

# LIÇÕES APRENDIDAS PARA A RETOMADA DO PROGRAMA NUCLEAR BRASILEIRO

LEONAM DOS SANTOS GUIMARÃES\*  
Capitão de Mar e Guerra (RM1-EN)

---

## SUMÁRIO

Introdução  
Redução nos custos de financiamento  
Redução do risco regulatório  
Melhorar o desempenho da indústria  
O caminho crítico

## INTRODUÇÃO

Os percalços enfrentados durante a construção de novos projetos de usinas nucleares na Europa (Flamanville 3<sup>1</sup>, Oiki-luoto 3<sup>2</sup>) e nos Estados Unidos da América

(EUA) (Vogtle 3 & 4<sup>3</sup> e VC Summer<sup>4</sup>) claramente abalaram a confiança na indústria e geraram dúvidas em líderes políticos e formadores de opinião sobre a capacidade da energia nuclear de contribuir ainda mais para reduzir as emissões de carbono

---

\* Doutor em engenharia naval pela Universidade de São Paulo (USP) e mestre em engenharia nuclear pela Universidade de Paris XI. Diretor-Presidente e diretor técnico da Eletrobrás Termonuclear S.A. (Eletronuclear), conselheiro de Administração da World Nuclear Association (WNA) e membro do Grupo de Assessoria Permanente em Energia Nuclear do Diretor-Geral da International Atomic Energy Agency (IAEA).

1 The Guardian, *EDF warns of delays at Flamanville nuclear power station in France*, disponível em <https://www.theguardian.com/business/2018/apr/10/edf-warns-of-faults-at-nuclear-power-station-it-is-building-in-france>.

2 Reuters, *Areva's Finland reactor to start in 2019 after another delay*, disponível em <https://www.reuters.com/article/us-finland-nuclear-olkiluoto/arevas-finland-reactor-to-start-in-2019-after-another-delay-idUSKBNICE1ND>.

3 CBS News, *\$25 billion nuclear projects at Georgia's troubled Plant Vogtle to continue*, disponível em <https://www.cbsnews.com/news/nuclear-projects-at-georgias-plant-vogtle-to-continue/>.

4 The Post and Courier, *Bankrupt contractor on South Carolina's failed nuclear project to be sold*, disponível em [https://www.postandcourier.com/business/bankrupt-contractor-on-south-carolina-s-failed-nuclear-project-to/article\\_9bca1df8-f162-11e7-8561-077944ae6351.html](https://www.postandcourier.com/business/bankrupt-contractor-on-south-carolina-s-failed-nuclear-project-to/article_9bca1df8-f162-11e7-8561-077944ae6351.html).

da matriz energética global (451 usinas nucleares em operação, correspondendo a cerca de 11% da geração elétrica global<sup>5</sup>). Essa perda de credibilidade é injusta, uma vez que os problemas subjacentes são totalmente corrigíveis e dado que a tecnologia demonstrou, ainda no século passado, ser uma das opções mais rápidas e eficazes para descarbonizar a geração elétrica (Figura 1).

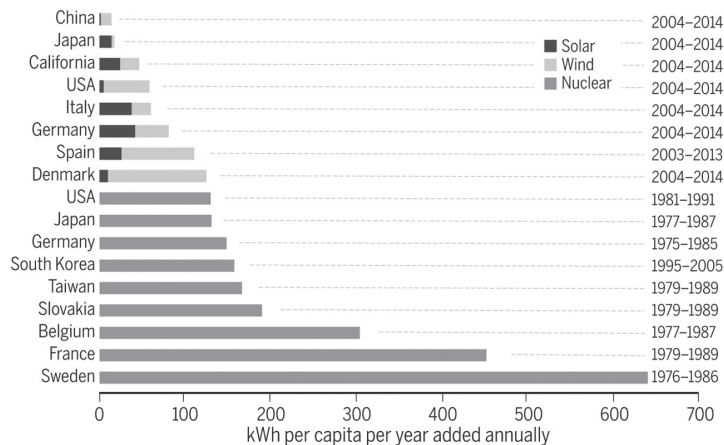


Figura 1 – Aumento médio anual de eletricidade sem carbono *per capita*<sup>6</sup>

Projetos de usinas nucleares são altamente complexos, envolvendo múltiplos agentes.<sup>7</sup> A principal lição da recente experiência de construção é que uma relação de colaboração entre o patrocinador do projeto e os demais agentes fornece a base para um projeto bem gerenciado. Ela permite que um conjunto mais amplo de estratégias de aquisição seja empregado, incentiva o compartilhamento de conhe-

cimento no processo de planejamento e facilita o trabalho em equipe entre as empresas. Durante a execução, os incentivos adequados devem motivar os parceiros a resolver os problemas à medida que surgem, ao mesmo tempo em que desencorajam comportamentos obstrutivos concebidos principalmente para limitar a responsabilidade individual das partes.

