

ALMIR FERNANDES *

HORÁCIO NAKATA **

* COORDENADORIA PARA PROJETOS ESPECIAIS
 ** INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES

RESUMO

Foram implantados os códigos TRAP-MELT, VANESA e NAUA no computador CDC-Cyber da COPESP. O código TRAP-MELT teve seu tempo de execução reduzido para o caso amostra de 14,73h para 10,94h, com a substituição da subrotina de solução de sistemas de equações, sem perda significativa nos resultados. O código NAUA necessitou de algumas alterações em sua programação para apresentar resultados compatíveis para o caso amostra. O código VANESA foi executado sem problemas. Vale aqui ressaltar que não foram analisadas as sequências acidentais executadas bem como não se procedeu a uma execução contínua dos códigos, ou seja, com os arquivos de saída de um código sendo diretamente fornecidos ao código subsequente.

INTRODUÇÃO

O "Source Term Code Package" (STCP) [1] é um conjunto integrado de códigos para a análise não determinística de acidentes severos. A integração dos códigos não leva em consideração os efeitos de realimentações, pois os códigos abordam diferentes fenômenos simultâneos independentemente. Verificando trabalhos publicados por volta de 1986 [2, 3, 4], nota-se que este pacote de códigos apresentou resultados considerados satisfatórios pela US NRC e que representavam um grande avanço comparativamente às análises realizadas por intermédio do WASH-1400 [5]. No entanto, é fato hoje que a US NRC patrocina o desenvolvimento de outros códigos (MELCOR [6], SCDAP/RELAP [7]) nesta área [8].

A implantação do código MARCH [9] foi realizada no computador CDC-Cyber da COPESP sem maiores problemas, sendo no entanto que a versão IBM não apresentou resultados compatíveis para o caso amostra, tendo sido abandonada temporariamente. Após a implantação do código, foram reproduzidos os resultados obtidos por laboratórios norte-americanos [10]. Neste trabalho é descrita a implantação dos demais códigos do pacote (TRAP/MELT, VANESA e NAUA) no computador CDC-Cyber da COPESP.

SOURCE TERM CODE PACKAGE

Os códigos MARCH, TRAP-MELT, VANESA e NAUA encontram-se integrados, compondo o "SOURCE TERM CODE PACKAGE" (STCP). Muito embora os efeitos de realimentação não sejam levados em consideração, como em códigos mais recentes (MELCOR [6], SCDAP/RELAP [7]), a integração sequencial dos códigos evita que informações calculadas por um dos códigos (comportamento termodinâmico da planta, por exemplo) seja recalculada posteriormente, além de simplificar e direcionar o fluxo de dados entre os códigos.

TRAP-MELT

O código TRAP-MELT3 foi desenvolvido para tratar do transporte de radionuclídeos e de aerosol inerte desde o início do descobrimento do núcleo até o ponto de liberação do sistema de refrigeração do reator (rompimento do vaso de pressão). Este código é o resultado do acoplamento dos códigos TRAP-MELT2 [11] e MERGE [12], representando o estado da arte dos assuntos por eles abordados em 1986 [1]. O acoplamento deste código com o código MARCH [9] resulta em uma grande melhora no tratamento de transientes rápidos, reduzindo ainda o conjunto de dados de entrada necessários para a execução do código TRAP-MELT para essencialmente poucos parâmetros de controle.

O código TRAP-MELT subdivide as diversas espécies originadas do derretimento do núcleo e liberadas durante o acidente para a contenção em dez grupos: Ba, Cs, Ci, Pi, Te, Sr, Ru, La, NG, Ce. Para cada um destes dez grupos, as

espécies podem se encontrar em cinco estados: suspenso como vapor; suspenso como partículas; condensado nas superfícies; depositado como aerosol; reagido quimicamente com as superfícies. Desta forma, para cada volume de controle modelado no código TRAP-MELT3, 50 diferentes figuras poderão ser obtidas, apresentado a massa das diversas espécies nos diversos estados.

Após diversos testes iniciados em 1990 [10], foi finalmente possível a execução do caso amostra do código TRAP-MELT no computador CDC-Cyber da COPESP. Para a execução do caso amostra foram utilizadas 14,73 horas de CPU. Considerando que este seja um tempo de processamento elevado, buscou-se otimizar o código. Em particular, verificou-se que a subrotina DVERK (solução do sistema linear de equações diferenciais pelo método de Runge-Kutta-Verner de quinta ou sexta ordem), disponível na biblioteca IMSL ("International Mathematics and Statistics Library"), era responsável por grande parte do tempo de processamento. Considerando que o manual do código TRAP-MELT [11] diz explicitamente que esta subrotina, quando não disponível, pode ser substituída por outro pacote de solução de equações diferenciais, foi introduzida a subrotina PCRICH, de resolução de problemas de valor inicial para equações diferenciais ordinárias usando o método de predictor-corrector com extrapolação de Richardson e com controle automático de espaçamento.

