

MODELAGEM PARA ANÁLISE DO ACIDENTE DE GRANDES RUPTURAS NO SISTEMA PRIMÁRIO DE ANGRA I.

Apresentação: MARIA AMÉLIA BRAGHIOLLI SERRANO - FURNAS

Resumindo trabalho realizado por: Maria Amélia B. Serrano e
Enio Antônio Vanni - FURNAS.

R E S U M O

Uma
~~Este trabalho faz parte da metodologia de cálculo que vem~~
~~sendo desenvolvida no Departamento de Combustível Nuclear,~~
~~para análise do acidente "Perda de Refrigerante" (LOCA).~~
Uma
A análise é feita para uma ruptura na perna fria, tipo
guilhotina com coeficiente de descarga $C_D = 1.0$ para o
reator de Angra I. São descritos os códigos, modelos
geométricos e opções utilizadas. É feito um paralelo entre
o método empregado e os requisitos exigidos pelo Apêndice K
do 10CRF50. *(autor)*.

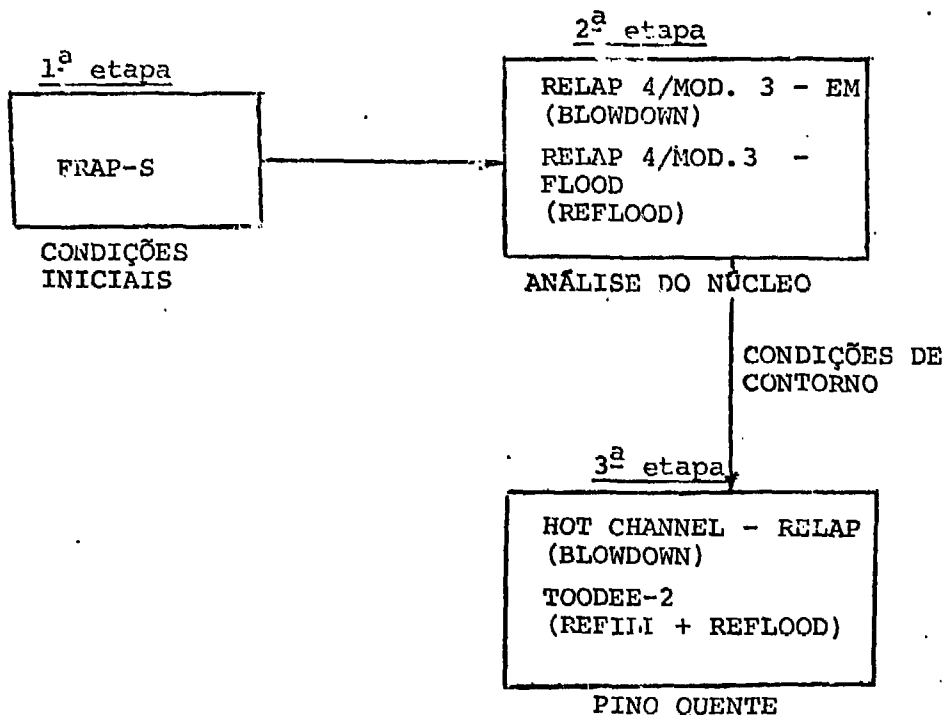
1. INTRODUÇÃO

Decidiu-se realizar o desenvolvimento, no âmbito do Departamento de Combustível Nuclear de FURNAS, de métodos de análise de acidentes de perda de refrigerante (LOCA) que permitam dar suporte teórico à operação da usina, principalmente na elaboração de procedimentos de operação, e que sirvam para as análises que foram requeridas para o licenciamento de recargas.

2. MODELAGEM UTILIZADA

2.1. Metodologia de Cálculo

Tomou-se como ponto de partida para o desenvolvimento da metodologia de cálculo de LOCA o conjunto de códigos desenvolvido para NRC dos EEUU denominado WREM (Water Reactor Evaluation Model), modificando-o como se fizesse necessário. Podemos ilustrar as etapas da metodologia adotada na figura abaixo.