A ausência dessa relação de colaboração

entre os agentes, identificada claramente nesses projetos recentes na Europa e nos EUA, leva a uma escalada nos custos. Muitos têm ponderado sobre como diminuir os custos nucleares. Uns argumentam que a comercialização de reatores avançados o mais rápido possível, em especial os

*Small Modular Reactors* (SMR)<sup>8</sup>, seria a chave, enquanto outros postulam que a construção em série de projetos padronizados e comprovados seria a solução. Ambos os argumentos têm mérito e merecem uma avaliação mais profunda, mas há coisas ainda mais fundamentais para melhorar a economia da geração nuclear, que devem ser alcançadas em ambos os casos.

5 IAEA/PRISM, *Operational & Long-Term Shutdown Reactors by Country*, disponível em <https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx>.

6 Junji, C. et alii, *China-U.S. cooperation to advance nuclear power*, figure 2, disponível em <http://science.sciencemag.org/content/353/6299/547.full>.

7 Guimarães, L.S., *Agentes envolvidos na construção de uma usina nuclear*, março de 2018, disponível em <http://www.aben.com.br/noticias/agentes-envolvidos-na-construcao-de-uma-usina-nuclear>.

8 IAEA, *Small modular reactors: flexible and affordable power generation*, disponível em <https://www.iaea.org/topics/small-modular-reactors>.

Entretanto, há também lugares, especialmente na Ásia, onde os projetos de usinas nucleares estão sendo entregues no prazo e dentro do orçamento; na verdade, um número crescente de países está iniciando programas de geração elétrica nuclear (58 usinas se encontram em construção no mundo<sup>9</sup>). A construção de novas usinas é uma opção inquestionavelmente competitiva em muitas partes do mundo. A questão é como criar essas condições para o sucesso em todos os lugares.

Na indústria nuclear, diz-se que, em termos econômicos, apenas dois números importam: os custos financeiros e os custos de capital. Os custos de construção de uma usina nuclear são altos em comparação com outras fontes, da ordem de 2-6.000 US\$ por kilowatt instalado (Figura 2), para potências de 1-2 gigawatt elétricos. Portanto, grandes somas de dinheiro precisam ser garantidas antecipadamente. No Reino Unido, o custo de construção de duas usinas em Hinkley Point C<sup>10</sup> é estimado em £18 bilhões, e quando os

custos de financiamento são incluídos, os custos totais chegam a cerca de £24 bilhões. Por outro lado, os custos de combustível e operação das usinas nucleares são baixos quando comparados com a maioria dos geradores termoeletrônicos convencionais, tornando-as ideais para

geração na base da carga, constituindo investimentos muito lucrativos no longo prazo, uma vez que os custos de financiamento sejam pagos. Um terceiro número, portanto, também importa muito: o tempo necessário para construir a usina e começar a efetivamente gerar caixa. Essas noções básicas nos dão uma pista sobre o que precisa acontecer primeiro.

## REDUÇÃO NOS CUSTOS DE FINANCIAMENTO

O primeiro passo para reduzir os custos de entrega

da eletricidade nuclear tem pouco a ver com a tecnologia ou padronização de reatores e tudo a ver com o custo do financiamento. A Tabela 1 mostra quão significativamente os custos projetados de

**A construção de novas usinas é uma opção inquestionavelmente competitiva em muitas partes do mundo. A questão é como criar essas condições para o sucesso em todos os lugares**

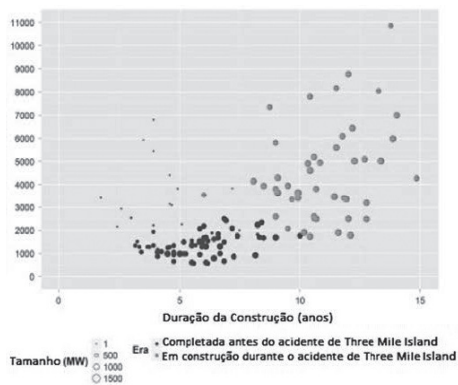


Figura 2 — Custo (*overnight*) e duração da construção de usinas nucleares dos EUA<sup>11</sup>

9 IAEA/PRISM, *Under Construction Reactors*, disponível em <https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/UnderConstructionReactorsByCountry.aspx>.

10 EdF Energy, *More than just a power station*, disponível em <https://www.edfenergy.com/energy/nuclear-new-build-projects/hinkley-point-c>.

