

# **DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA O CÁLCULO DO BALANÇO TÉRMICO NO CIRCUITO DE CIRCULAÇÃO NATURAL CCN IPEN/POLI DURANTE A OPERAÇÃO DO CIRCUITO**

**Luiz F. F. Mendes e Thadeu N. Conti**

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN / CNEN - SP)  
Av. Professor Lineu Prestes 2242  
05508-000 São Paulo, SP  
luiz.f.f.mendes@gmail.com

## **RESUMO**

O trabalho que será apresentado trata sobre a programação do balanço térmico do circuito de circulação natural, em linguagem LABVIEW que deverá ser colocado para ser executado durante a operação do circuito. O circuito é composto de dutos transparentes de vidro pirex e têm aproximadamente três metros de altura, o circuito é composto basicamente por duas partes e são nomeados como primário e secundário. O primário é um circuito fechado em formato retangular, onde se encontra uma resistência que sede energia ao fluido na forma de calor, com isso o fluido diminui a densidade e tende a subir, do outro lado do retângulo temos o trocador de calor onde o fluido do primário (quente) e o fluido do secundário (frio) se encontram, mas não se misturam só havendo a troca de calor entre eles através das paredes do trocador, onde resfria o fluido e aumenta sua densidade, com isso, o fluido tem tendência a descer. O secundário é um circuito aberto onde o fluido entra por meio de um tanque e é descartado no final do experimento. O programa foi escrito em linguagem labVIEW (blocos) e o calculo do balanço térmico é realizado para verificarmos o erro na instrumentação do circuito de circulação natural.

## **1. INTRODUÇÃO**

O fenômeno da circulação natural começou ser estudado por causa de um acidente ocorrido em Three Mile Island no estado da Pensilvânia nos Estados Unidos. O acidente desencadeou-se pelos problemas mecânico e elétrico que ocasionaram a parada de uma bomba de água que alimentava o gerador de vapor, o qual acionou certas bombas de emergência que tinham sido deixadas fechadas. O núcleo do reator começou a aquecer e parou. Em seguida, a pressão aumentou. Uma válvula abriu-se para reduzir a pressão que voltou ao normal. Mas a válvula permaneceu aberta, ao contrário do que o indicador do painel de controle assinalava. Então, a pressão continuou a cair e seguiu-se uma perda de líquido refrigerante ou água radioativa.



**Figura1: Acidente de Three Mile Island**

Após o acidente começaram a estudar novos métodos de resfriamento de um reator e um deles é o fenômeno da circulação natural. A nova geração de reatores nucleares compactos utiliza a circulação natural do fluido refrigerante como sistema de refrigeração e de remoção de calor residual, em caso de acidente ou desligamento da planta.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um programa computacional escrito em linguagem labVIEW, para o cálculo do balanço térmico do circuito de circulação natural (CCN) do IPEN/POLI.

## **3. O FENÔMENO**

Define-se como circulação natural o fenômeno que consiste na força de empuxo causada pela diferença de densidades de um fluido. As densidades são alteradas devido às mudanças de temperatura. Ou seja, devemos esquentar e resfriar um mesmo fluido em um mesmo recipiente para que exista um gradiente de temperatura e, conseqüentemente, de densidades para que haja o fenômeno.

## **4. O CIRCUITO EXPERIMENTAL**

**O circuito de circulação natural** encontra-se montado no Centro de Engenharia Nuclear (CEN) do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares de São Paulo (IPEN-SP). É constituído por dutos de vidro pirex e é formado por dois sistemas o primário e o secundário.



**Figura 2: Foto do CCN**

#### **4.1. Sistema primário do circuito**

O sistema primário tem formato de um retângulo de 2,6 metros e 0,85 metros de altura e comprimento respectivamente. No sistema temos 13 termopares colocados em pontos estratégicos para a leitura da temperatura do fluido, caso haja uma sobrecarga de pressão, ou seja, a temperatura do fluido aumente demais a dois sistemas de segurança, que são o tanque de expansão e duas juntas de expansão.

O aquecedor é onde o fluido aumenta sua temperatura, por meio de uma resistência de aço inox devidamente selada. Com o aumento da temperatura o fluido tem a tendência a “subir”, no outro extremo encontramos o trocador de calor onde o fluido do primário, troca calor com o fluido do secundário, a troca ocorre por meio de uma serpentina que fica dentro de um dos dutos do primário, e dentro dessa serpentina passa a água do secundário que é mais fria com isso os fluidos trocam calor pela parede do duto sem se misturar um com o outro. Após a troca de calor o fluido fica mais frio então tem tendência a “descer” por esses motivos que a o fluido circula dentro do primário sem auxílio de bombas.