2.2. Descrição do Modelo.

2.2.1. A modelagem do sistema de Angra I para análise da fase de despressurização é apresentada na figura 1.

Nas regiões de escoamento multidimensional das tubulações (saída do pressurizador e acumuladores) foram inseridos pequenos volumes com área de escoamento infinita. Esta modelagem é empregada para compensar a incapacidade do código em tratar escoamentos multidimensionais.

O corte da água de alimentação e no vapor do secundário do gerador de vapor é feito simultaneamente ao sinal para atuação do sistema de injeção de segurança.

O desligamento das bombas primárias é feito simultâneo ao desligamento do reator. Os acumuladores iniciam a injeção de água quando a pressão na perna fria for menor do que 15 psia.

A câmara inferior do vaso de pressão (lower plenum) foi modelada com dois volumes, obedecendo às condições geométricas para escoamento do fluido no reator de Angra I.

2.2.2. Os modelos de análise da fase de reenchimento são bastante simples e têm objetivo de determinar as condições de contorno para o início da fase de reinundação.

A duração da fase de "refill" é calculada levando-se em consideração o efeito das paredes aquecidas e tempo de queda no espaço anular.

As temperaturas do revestimento no início da reinundação são obtidos com o código TOODEE-2 a partir das condições iniciais fornecidas pela análise do canal quente no final da fase de despressurização.

2.2.3. A nodalização empregada para análise da fase de reinundação é apresentada na figura 2.

As condições termodinâmicas dos volumes de controle foram determinadas baseadas em hipóteses conservativas. O núcleo, assim como a câmara superior e "bypass", é suposto estar imerso em vapor saturado, a câmara inferior contendo líquido comprimido. As tubulações do sistema primário até a entrada do reator, com vapor superaquecido. Esta hipótese é feita para aumentar a resistência ao escoamento do vapor, e diminuir a taxa de reinundação do núcleo. O núcleo é representado pela barra média do elemento combustível quente.

O ponto de injeção do sistema de refrigeração de emergência do núcleo foi modelado na parte inferior do espaço anular com a água a uma temperatura mais elevada do que a temperatura do tanque de água de resfriamento, de onde provém a água injetada. Esta hipótese facilita a solução numérica do programa e pode ser justificada pelo fato de que a mudança do ponto de injeção é compensada pelo acréscimo de temperatura da água em contato com paredes quentes durante o trajeto do ponto real de injeção à parte inferior do espaço anular.

2.3. Licenciamento - Concordância com Apêndice K do 10CFR50.

Um dos requisitos para licenciamento de uma usina nuclear é mostrar, através de uma análise de LOCA, que o sistema de refrigeração de emergência do núcleo está atendendo aos critérios básicos exigidos pela legislação.

Comprova-se a eficiência deste sistema por meio de cálculos, e o modelo de análise do acidente é regulamentado; a metodologia utilizada neste trabalho procurou satisfazer este conjunto de exigências, descritas no Apêndice K do 10CFR50, pois para o licenciamento de Angra 1 são seguidas normas americanas.

2.3.1. Fontes de Calor Durante o LOCA:

O cálculo da potência de decaimento utilizada nesta análise inclui o calor de fissão, calor de decaimento dos actinídeos e calor de decaimento dos produtos de fissão, conforme o estabelecido no item I do Apêndice K.

O calor transferido pelos internos do reator, também apresentado neste item, foi considerado através das placas condutoras utilizadas no modelo geométrico adotado para análise.

O calor transferido para o primário, proveniente do secundário, através dos geradores de vapor, exigência contida no Item I do Apêndice K, foi satisfeita considerando-se a transferência de calor mais adversa na inicialização da fase de reinundação.

O Item I se refere ao calor gerado na reação metal-água e à energia inicial armazenada no combustível. A primeira será considerada na análise do pino quente, na etapa seguinte deste trabalho, e a segunda é considerada nas condições iniciais mais adversas, determinada pelo código FRAP.

2.3.2. Deformação e Ruptura do Revestimento e Parâmetros Térmicos da Barra Combustível

O Apêndice K exige que a deformação e ruptura do revestimento seja determinado, considerando-se a distribuição axial de temperatura existente e a diferença de pressão a qual o mesmo é submetido baseando-se em dados experimentais.

