

ANÁLISE DE EVENTUAIS ACIDENTES EM CIRCUITO  
EXPERIMENTAL DE ÁGUA, UTILIZANDO O CÓDIGO RELAP4

por

THOMAZ LERA FERNANDES FILHO  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

RESUMO

Neste trabalho foi realizada uma análise de transientes termo-hidráulicos no Circuito Experimental de Água do Centro de Engenharia Nuclear do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Foram analisados transientes decorrentes de acidentes como (1) perda de refrigerante, (2) falha na bomba principal e (3) variação na potência. Na simulação dos acidentes foi utilizado o código de computador RELAP4/Mod.3.

(Para aplicação do código RELAP4, o Circuito Experimental de Água foi modelado em um conjunto de 19 volumes, 22 junções e 7 placas de calor.) Os resultados obtidos com o modelo para o estado estacionário mostraram-se consistentes com os dados de projeto e operação do Circuito Experimental. Para todos os acidentes analisados que levaram em consideração a atuação dos sistemas de segurança, a temperatura máxima das barras de aquecimento da Seção de Testes não ultrapassou a temperatura admissível.

(autor)

ANÁLISE DE EVENTUAIS ACIDENTES EM CIRCUITO EXPERIMENTAL DE ÁGUA, UTILIZANDO O CÓDIGO RELAP-4.

1 - Introdução.

Um circuito experimental de água está sendo construído no Centro de Engenharia Nuclear do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Esse circuito possui como objetivo a medição de parâmetros de importância termohidráulica, nas condições próximas daquelas existentes no núcleo dos reatores refrigerados com água leve, e o treinamento de pessoal no desenvolvimento da tecnologia de reatores LWR.

Este trabalho, que é o resumo de uma dissertação apresentada ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares para a obtenção do grau de Mestre, tem como finalidade a análise do comportamento do Circuito Experimental de Água do CEN, tanto no estado estacionário, como sob condições transitórias. Também foi estudada a atuação do sistema de segurança e proteção do circuito, de forma a avaliar o seu desempenho durante situações acidentais.

Como instrumento de análise foi utilizado o código RELAP-4/Mod.3 para a simulação de acidentes no CEA. Para tanto, foi construído um modelo do circuito, nas bases requeridas pelo código, que procurou manter um equilíbrio no compromisso existente entre precisão da simulação e tempo de processamento. O modelo foi feito baseado em dados de projeto que podem sofrer algumas mudanças no decorrer da construção do circuito.

2 - Circuito Experimental de Água do CEN.

O Circuito Experimental de Água do CEN foi construído de forma a representar o funcionamento de reatores PWR e BWR. Possui vários componentes que são utilizados para uma fase de preparação para o funcionamento, que compreende o tratamento da água de serviço. Esses componentes não foram utilizados na construção do modelo, por não possuírem interesse prático durante a operação normal. Os estudos realizados neste trabalho foram feitos considerando o circuito funcionando

no modo PWR e, por este motivo, também não foi considerada a presença do separador de vapor. Desta forma, o circuito final utilizado na modelagem é constituído de :

- Seção de Teste
- Resfriador I
- Resfriador II
- Pressurizador
- Bomba Principal

Um esquema do Circuito Experimental de Água pode ser visto na Figura 1 e suas características principais se encontram na Tabela 1.

Tabela 1 - Características Principais do C.E.A.

vazão de massa na bomba	20,86 Kg/s
temperatura de entrada na seção de testes	195°C
temperatura de saída da seção de testes	229°C
temperatura máx. de saída da seção	300°C
temperatura máx. de entrada na bomba	270°C
pressão diferencial fornecida pela bomba	7,2 Kgf/cm <sup>2</sup>
pressão média do circuito	75 Kgf/cm <sup>2</sup>
potência gerada na seção de testes	1.300 Kw
potência do pressurizador	30 Kw
diâmetro da tubulação principal	100 mm
material do circuito primário	aço inox 304

A seção de testes é constituída de um arranjo de 9 (3x3) barras aquecidas eletricamente. Cada barra possui um diâmetro externo de 10,72 mm, um comprimento de 3,6m, resultando assim uma área total de troca de calor de 1,091 m<sup>2</sup>. As temperaturas de entrada e saída na seção de testes são respectivamente de 195°C e 229°C para uma vazão de massa de 8,51 Kg/s.