Com esta substituição, o caso amostra foi executado em 10,94 horas. A comparação de tempo de processamento entre estas opções do código encontra-se na figura 1, lembrando que o caso amostra foi executado em um computador vetorial ("super computador") também da linha CDC/Cyber. Os resultados obtidos com estas modificações podem ser considerados satisfatórios, como mostram as figuras abaixo relacionadas de número 2 a 10, que apresentam uma comparação entre os valores apresentados na fita de distribuição dos códigos (executado nos Estados Unidos) e os valores obtidos com as alterações realizadas.

VANESA

O código VANESA [13] é responsável pelo cálculo da geração de aerosol fora do vaso de pressão. Os resultados dos cálculos realizados por este código são a liberação de radionuclídeos e a geração de aerosol devido à interação entre o núcleo fundido e o concreto presente na base da contenção.

O caso amostra deste código foi executado e os resultados comparados com a saída amostra presente na fita. Para esta tarefa foi utilizado um programa que compara os arquivos linha por linha, sendo que não foram encontradas diferenças entre nos mesmos. O tempo de execução do caso amostra foi da ordem de 77 segundos, contra 11 segundos da execução do mesmo caso em um computador CDC nos Estados Unidos.

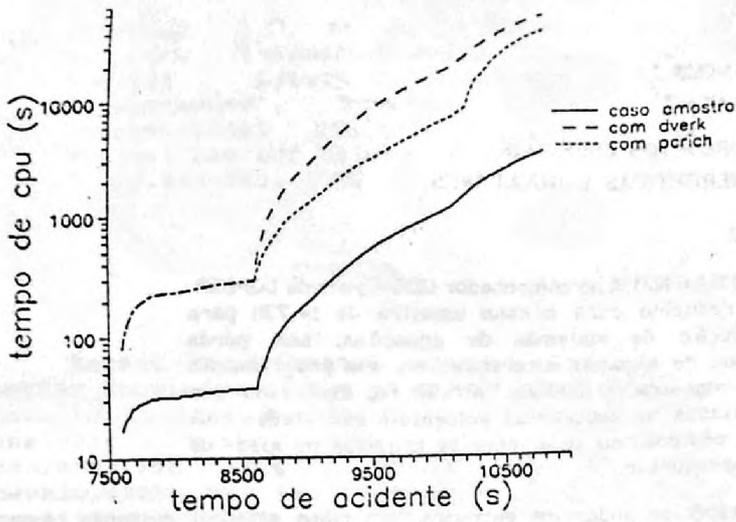


Figura 1 - Comparação do tempo de CPU para a execução do caso amostra do código TRAP-MELT3, considerando a utilização das subrotinas DVERK e PCRICH para solução dos sistemas lineares de equações diferenciais.