As tabelas de temperatura de ruptura, deformação da barra e bloqueio de canal, utilizados na análise do pino quente são baseados em testes de ruptura executados em Oak Ridge National Laboratories.

Os efeitos de deformação e ruptura das barras são consideradas no cálculo de condutância de "gap", oxidação

do revestimento, geração de hidrogênio e transferência de calor. É considerado o efeito de "cross flow", na modelagem adotada.

2.3.3. Fase de Despressurização:

Para condições de fluxo crítico em escoamento bifásico o RELAP 4 - EM utiliza o modelo de MOODY para cálculo da vazão, em concordância com Apêndice K.

O fluxo crítico de calor foi determinado pela correlação de Roschnow, aceita pelo Apêndice K.

A modelagem das bombas do sistema primário leva em consideração o modelo de duas fases, utilizando dados experimentais dos testes da Westinghouse Canada Ltda. e ANC Semiscale Pump Test:

2.3.4. Remoção de Calor pelo ECCS.

A fração de "carryover" e coeficiente de transferência de calor durante a fase de reinundação, foram calculadas por correlações baseadas em dados experimentais, de acordo com os requisitos do Apêndice K.

De acordo com o Item I.D.4. do Apêndice K, deve ser considerada a interação termo-hidráulica entre o vapor existente no sistema, na fase de reinundação, e a água injetada pelo ECCS. Este efeito foi incluído no cálculo da taxa de reenchimento (flooding rate) do núcleo, pelo uso da opção "steam water mixing pressure loss", contida no RELAP-4, Mod. 3, Vs. 95 (FLOOD).

Segundo o Apêndice K, as bombas principais de refrigeração do sistema primário devem ser consideradas "travadas" a fim de maximizar a resistência de saída. Para maior facilidade de solução numérica no programa, sem prejudicar o conservatismo dos resultados foi considerada uma velocidade extremamente baixa (10^{-3} RPM). Este procedimento já foi aceito em trabalhos de licenciamento de outras usinas nos Estados Unidos.

3. RESULTADOS

- 3.1. A figura 3 apresenta o comportamento da pressão, em consequência de um acidente tipo LOCA para Angra 1. Há um rápido decréscimo na pressão do circuito primário na fase comprimida, diminuindo a taxa de despressurização quando é atingida a saturação.

A diferença com os resultados da Westinghouse apresentados no RFAS de Angra I pode ser considerada pequena.

As oscilações verificadas no final do acidente, para o fluxo de massa total na quebra (figura 4) são provenientes da injeção do acumulador do circuito quebrado diretamente na perna fria.

- 3.2. A sequência de eventos ocorridos na fase de reenchimento é apresentada na tabela 1.

A diferença mais sensível observada em relação ao RFAS está no tempo de "final de bypass". Porém, este resultado é fundamentalmente dependente da definição escolhida para final de "bypass". Na análise feita pela Westinghouse este tempo coincide com o final da fase de despressurização e não se tem maiores informações do procedimento empregado pela mesma. No presente trabalho, o final de "bypass" é o tempo de inversão de escoamento na junção do espaço anular e câmara inferior (determinado pelo RELAP 4, fase de despressurização), descontado o tempo de trânsito.

- 3.3. A figura 5 apresenta o nível de mistura no espaço anular, que está quase totalmente cheio quando os acumuladores esvaziam (10 seg.). Depois de atingir a elevação da junção da perna fria quebrada, permanece constante e toda água injetada a partir deste instante é jogada para contenção.

EVENTO	FSAR	DCN.O
. final de "bypass"	13,34 seg.	15,00 seg.
. duração da fase de reenchimento (tempo de "refill")	15,73 seg.	15,104 seg.
. intervalo de descarga do acumulador (a partir do final de "bypass")	25,66 seg.	25,10 seg.
. início de fase de reinundação (reflood)	29,07 seg.	30,104 seg.