Os resfriadores são do tipo "shell-and-tube" com chicanas, sendo que, no resfriador I a água de processo passa pelo lado do casco ( primário) e no resfriador essa água passa pelo lado dos tubos 'U'.

O pressurizador é do tipo convencional, possuindo um sistema de aquecimento elétrico para a elevação da pressão e de "nozzle" para diminuição da pressão.

A bomba utilizada é do tipo centrífugo e possui um dispositivo de segurança para evitar a cavitação.

### 3 - Modelo do Circuito Experimental de Água.

O modelo final do C.E.A. foi definido a partir de testes preliminares e comparações dos resultados da simulação do estado estacionário. Desta forma, o circuito foi modelado em um conjunto de 19 volumes de controle, 22 junções e 7 placas de calor. Essa composição representa uma nodalização mínima, que procurou otimizar o processamento e não comprometer a representação realística do funcionamento do circuito (Figura 2).

Nos estudos realizados não foi utilizado um modelo dos secundários dos resfriadores, tendo em vista a simplificação do processamento. Desta forma, os secundários foram simulados através de uma retirada constante de energia, dimensionada através de um coeficiente de transferência de calor constante, considerado na placa de calor.

### 4 - Transitórios.

A aplicação do modelo proposto do C.E.A é muito ampla, podendo ser simulada uma série de transitórios de interesse. Dentro desse esquema, foram escolhidos alguns tipos de acidentes que ser