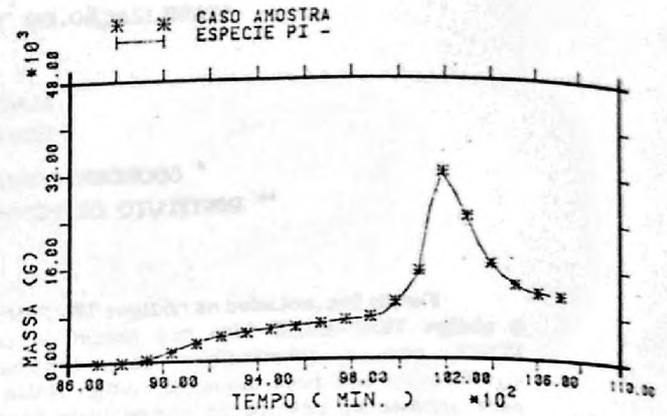


Figura 5 - Massa de Pi suspensa como partícula no pressurizador

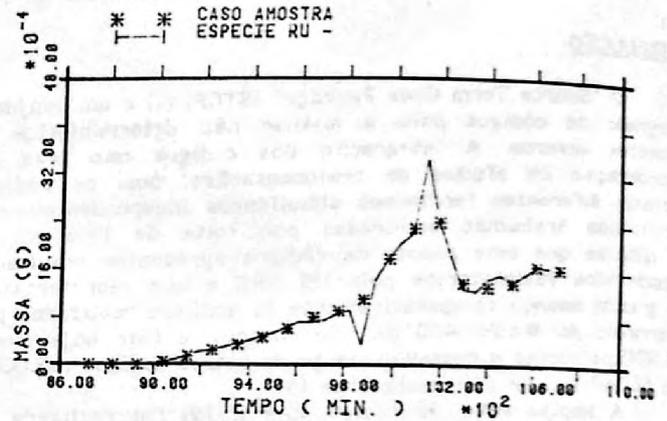


Figura 6 - Massa de Te condensada na linha de surto do pressurizador

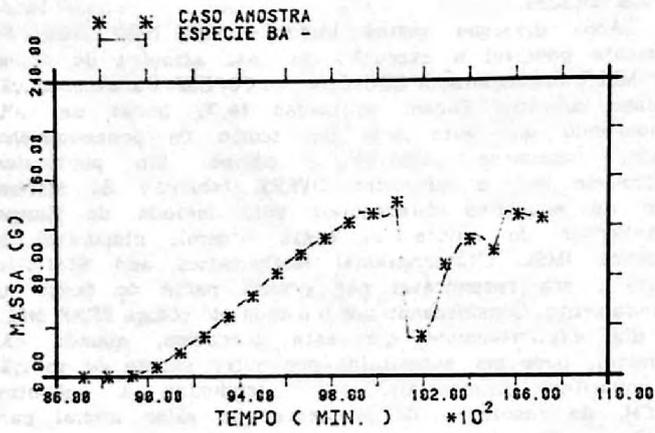


Figura 2 - Massa de Ba suspensa como partícula no núcleo

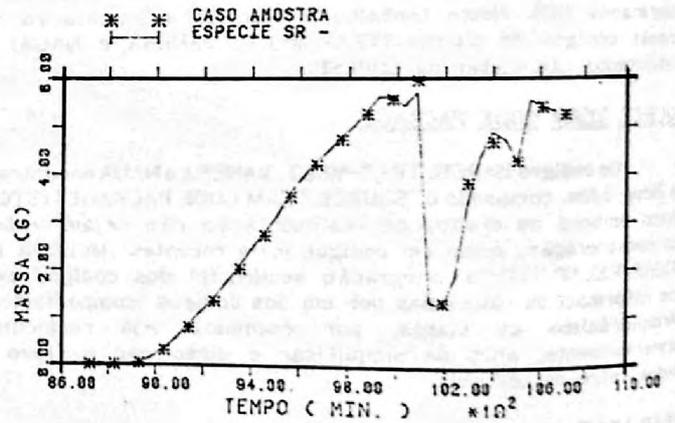


Figura 7 - Massa de Sr suspensa como partícula no núcleo

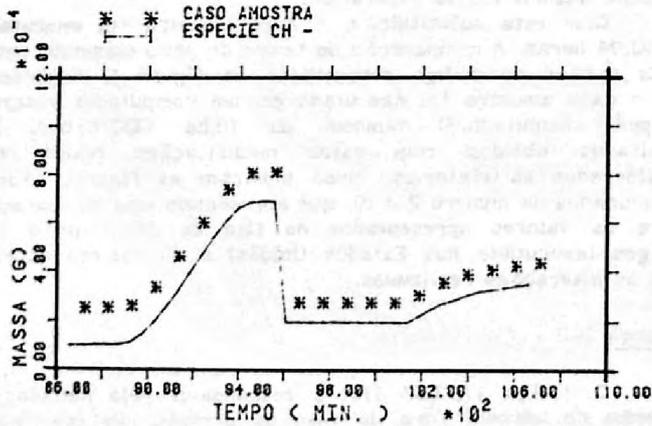


Figura 3 - Massa de Cs condensada na superfície do núcleo

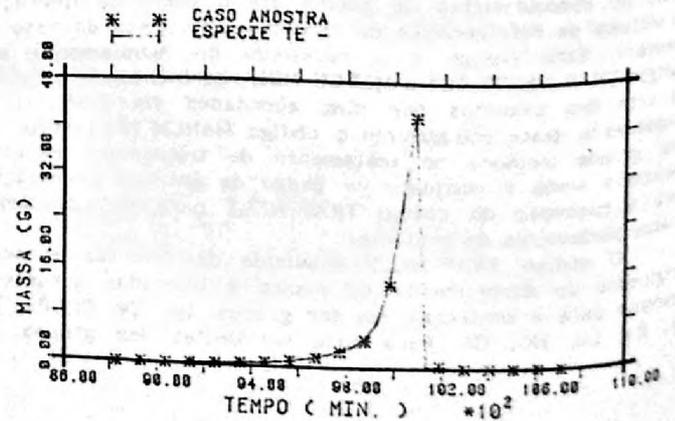