TABELA 1 : SEQUÊNCIA DE EVENTOS DA FASE DE REENCHIMENTO

O nível de mistura no núcleo (figura 5) cresce rapidamente no início da fase de "reinundação", devido a injeção do acumulador (≈ 2300 lbm/seg.) e depois de 10 segundos, passa a aumentar a uma taxa menor, correspondente à injeção do sistema de segurança (≈ 350 lbm/seg.).

A velocidade de inundação, apresentada na figura 6 sofre uma instabilidade inicial, depois do que decresce lentamente à medida em que o nível de mistura aumenta no núcleo. A resistência à penetração da água é devido ao aumento da contra pressão de vapor ("steam binding") causada pelo vapor gerado quando do contato da água fria com as superfícies aquecidas das barras combustíveis e paredes do vaso.

A curva relativa ao nível de mistura no núcleo se mostra em perfeita concordância com o resultado da Westinghouse, até 90 segundos de inundação. A partir daí os dados apresentados no FSAR na Figura 15.4.10a são superiores. Esta diferença reside na diferença de modelos, contidos nos códigos utilizados em cada análise, principalmente devido à diferença na correlação para cálculo da fração de "carryover".

O nível de mistura no espaço anular se estabiliza em uma elevação diferente daquela apresentada no FSAR. Isto é explicado pela diferença de modelagem entre a análise da Westinghouse e o presente trabalho.

Quanto à velocidade de inundação do núcleo, os resultados do FSAR apresentam uma taxa menor do que a presente análise. A explicação deste resultado reside na diferença dos modelos físicos e matemáticos usados pelos Códigos RELAP-4/ Mod. 3 - Vs. 95 FLOOD e WREFLOOD.

A taxa de reinundação calculada pelo RELAP 4 não é muito influenciada pelo nível de água no núcleo, uma vez que a água acumulada no núcleo não é considerada para cálculo da equação de momento.

4. CONCLUSÕES

O modelo utilizado mostrou-se apropriado, atendendo às exigências do Apêndice K do 10CFR50 levando a resultados que podem ser considerados bem conservativos.

Os resultados desta análise obtidos com o código RELAP 4 / Mod. 3 - Vs. 95, apresentam boa concordância com a análise apresentada no RFAS de Angra 1.

Vem se desenvolvendo no DCN.O um trabalho de estudos de sensibilidade na modelagem, bem como modificações internas nos códigos utilizados na meteorologia, para obtenção de um modelo licenciável. Ao mesmo tempo, vem se desenvolvendo estudos utilizando condições realistas para dar suporte à elaboração de procedimentos de operação.