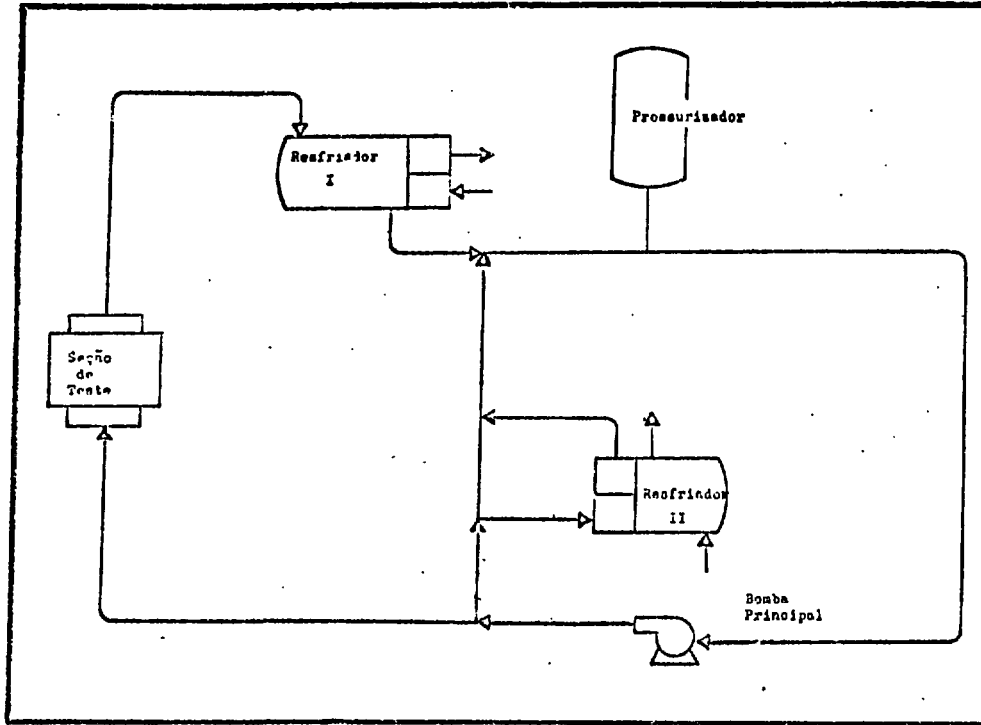


Figura 1 - Circuito Utilizado na Modelagem

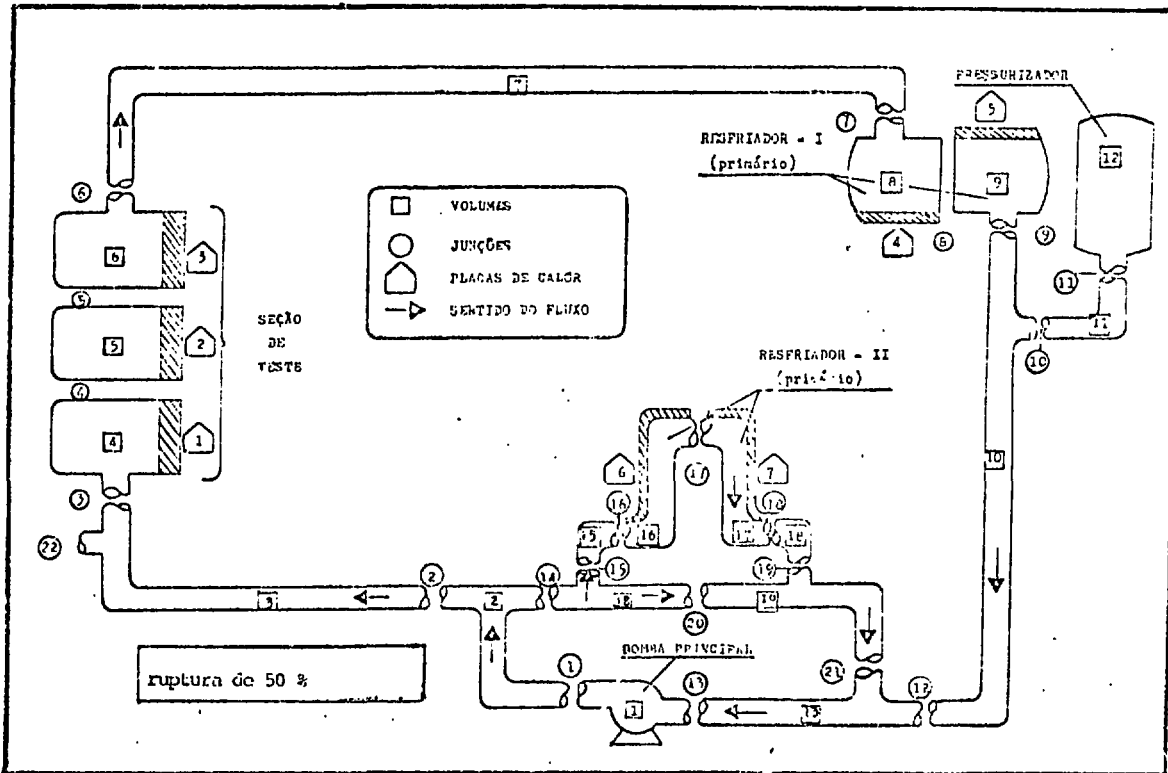


Figura 2 - Modelo do Circuito Experimental de Água

virão de base analítica aos seus construtores, operadores e pesquisadores.

Para efeito das simulações são consideradas três classes principais de eventos:

- alcance de condições limites
- ocorrência de um ou mais tipos de acidente
- acionamento dos dispositivos de segurança

Condições limites:

- temperatura na placa = 1500<sup>o</sup>F
- temperatura na bomba = 500<sup>o</sup>F
- pressão no circuito = 1280 psi
- ocorrência de "burn-out" nas placas de calor

Tipos de acidente:

- parada de bomba
- perda de refrigerante
- variação na potência gerada

Dispositivos de segurança

- parada de bomba quando houver cavitação.
- desligamento da seção de testes quando houver parada de bomba.
- desligamento da seção de testes quando a vazão na seção for menor do que 10 lbm/s (protetor de sub - vazão).
- desligamento da seção de testes quando a pressão no circuito for maior do que 1140 psi.

Com referência aos três tipos básicos de acidentes ,

seis modalidades foram analisadas, de forma a dar uma visão geral dos transientes de maior importância. As modalidades são as seguintes :

- parada da bomba com desligamento simultâneo da seção de testes.
- parada de bomba com desligamento da seção de testes através do protetor de sub-vazão.
- parada de bomba sem desligamento da seção de testes.
- ruptura da perna fria com desligamento da seção de testes .
- ruptura da perna fria sem desligamento da seção de testes.
- variação na potência gerada (elevação).