#### **4.2. Sistema secundário do circuito**

O sistema secundário é formado por um tanque de água, uma bomba, um filtro, um rotâmetro para medir a vazão do fluido e dois termopares que são utilizados para medir a temperatura de entrada e saída do fluido da serpentina.

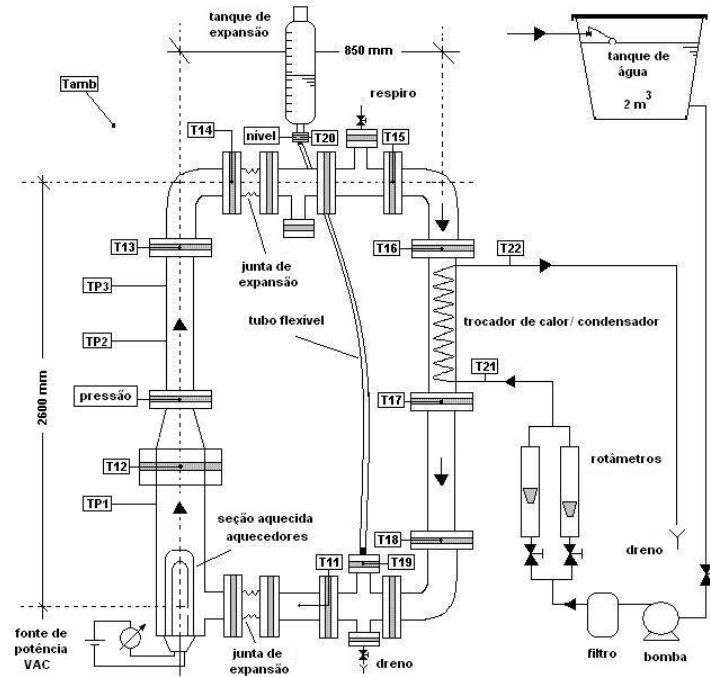


Figura 3: desenho do CCN

## 5. O BALANÇO TÉRMICO

O cálculo do balanço térmico é dividido em três etapas:

- Calcula-se o balanço de energia no trocador de calor para determinar o valor da vazão no primário.

$$\dot{m}_h \cdot c_{ph} \cdot (T_6 - T_7) = \dot{m}_c \cdot c_{pc} \cdot (T_{12} - T_{11}) + h \cdot \pi D_t L_t \cdot (T_{P3} - T_\infty) \quad (1)$$

- Após o cálculo da vazão do primário, calcula-se a energia cedida pela resistência ao fluido.

$$q_a = \dot{m}_h \cdot c_{ph} \cdot (T_2 - T_9) + h \cdot \pi D_a L_a \cdot (T_{P1} - T_\infty) \quad (2)$$

- Após o cálculo da energia cedida pela resistência, utiliza-se o valor medido da potência para calcular o erro.

$$erro = \left| \frac{potência\ real - potência\ calculada}{potência\ real} \right| \cdot 100 \quad (3)$$

## 6. RESULTADOS

- Primeira formula:

$$\dot{m}_h \cdot 4192 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot (82,7 - 64,5)K = 0,025 \frac{kg}{s} \cdot 4178 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot (56,8 - 20,2)K +$$

$$+ 5 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot \pi \cdot 0,0565m \cdot 0,61m \cdot (73,6 - 25)K \quad (3)$$

$$\dot{m}_h = 0,050 \frac{kg}{s}$$

- Com o valor obtido acima transfere-se esse valor para a segunda formula:

$$q_a = 0,05 \frac{kg}{s} \cdot 4191 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot (83,8 - 59,1)K + 5 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot \pi \cdot 0,0768m \cdot 0,773m \cdot (73,2 - 25)K \quad (4)$$

$$q_a = 5260W$$

- Com o valor da potência calculada compara-se com o valor medido da resistência. Utiliza-se a formula do erro relativo percentual:

$$erro = \left| \frac{4700 - 5260}{4700} \right| \cdot 100 = 11,9\% \quad (5)$$

## 7. A PROGRAMAÇÃO

Para a programação do balanço térmico utiliza-se o programa labVIEW, que é uma linguagem de programação gráfica originária da National Instruments.

Os principais campos de aplicação do labVIEW são a realização de medições e a automação. A programação é feita de acordo com o modelo de fluxo de dados, o que oferece a esta linguagem vantagens para a aquisição de dados e para a sua manipulação.