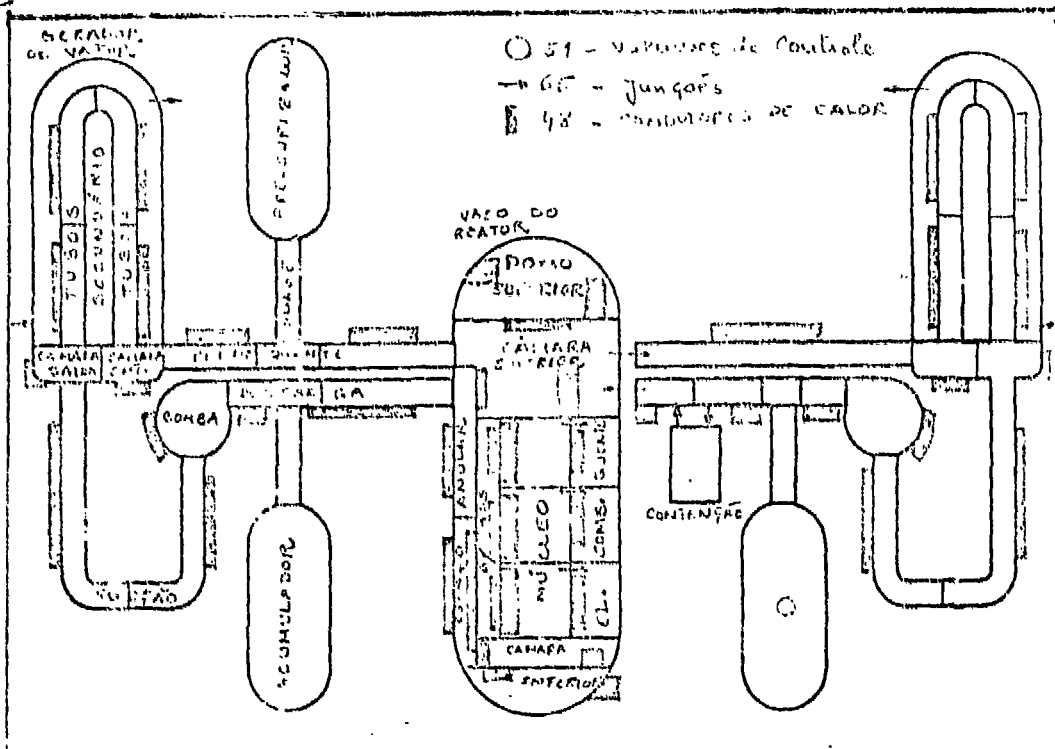


Figura 2 - Modelagem para Angra I - Fase de Despressurização

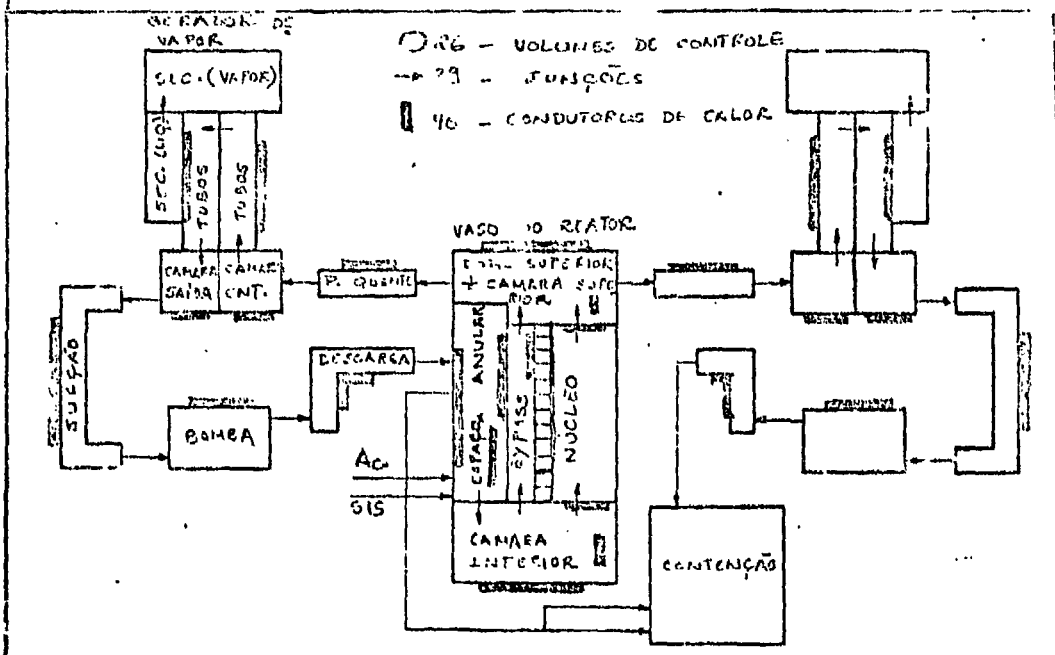


Figura 2 - Modelagem para Angra I - Fase de Repressurização

