

CHERNOBYL: O QUE ACONTECEU E POR QUE O REATOR 4 EXPLODIU

Entenda a sequência do acidente de Chernobyl, as falhas do RBMK, o papel do teste e do AZ-5 e as lições para projetos e sistemas críticos.

SUMÁRIO

1. O QUE ACONTECEU EM CHERNOBYL, EM POUCOS PONTOS?	3
2. ONDE E QUANDO ACONTECEU O ACIDENTE?	4
3. COMO FUNCIONAVA O REATOR RBMK?	4
4. COMO O REATOR CHEGOU A UMA CONDIÇÃO INSTÁVEL?	4
4.1. O ATRASO DA REDUÇÃO DE POTÊNCIA	5
4.2. A QUEDA DE APROXIMADAMENTE 500 MWT PARA 30 MWT	5
4.3. O ENVENENAMENTO POR XENÔNIO	5
5. O QUE ACONTECEU NOS ÚLTIMOS SEGUNDOS?	5
6. CHERNOBYL TEVE UMA ÚNICA CAUSA?	6
7. O ACIDENTE PODERIA TER SIDO EVITADO COM A TECNOLOGIA DE 1986?	6
8. O QUE CHERNOBYL ENSINA PARA A ENGENHARIA?	7
9. JORNADA DE CONHECIMENTO	7
10. POR QUE CHERNOBYL AINDA IMPORTA?	7

Na madrugada de **26 de abril de 1986**, durante um teste no Reator 4 da Usina Nuclear de Chernobyl, uma combinação de características perigosas do RBMK, condições operacionais instáveis, limitações de instrumentação e falhas organizacionais provocou um aumento abrupto de potência. Canais se romperam, a pressão cresceu e explosões destruíram o núcleo e parte do edifício.

Essa é a resposta direta para **o que aconteceu em Chernobyl**. O acidente não teve uma única causa: foi construído por uma sequência de fatores técnicos, operacionais e institucionais que reduziram as margens de segurança.

> **Resumo:** a potência caiu muito abaixo do previsto; o xenônio dificultou sua recuperação; muitas hastes foram retiradas; a margem operacional ficou baixa; o coeficiente de vazio tornou o RBMK instável; e o AZ-5 introduziu inicialmente reatividade positiva em partes do núcleo.

1. O QUE ACONTECEU EM CHERNOBYL, EM POUCOS PONTOS?

A sequência essencial do acidente foi esta:

- 1 O Reator 4 seria desligado para manutenção e a equipe aproveitaria a parada para repetir um teste elétrico relacionado à desaceleração da turbina.
- 2 A redução de potência foi interrompida por uma solicitação do sistema elétrico, prolongando a operação e transferindo o teste para outro turno.
- 3 Durante a redução posterior, a potência caiu de aproximadamente 500 MWt para cerca de 30 MWt, muito abaixo do nível previsto.
- 4 O xenônio-135 dificultou a recuperação da potência porque absorvia nêutrons no núcleo.
- 5 Muitas hastes foram retiradas para elevar a potência, reduzindo a margem operacional de reatividade, conhecida como ORM.
- 6 O reator foi estabilizado em aproximadamente 200 MWt e o teste prosseguiu em uma condição sensível.
- 7 A formação de vapor aumentou a reatividade por causa do coeficiente de vazio positivo do RBMK.
- 8 O AZ-5 foi acionado às 01h23min40s. O desenho das hastes acrescentou inicialmente reatividade em partes do núcleo antes da entrada plena do material absorvedor.
- 9 A potência subiu rapidamente, canais de combustível se romperam e o reator foi destruído.

O evento envolveu uma excursão extremamente rápida de potência, ruptura de canais, geração intensa de vapor e aumento de pressão. A natureza exata da segunda explosão

ainda é discutida em diferentes análises.

2. ONDE E QUANDO ACONTECEU O ACIDENTE?

O acidente ocorreu na madrugada de sábado, **26 de abril de 1986**, na Unidade 4 da Usina Nuclear de Chernobyl, então localizada na República Socialista Soviética da Ucrânia. A instalação ficava próxima à cidade planejada de Pripyat e aproximadamente 130 quilômetros ao norte de Kiev.

A usina possuía quatro unidades em operação e mais duas em construção. O Reator 4, concluído em 1983, era um RBMK-1000, com potência elétrica aproximada de 1.000 MWe e potência térmica nominal próxima de 3.200 MWt.