Os programas em labVIEW são chamados de instrumentos virtuais ou, simplesmente, IVs. São compostos pelo painel frontal, que contém a interface, e pelo diagrama de blocos, que contém o código gráfico do programa. Deste modo a sua performance é comparável à exibida pelas linguagens de programação de alto nível. A linguagem gráfica do labVIEW é chamada "G".

A programação do balanço térmico ficou da seguinte forma:

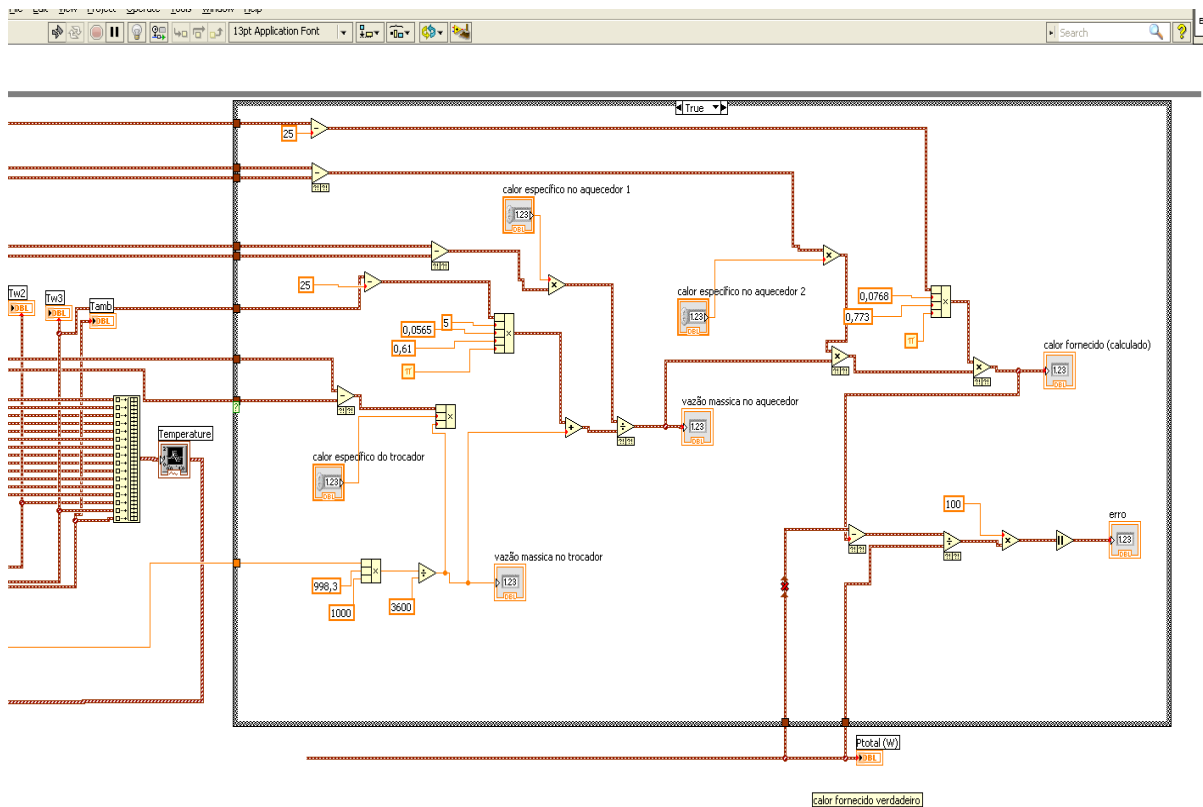


Figura 4: Programação do balanço térmico

## 8. CONCLUSÃO

Com a programação acima obtemos um erro de aproximadamente 12% que é considerado um erro satisfatório para balanço térmico, principalmente, pelo motivo do CCN não ser termicamente isolado. Isto mostra que a programação do balanço térmico está devidamente ajustada. Agradeço ao IPEN/CNEN-SP pela infraestrutura e ao CNPq pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- “Three Mile Island”. <http://ambientalsustentavel.org/2011/three-mile-island/> (2011).
- “Acidente Nuclear em Three Mile Island” <http://www.dw.de/1979-acidente-nuclear-em-three-mile-island/a-782511>
- “Metodologia para estudos de circulação natural em circuitos fechados” [http://www.ien.gov.br/posien/teses/dissertacao\\_mestrado\\_ien\\_2009\\_02.pdf](http://www.ien.gov.br/posien/teses/dissertacao_mestrado_ien_2009_02.pdf) (2009)
- “LabVIEW” <http://pt.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>