Figura 8 - Massa de Ru suspensa como partícula no pressurizador

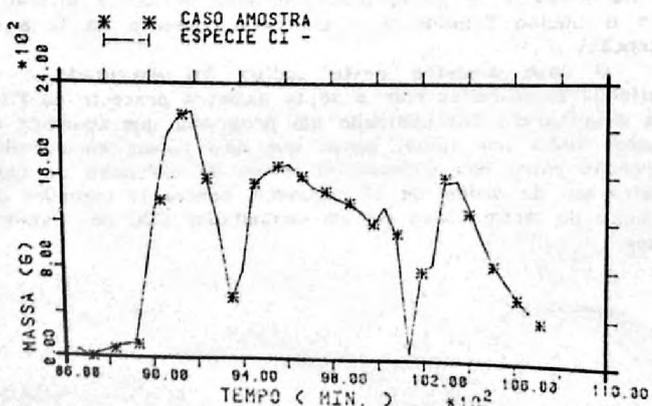


Figura 4 - Massa de Ci suspensa como partícula no pressurizador

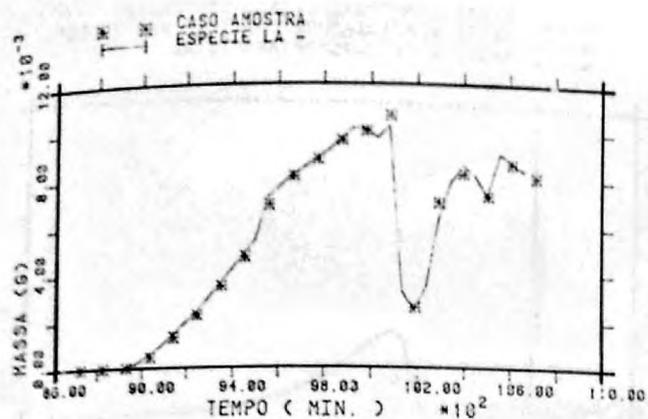


Figura 9 - Massa de La suspensa como partícula no núcleo

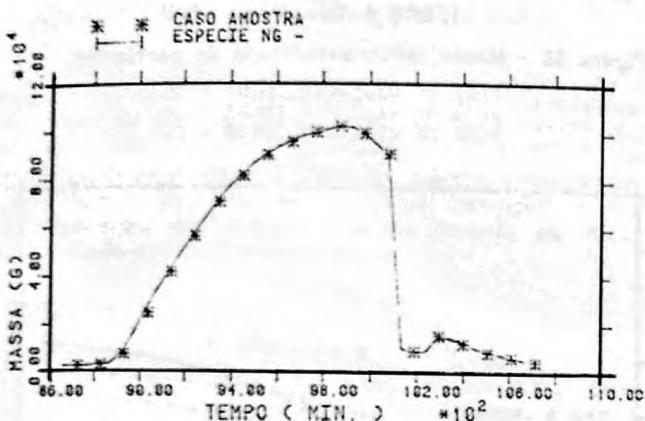


Figura 10 - Massa de NG suspensa como vapor no núcleo

As figuras 11-13 apresentam os gráficos da fração de produtos de fissão liberadas no decorrer do acidente para os oito grupos de radionuclídeos admitidos pelo código VANESA: I, Cs, Te, Sr, Ru, La, Ce, Ba.