O contexto industrial, político e urbano está em [Chernobyl antes do acidente: usina, Pripyat, política e legado](#).

3. COMO FUNCIONAVA O REATOR RBMK?

O RBMK era um reator soviético de grande potência, refrigerado por água, moderado por grafite e construído com numerosos canais verticais de pressão. Cada canal abrigava combustível e recebia circulação de água.

A fissão do urânio produzia calor; a água circulava pelos canais e parte dela se transformava em vapor; separadores alimentavam as turbinas; e as turbinas acionavam os geradores elétricos. O grafite permanecia no núcleo moderando os nêutrons, enquanto a água removia calor e absorvia parte deles.

Essa separação contribuiu para uma característica decisiva: em determinadas configurações, mais vapor podia significar **menos absorção de nêutrons e mais reatividade**. A arquitetura completa está em [Reator RBMK: como funcionava o reator de Chernobyl](#).

4. COMO O REATOR CHEGOU A UMA CONDIÇÃO INSTÁVEL?

O acidente começou a ser construído horas antes das explosões. Não houve uma única mudança capaz de explicar tudo. Houve uma perda progressiva das margens de controle.

4.1. O ATRASO DA REDUÇÃO DE POTÊNCIA

A redução começou em 25 de abril, mas foi interrompida quando o despacho de carga solicitou que a unidade continuasse fornecendo energia. O reator permaneceu por horas em aproximadamente metade da potência antes que a redução fosse retomada.

O atraso alterou o turno, prolongou a operação e modificou o estado do núcleo. Não causou sozinho o acidente, mas integrou a sequência que distanciou a execução real do cenário planejado.

4.2. A QUEDA DE APROXIMADAMENTE 500 MWt PARA 30 MWt

Por volta de 00h28, durante a transferência do controle de potência, o nível térmico caiu bruscamente para cerca de 30 MWt. A causa exata é descrita com nuances diferentes nas fontes, envolvendo possível ação operacional ou resposta inadequada do sistema automático.

O reator entrou em uma faixa muito abaixo da prevista. A equipe tentou recuperar potência em vez de interromper o teste e estabilizar a unidade. Leia [por que a potência do Reator 4 caiu de 500 MWt para 30 MWt](#).

4.3. O ENVENENAMENTO POR XENÔNIO

Quando a potência caiu, o xenônio-135 absorveu nêutrons e dificultou a retomada da reação. Para compensar, hastes de controle foram progressivamente retiradas.

A potência subiu para aproximadamente 200 MWt, mas o núcleo permaneceu com distribuição espacial complexa, baixa margem de controle e sensibilidade elevada. Veja [iodo, xenônio e o envenenamento do núcleo](#).

5. O QUE ACONTECEU NOS ÚLTIMOS SEGUNDOS?

Às 01h23min04s, as válvulas da turbina foram fechadas e o teste começou. À medida que a turbina desacelerava, diminuía a energia fornecida a parte das bombas utilizadas no ensaio.

Ocorreram mudanças de vazão, pressão, nível de água, temperatura e formação de vapor. O núcleo já estava em uma condição sensível: baixa potência, distribuição irregular e poucas hastes inseridas.

Às 01h23min40s, o AZ-5 foi acionado. Quando as hastes começaram a descer, os deslocadores de grafite substituíram inicialmente água em regiões dos canais. Em vez de

reduzir imediatamente a reação, essa etapa acrescentou reatividade local antes da entrada plena do material absorvedor.

Às 01h23min43s, os sinais indicaram elevação extremamente rápida de potência. O aquecimento rompeu elementos e canais, intensificou a geração de vapor e elevou a pressão. Veja a [cronologia do teste](#), o [funcionamento do AZ-5](#) e o [projeto das hastes](#).

6. CHERNOBYL TEVE UMA ÚNICA CAUSA?

Não. A cadeia reuniu fenômenos físicos, condição operacional, vulnerabilidades de projeto, limitações de instrumentação, problemas no programa de teste, comunicação deficiente, regulação insuficiente e cultura de segurança frágil.

- **Fenômeno físico:** aumento de reatividade, geração de vapor, ruptura de canais e excursão de potência.
- **Condição operacional:** baixa potência, xenônio, ORM reduzida e distribuição irregular no núcleo.
- **Projeto:** coeficiente de vazio positivo, hastes com comportamento inicial adverso, inserção lenta e instrumentação limitada.
- **Teste e procedimentos:** integração insuficiente com a segurança nuclear e continuidade após desvios importantes.
- **Organização e governança:** riscos conhecidos mal comunicados, responsabilidades pouco claras, regulação e cultura de segurança insuficientes.