No primeiro caso notou-se que, uma vez cortada a potência gerada na seção de testes, após o desligamento da bomba, a temperatura nas placas de calor e a pressão do sistema caem de forma suave , seguindo a curva de decaimento da velocidade da bomba. Já no segundo caso, o desligamento da seção de testes não foi realizado imediatamente após o desligamento da bomba, havendo um espaço de tempo em que a vazão de refrigerante diminui e a potência gerada permanece constante. Desta forma, a temperatura nas placas de calor da seção de testes sobe a um valor máximo de 536°F na placa localizada na saída da seção. Quando o valor da vazão de massa na seção de testes for igual a 10 lb<sub>m</sub>/s (o que ocorre por volta dos 15 segundos de transitório) o protetor de sub - vazão desliga a potência gerada na seção fazendo com que a temperatura das placas sofra uma rápida queda, inicialmente, para depois se tornar mais suave. As condições necessárias para a ocorrência de um "burn-out" estiveram longe de serem atingidas (Figura 3).

No caso três é simulada uma parada de bomba e a falha nos dispositivos de proteção da seção de testes. Isto faz com que a geração de potência não seja cortada, o que vai dar condições para que o fluxo de calor nas placas da seção de testes atinja o valor crítico aos 37 segundos de transitório. Neste ponto a temperatura na placa

superior da seção de testes alcança o valor de  $750^{\circ}\text{C}$  de uma forma bastante rápida, como mostra a Figura 4.

Na simulação de perda de refrigerante com desligamento da seção de testes, notou-se que o fluxo de calor não atinge o valor crítico durante o período de simulação e que a temperatura nas placas de calor da seção de testes sofre um aumento até um máximo de  $630^{\circ}\text{F}$  durante os primeiros 3 segundos de transitório. Este aumento é devido à inércia na atuação dos dispositivos de segurança. Após os 3 segundos iniciais, a temperatura tem uma queda branda.

O quinto caso representa a simulação de uma perda de refrigerante através de uma ruptura de  $9,3\text{ cm}^2$ , considerando que a geração de potência não é cortada. Nos 40 segundos de transientes considerados, verificou-se grandes variações nos parâmetros envolvidos, principalmente aqueles relacionados com a transferência de calor, sendo que a temperatura da placa de calor 1, na seção de testes, atingiu o ponto de fusão aos 36 segundos (ver Figura 5).

Quando ocorre a ruptura há uma despressurização rápida do sistema, caindo a pressão ao nível de saturação em poucos segundos. Assim, a bomba é desligada aos 7 segundos e a seção de testes continua gerando potência. O fluxo de massa é revertido e seu valor passa a aumentar na direção reversa devido à gravidade, até um valor máximo, após o qual vai diminuindo até se anular novamente, quando praticamente toda a massa de água que existia acima do nível da ruptura tiver deixado o sistema. Isso pode ser visto na Figura 6 que representa a variação do fluxo de massa na junção 3 (entrada da seção de testes) como tempo.

O fluxo reverso de massa na seção de testes continua a retirar calor dos elementos aquecedores até cerca de 26 segundos. A partir daí o valor do fluxo reverso de massa é muito pequeno e já não consegue absorver o calor gerado.

Não é possível precisar o instante em que o fluxo de calor na placa 1 encontra-se em seu valor crítico, pois ocorrem instabilidades devidas a convecção natural e devidas as oscilações no estado fluído que altera suas fases líquidas e de vapor em frações de segundo. O ponto em que ocorre o "burn-out" na placa 1 pode



ser notado nas "major edits", onde se observou uma mudança brusca no mecanismo de transferência de calor aos 28 segundos.

Também foi simulado um aumento de 20% na potência gerada na seção de testes. Nesta simulação notou-se que a temperatura nas placas aumentou em igual proporção, chegando a um valor máximo de 700°F. A condição de fluxo crítico de calor não foi atingida.

5 - Conclusão.

As simulações mostraram que o Circuito Experimental de Água do CEN pode suportar situações acidentais, desde que os sistemas de emergência entrem em ação. Também foi verificada a existência de tempo relativamente suficiente para que uma ação manual seja tomada, no caso de falha do sistema de emergência.