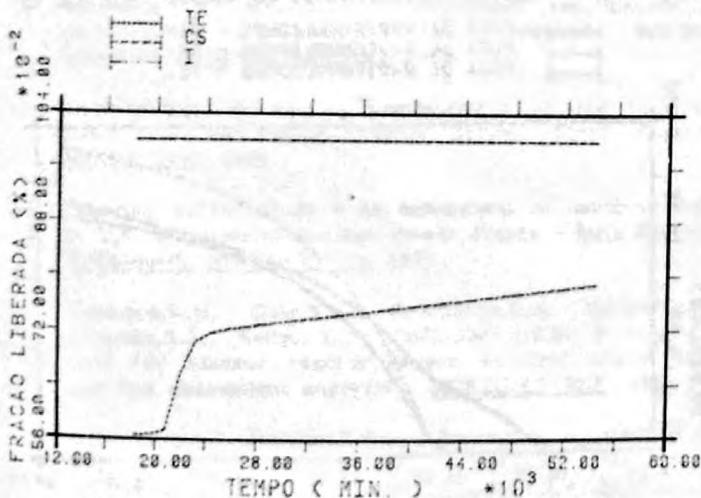


Figura 11 - Liberação fracional de Te, Cs e I

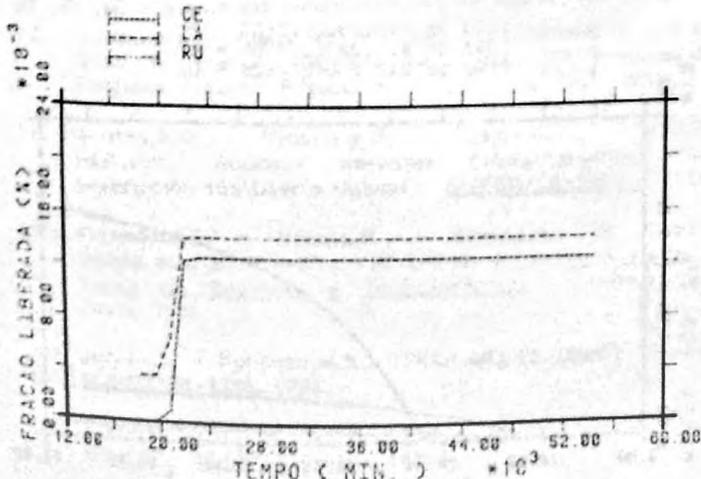


Figura 12 - Liberação fracional de Ce, La e Ru

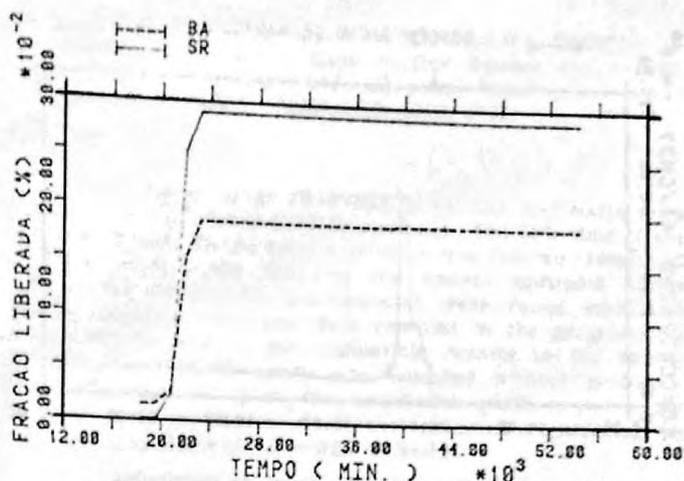


Figura 13 - Liberação fracional de Ba e Sr

NAUA

O código NAUA calcula o comportamento dos produtos de fissão que se encontram em suspensão na contenção. O código é baseado em modelagem mecânica de aglomeração e deposição de aerossol em atmosfera rica em vapor saturado.

A implantação deste código apresentou diversos problemas, inicialmente pelo fato de não ter sido possível a obtenção do manual do mesmo, sendo todo o trabalho realizado com as informações disponíveis no manual do STCP [1]. Quando o caso amostra foi devidamente executado e comparado com a saída presente na fita de distribuição dos códigos, verificou-se que não havia concordância entre os resultados, muito embora o programa fonte e os dados de entrada conferissem com os presentes no "output" do caso amostra.

Após detalhada e exaustiva análise do programa fonte, verificaram-se alguns detalhes que poderiam ser os responsáveis por tais discrepâncias. O programa apresenta em diversas subrotinas e funções a estrutura ENTRY de acesso opcional. No entanto, muito embora na definição inicial da subrotina/ função houvessem parâmetros de entrada, no comando ENTRY estes encontravam-se omitidos. Quando ocorria a chamada da subrotina por meio da estrutura ENTRY, muito embora houvesse um parâmetro na chamada, o compilador admitia apenas os parâmetros da chamada anterior. Esta diferença na interpretação dos compiladores levou a resultados completamente diferentes para o caso amostra do código. Outras correções realizadas no programa NAUA foram:

- 1- compatibilizar o "COMMON" sem nome presente no programa principal e em diversas subrotinas/funções, fazendo com que o mesmo contasse sempre com o mesmo número de variáveis;
- 2- remover a opção de parada do programa por tempo de CPU, tendo em vista que a mesma encontrava-se parcialmente desativada (muito embora ocorresse a inicialização da contagem de tempo de CPU, após ocorrer a conferência do tempo de processamento a cada "loop" do programa, esta variável era zerada);
- 3- remover definições inúteis de certas variáveis, como por exemplo DELZEI, que apresenta três definições sucessivas no programa sem que seja utilizada no intervalo entre estas definições (DELZEI=1.0; DELZEI=1.0; DELZEI=0.5).

As figuras 14-22 apresentam os gráficos da concentração total de partículas, o raio médio das partículas, a deposição de partículas por sedimentação e por difusão, a massa de partículas aerotransportadas e ainda a fuga de radionuclídeos.