O INSAG-7 revisou a interpretação inicial e atribuiu maior peso a deficiências de projeto, comunicação, regulação e cultura de segurança. Leia a [análise das causas](#) e a discussão sobre [projeto, pressão política e governança](#).

7. O ACIDENTE PODERIA TER SIDO EVITADO COM A TECNOLOGIA DE 1986?

Sim. Não era necessário esperar pelas tecnologias digitais atuais para reduzir decisivamente o risco. Diversas medidas eram tecnicamente possíveis na época:

- redesenhar as hastes e reduzir o coeficiente de vazio;
- diminuir o tempo de inserção do desligamento de emergência;
- impedir o bypass de proteções críticas;
- indicar continuamente a ORM e melhorar a instrumentação em baixa potência;
- interromper o teste após a queda inesperada de potência;
- submeter o ensaio a revisão independente e comunicar os riscos conhecidos.

Várias dessas medidas foram implantadas posteriormente. Veja [o que mudou nos reatores RBMK depois do acidente](#).

8. O QUE CHERNOBYL ENSINA PARA A ENGENHARIA?

Proteções precisam levar o sistema a um estado seguro; limites críticos devem estar associados a barreiras; testes exigem análise multidisciplinar; o operador não pode compensar um projeto frágil; e a experiência operacional precisa retornar ao projeto.

Tecnologias atuais melhoram supervisão, alarmes, sequenciamento de eventos, simulação e intertravamentos, mas não substituem projeto seguro e governança técnica.

9. JORNADA DE CONHECIMENTO

A série foi organizada em sequência: contexto, funcionamento do RBMK, formação da condição crítica, teste, explosão, causas sistêmicas e mudanças posteriores.

- 1 [Chernobyl antes do acidente](#)
- 2 [Como funcionava o RBMK](#)
- 3 [Queda de 500 MWt para 30 MWt](#)
- 4 [Iodo, xenônio e envenenamento](#)
- 5 [ORM e margem de reatividade](#)
- 6 [Coeficiente de vazio positivo](#)
- 7 [Hastes de controle com grafite](#)
- 8 [Do início do teste à explosão](#)
- 9 [O botão de emergência AZ-5](#)
- 10 [Causas do acidente](#)
- 11 [Projeto, política e governança](#)
- 12 [Mudanças nos reatores RBMK](#)

O futuro whitepaper consolidará a jornada, enquanto cada artigo continuará responsável por uma intenção de busca específica.

10. POR QUE CHERNOBYL AINDA IMPORTA?

Chernobyl mostra como um sistema complexo pode perder sua segurança quando fragilidades técnicas, operacionais e organizacionais se alinham. A lição se aplica a qualquer infraestrutura crítica em que decisões dependam de dados, alarmes, procedimentos e camadas de proteção.

[1] International Atomic Energy Agency. The Chernobyl Accident: Updating of INSAG-1 – INSAG-7. 1992. Disponível em:

<https://www.iaea.org/publications/3756/the-chernobyl-accident-updating-of-insag-1>.

[2] U.S. Nuclear Regulatory Commission. Report on the Accident at the Chernobyl Nuclear Power Station. 1987.

[3] Nikolaus Muellner. Three Decades after Chernobyl: Technical or Human Causes?. 2019.

O que aconteceu em Chernobyl? Durante um teste no Reator 4, uma combinação de instabilidade operacional, características do RBMK e falhas organizacionais provocou uma elevação abrupta de potência e a destruição do reator. **Foi erro humano ou falha de projeto?** Foi uma combinação de decisões operacionais e deficiências de projeto, instrumentação, procedimentos, comunicação, regulação e cultura de segurança. **O acidente poderia ter sido evitado?** Sim. Diversas alterações de projeto, proteção, instrumentação, procedimentos e governança já eram tecnicamente possíveis em 1986.

Sobre a A3A Engenharia de Sistemas

Com 30 anos de história, a A3A Engenharia de Sistemas se consolidou como referência em serviços de Engenharia, oferecendo soluções integradas de Telecomunicações, Segurança Eletrônica, Segurança Digital e Instalações Elétricas.

A empresa atua em todas as etapas do ciclo de Engenharia, desde a elaboração de projetos e consultoria técnica até a implantação, manutenção e retrofit de sistemas, sempre em conformidade com as normas técnicas e melhores práticas do setor.