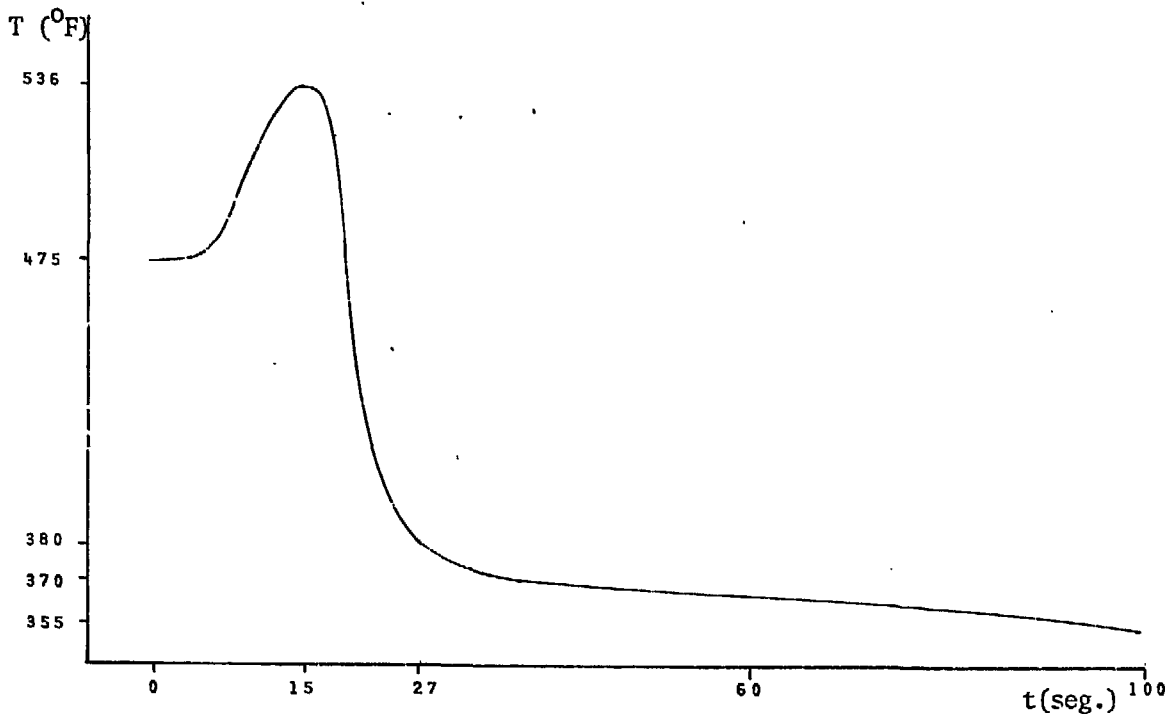


Figura 3 - Temperatura na placa 3

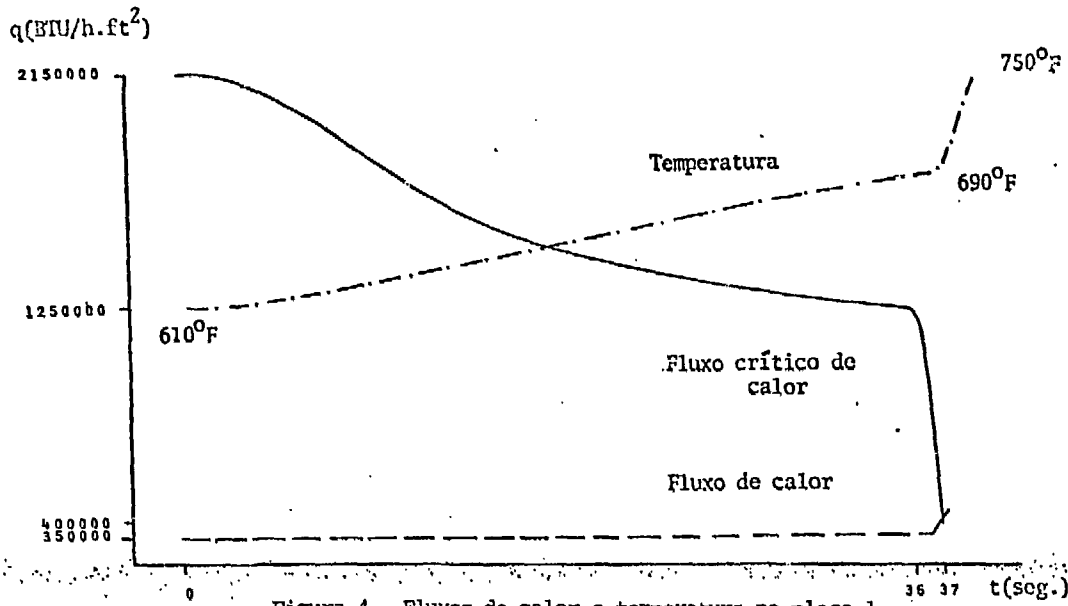


Figura 4 - Fluxos de calor e temperatura na placa 1