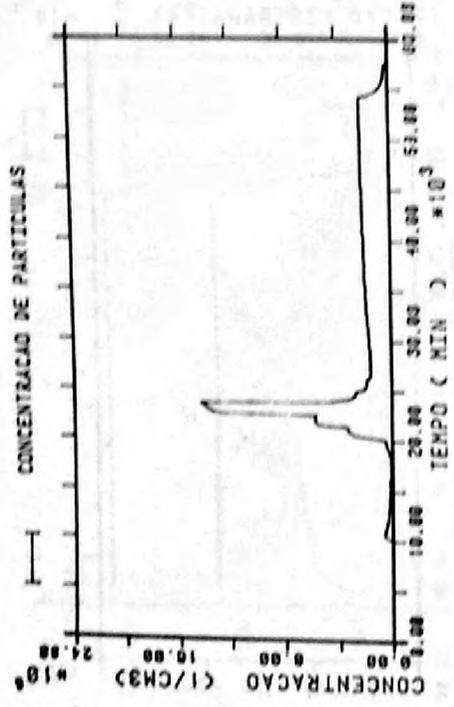


Figura 14 - Concentração total de partículas

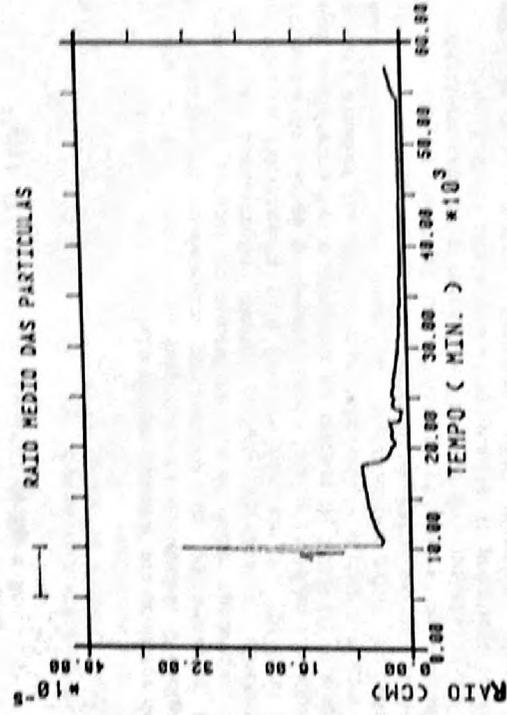


Figura 15 - Razão média das partículas

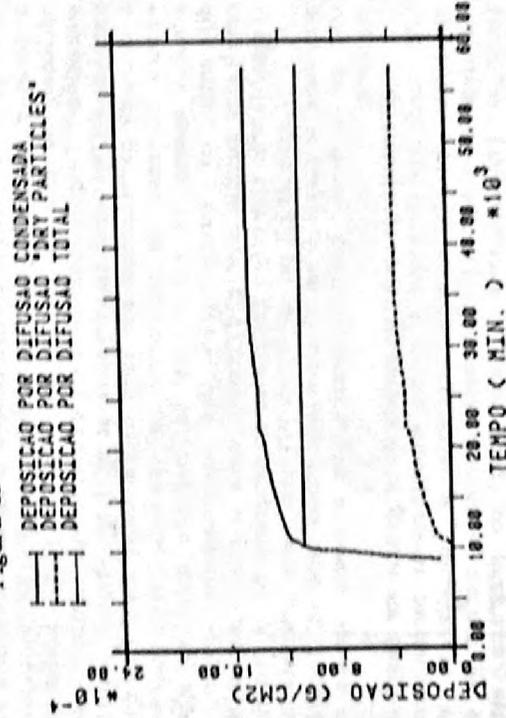


Figura 16 - Deposição de partículas por difusão

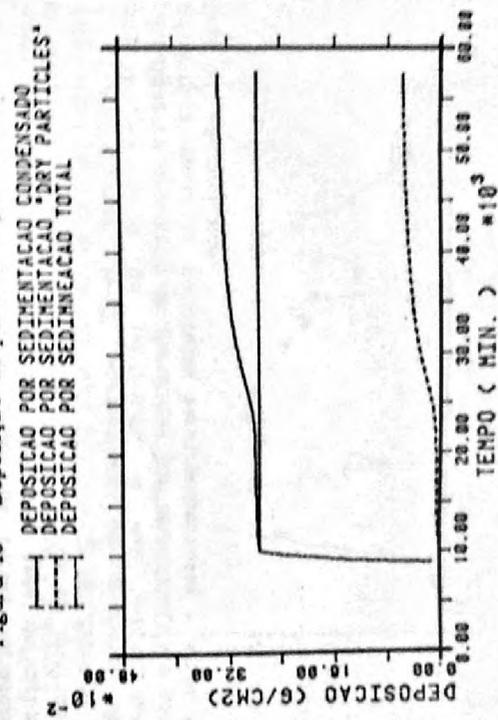


Figura 17 - Deposição de partículas por sedimentação