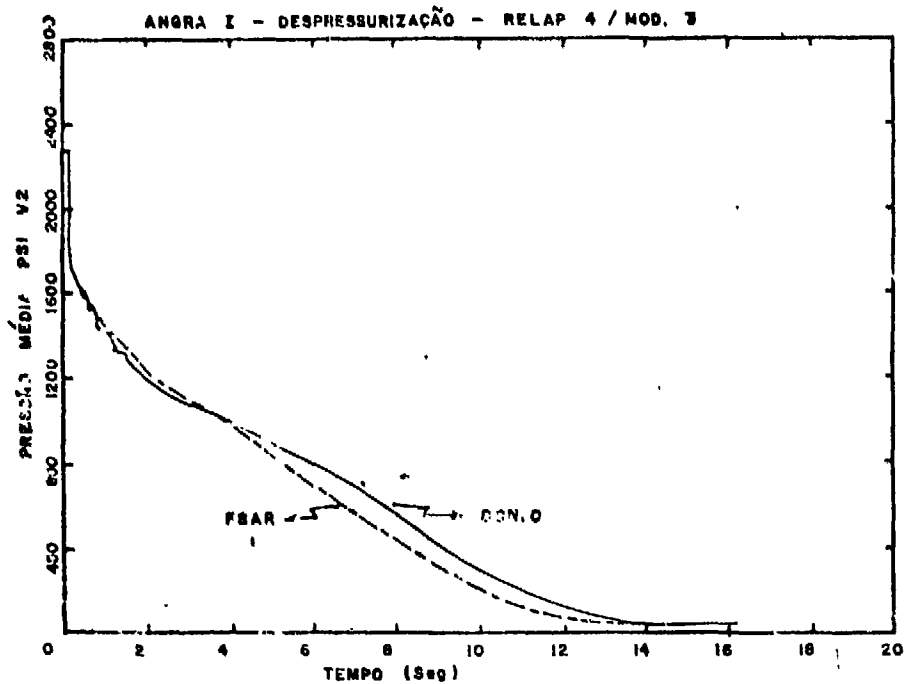


Figura 3 - Pressão na Câmara Superior

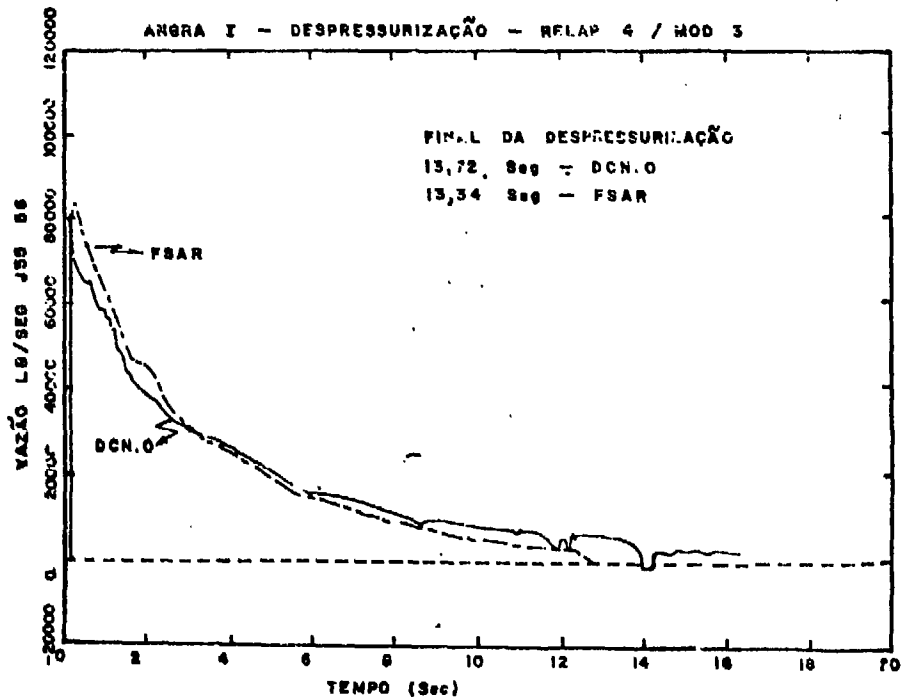


Figura 4 - Fluxo de Massa Total na Quebra