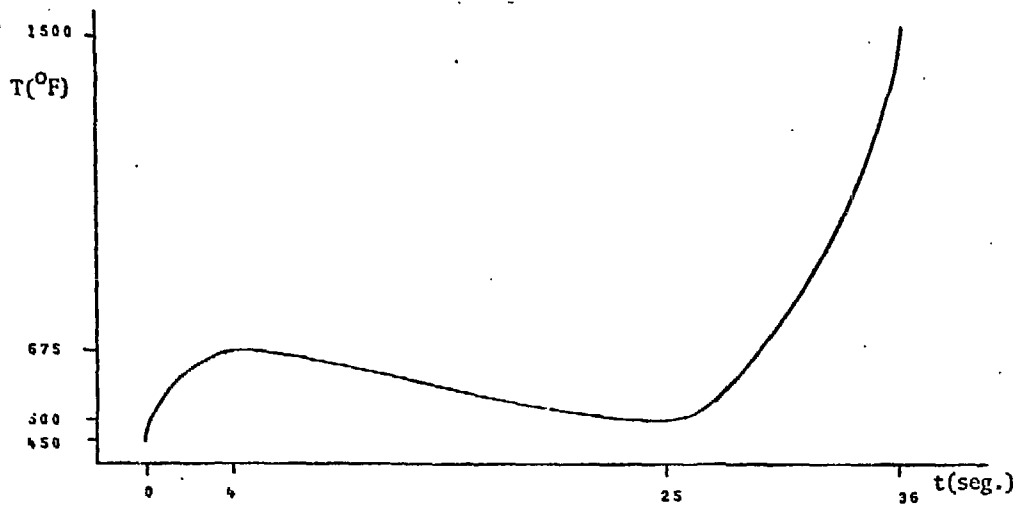


Figura 5 - Temperatura na placa 1

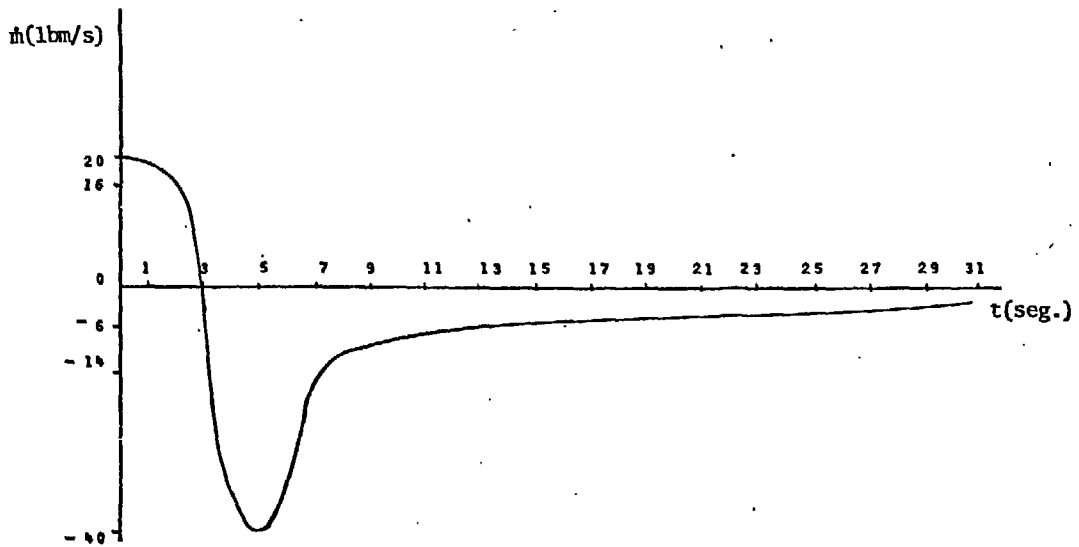


Figura 6 - Vazão de massa na seção de testes