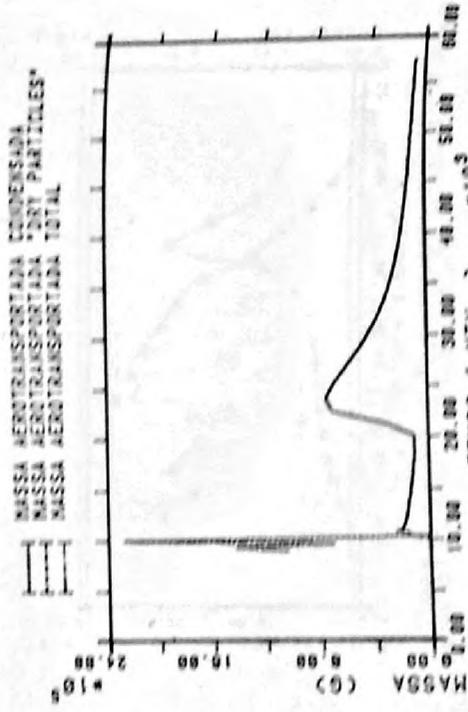


Figura 18 - Massa aerotransportada de partículas

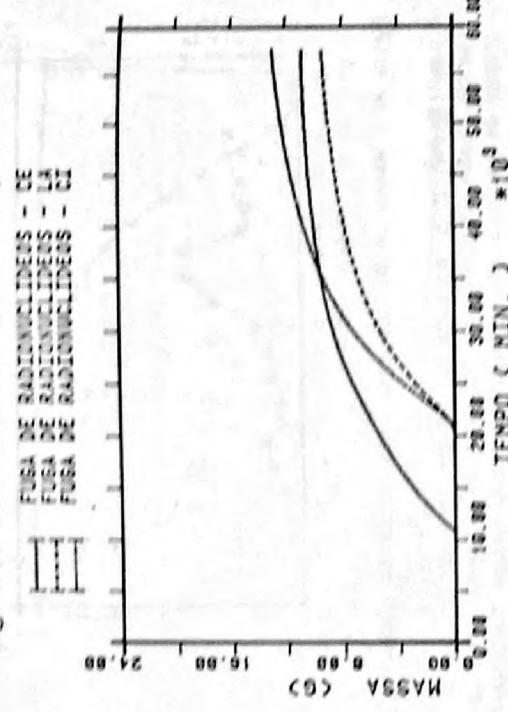


Figura 19 - Fuga de radionuclídeos em massa - Ce, La, Cl

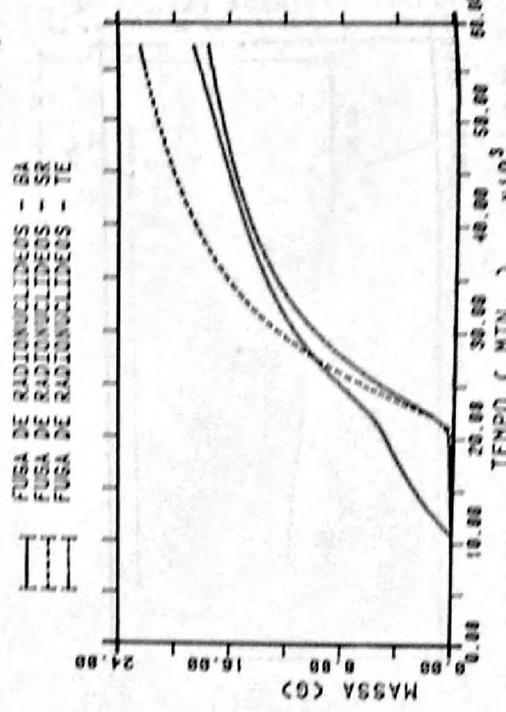


Figura 20 - Fuga de radionuclídeos em massa - Ba, Sr, Te

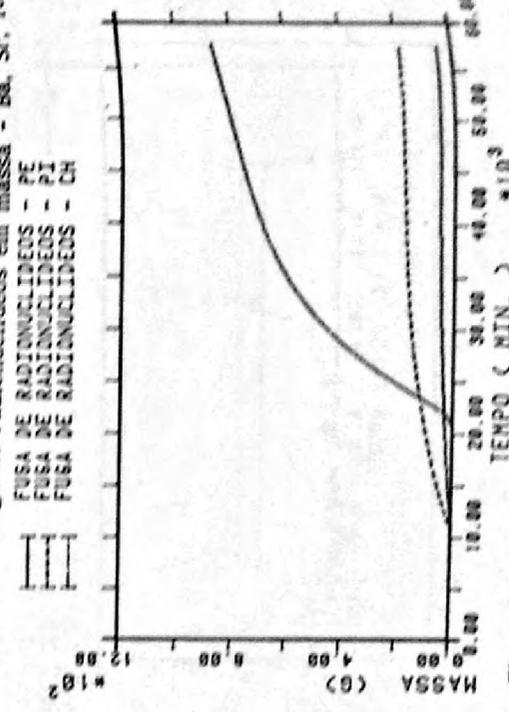
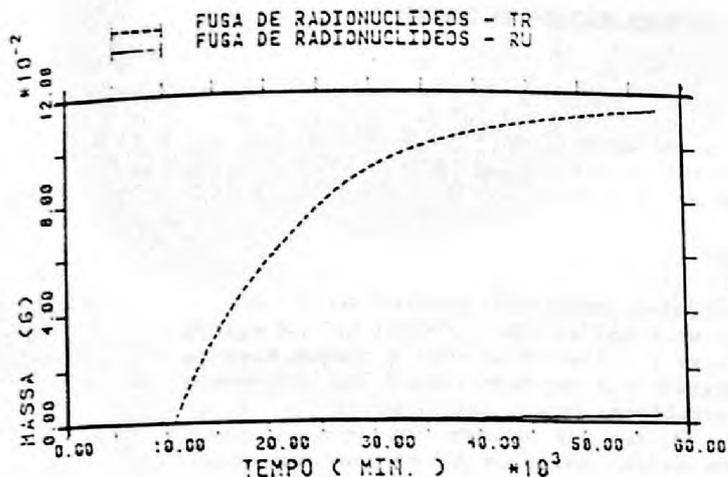