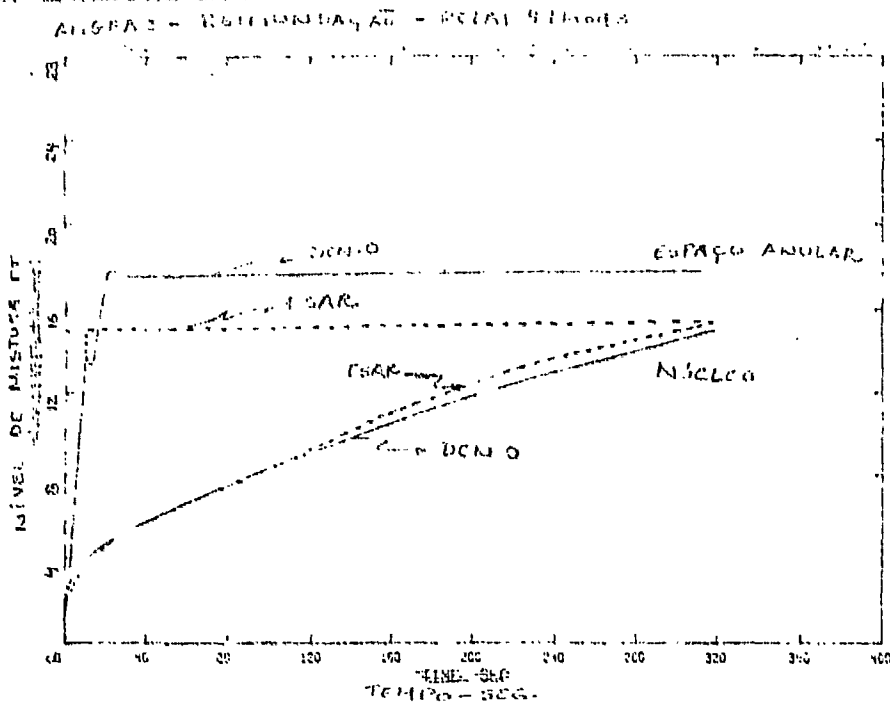


Figura 5 - Nível de mistura no espaço anular e núcleo

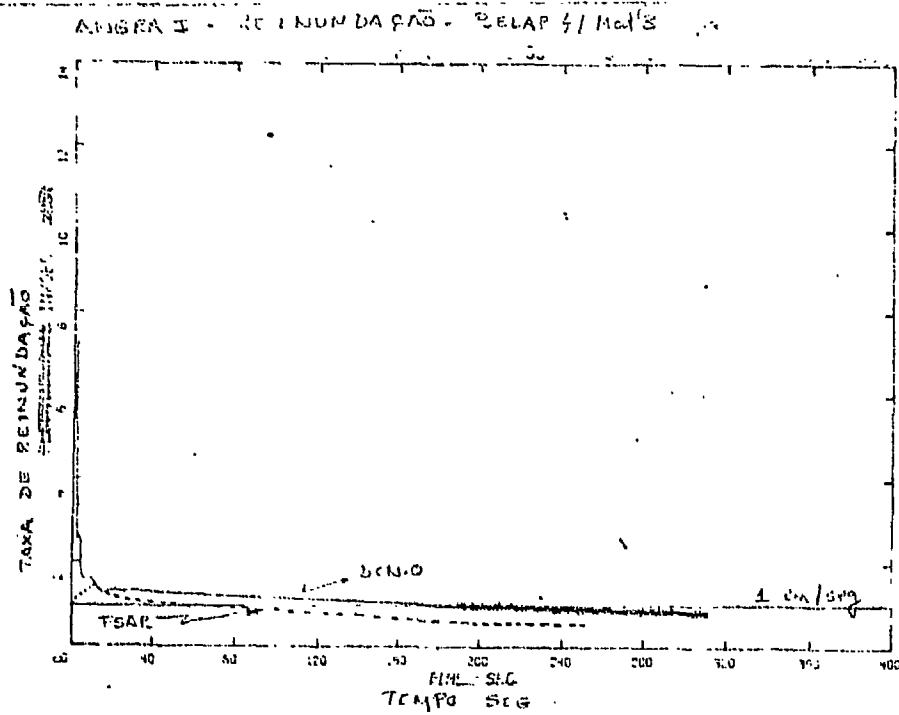


Figura 6 - Taxa de reinundação