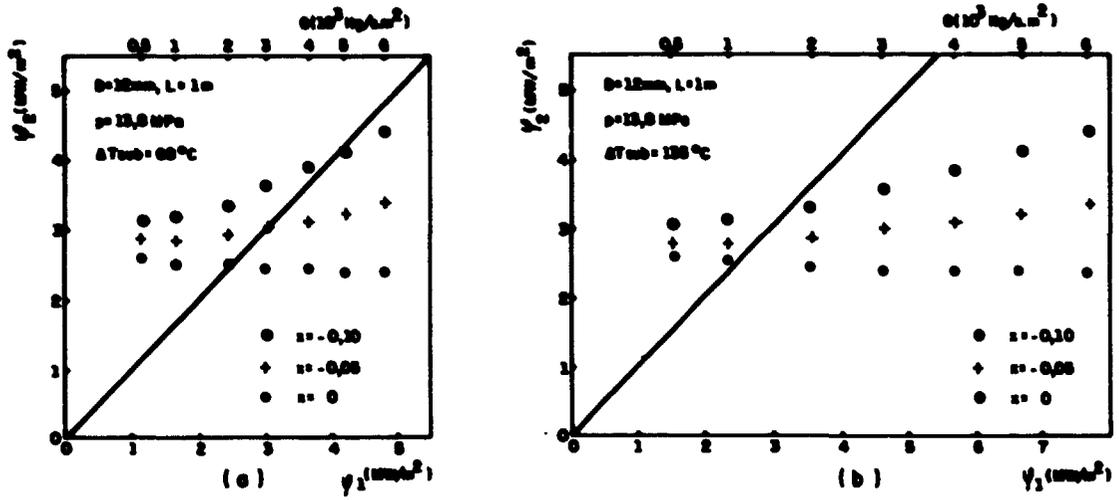


FIGURA 1 - Comparação entre o fluxo de calor crítico calculado pela correlação original de Bowring ( $\Psi_1$ ) e sua forma alternativa ( $\Psi_2$ )