Figura 21 - Fuga de radionuclídeos em massa - Po, Pl, Ch



Desta forma, pode-se considerar que os códigos componentes do STCP encontram-se implantados no computador CDC-Cyber da COPESP. No entanto, deve-se ressaltar que neste trabalho não foram utilizados os arquivos gerados diretamente pelos códigos para os códigos subsequentes. Esta tarefa não é tão simples quanto se apresenta a princípio, tendo em vista que diversos arquivos deverão ser manipulados antes de sua utilização nos códigos.

REFERÊNCIAS

- [1] Gieseke, J.A., Cybulskis, P., Jordan, H., Lee, K.W., Curtis, L.A., Schumacher, P.M., Wooton, R.O., Quayle, S.F. e Kogan, V., "Source Term Code Package, a User's Guide (Mod.1)", NUREG/CR-4587, 1986.
- [2] Denning, R.S. e Gieseke, J.A., "Radio-nuclide release calculations for selected severe accident scenarios. PWR, large dry containment design, vol.5", NUREG/CR-4624, 1986.
- [3] Cazzoli, E. e Davis, R., "Independent verification of radionuclide calculations for selected accident scenarios", NUREG/CR-4629, 1986.
- [4] Silberberg, M. et al., "Reassessment of the technical bases for estimating source terms. Final Report", NUREG-0956, 1986.
- [5] "Reactor Safety Study - An assessment of accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants - Main Report", WASH-1400, NUREG-75/014, 1975.
- [6] Summers, R.M., Cole, R.K., Boucheron, E.A., Carmel, M.K., Dingman, S.E., Kelly, J.E., "MELCOR 1.8.0: A computer code for nuclear reactor severe accident source term and risk assessment analysis", NUREG/CR-5531, 1991.
- [7] Allison, C.M., Johnson, E.C., Berna, G.A., Cheng, T.C., Hagrman, D.L., Johnson, G.W., Kiser, D.M., Miller, C.S., "SCDAP/RELAP5/ MOD2 code manual - vol.1,2,4", NUREG/CR-5273, 1989.
- [8] Comunicação pessoal entre o Dr. Horácio Nakata e o Dr. Brian W. Sharon, Diretor da Divisão de Pesquisa de Sistemas, Nuclear Regulatory Commission, USA, 1991.
- [9] Wooton, R.O., Cybulskis, P., Quayle, S.F., "MARCH2 (Meltdown Accident Response CHaracteristics) Code Description and User's Manual", NUREG/CR-3988/1, 1984.
- [10] Fernandes, A. e Nakata, H., "Simulação de acidente severo com MARCH-3", VIII ENFIR, Encontro Nacional de Física de Reatores e Termoidráulica, Atibaia, São Paulo, 1991.
- [11] Jordan, J. e Kuhlman, M.R., "TRAP-MELT2 User's Manual", NUREG/CR-4205, 1985.
- [12] Freeman-Kelly, R.G. e Jung, R.G., "A User's Guide for MERGE", NUREG/CR-4172, 1985.

- [13] Powers, D.A., Brockman, J.E. e Shiver, A.W., "VANESA: A Mechanistic Model of Radio-nuclide Release and Aerosol Generation During Core-Concrete Interactions with Concrete (Draft)", NUREG/CR-4308, 1985.

SUMMARY

The computer codes TRAP-MELT, VANESA and NAUA were tested in the CDC-Cyber COPESP computer. The CPU time of the TRAP-MELT code to the sample problem was reduced from 14,73 to 10,94 hours, just changing the system equations solver routine. No significant discrepancies were found with this change. Important changes were realized in the programming of the NAUA code to get compatible results to the sample problem. The VANESA code was executed without problems. Should be stressed that the accidental sequence were not analyzed and the codes were not executed considering as input the output of the previous codes.