11 Lovring *et al*, *Historical construction costs of global nuclear power reactors*, figure 3, disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421516300106>.

novas usinas nucleares são afetados pela taxa de desconto, uma medida do retorno financeiro esperado. Os custos da energia nuclear são simplesmente dominados pelo que os proprietários esperam receber, ou precisam pagar.

Alguns responderiam a isso ressaltando que, se houvesse melhor evidência de que as usinas nucleares poderiam ser

construídas dentro do prazo e do orçamento, o capital privado se tornaria mais acessível. Embora seja verdade, essa resposta não é particularmente perspicaz. Ela ignora o fato de que

as usinas nucleares são projetos megainfraestruturais de importância nacional, com grandes riscos para os investidores, mas também importantes benefícios para a sociedade, tais como garantia da segurança energética, ar mais limpo, mitigação das mudanças climáticas, crescimento econômico regional e desenvolvimento sustentável.

### **Nenhuma perícia em engenharia ou genialidade empreendedora pode superar a ideologia e o oportunismo político**

Além disso, os próprios governos são a fonte de alguns dos maiores riscos enfrentados por esses projetos. Há muitos exemplos, ao longo da história, de lamentável interferência política na energia nuclear: casos de projetos cancelados em estágios avançados de construção; casos em que usinas concluídas nunca foram autorizadas a operar; casos em que usinas

operacionais foram obrigadas a fechar, apesar de estarem em conformidade com os requisitos regulatórios; e casos em que impostos nucleares específicos se tornaram uma carga tão grande que

influenciaram na decisão dos proprietários de descomissionar usinas prematuramente.

Nenhuma perícia em engenharia ou genialidade empreendedora pode superar a ideologia e o oportunismo político. Esse risco aumenta o custo de financiamento de projetos nucleares, já que os investidores

invariavelmente consideram um prêmio adicional para assumi-lo.

País	Taxa de Desconto		
	3%	7%	10%
Bélgica	51.5	84.2	116.8
Finlândia	46.1	77.6	109.1
França	50.0	82.6	115.2
Hungria	53.9	89.9	125.0
Japão	62.6	87.6	112.5
Coreia do Sul	28.6	40.4	51.4
Eslováquia	53.9	84.0	116.5
Reino Unido	64.4	100.8	135.7
EUA	54.3	77.7	101.8
China	25.6-30.8	37.2-47.6	48.8-64.4

TABELA<sup>12</sup> – Custo projetado e nivelado da energia de usinas nucleares por país (US\$/MWh)

12 OECD, Projected Costs of Generating Electricity, 2015 Edition (Custos Projetados da Geração de Eletricidade, Tabela 3.11, considerando 85% do fator de capacidade), disponível em <https://www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2015/7057-proj-costs-electricity-2015.pdf>.

Um apoio político forte, consistente e explícito aos programas nucleares é a única maneira de reduzir esses riscos. Os governos podem precisar reforçá-lo por meio de envolvimento direto, fornecendo garantias de empréstimos ou tomando parte do projeto, por exemplo. Eles também devem definir a estrutura do mercado para garantir que os fatores externos sejam internalizados e que seja propiciada estabilidade aos investimentos de longo prazo. Em um mundo que responde às realidades das mudanças climáticas, onde a demanda por eletricidade está crescendo e os países estão buscando um maior grau de segurança energética, tais intervenções são plenamente justificadas.

E quanto às instituições financeiras? Elas deveriam estar procurando financiar usinas nucleares como prioridades de governança ambiental e social. Isto vale especialmente para os bancos nacionais e internacionais de desenvolvimento, muitos dos quais, injustificadamente, se recusam a financiar projetos nucleares. O que nos leva ao segundo passo.

## REDUÇÃO DO RISCO REGULATÓRIO

Provavelmente, ninguém ficaria surpreso ao ver um representante da indústria nuclear falar de regulamentação. É um tema recorrente, mas vamos recuar, respirar fundo e considerar o contexto mais amplo. Simplificando, a energia nuclear é a tecnologia para uso civil mais regulamentada do planeta. É um pouco irônico esperar que as usinas nucleares frequentemente tenham de competir sem assistência em mercados "desregulados". Os projetos nucleares tipicamente:

- requerem aprovação a nível nacional, regional e local (em alguns casos até internacional);

- levam anos de planejamento e são inviáveis de serem continuados sem um consenso político robusto;

- requerem estudos de impacto ambiental detalhados e longas consultas públicas;

- são licenciados e regulados por autoridades de segurança independentes, com o poder de parar a construção ou operação a qualquer momento;

- são abrangidos por tratados e acordos internacionais relativos ao comércio e transporte de materiais nucleares, segurança e responsabilidade civil etc.

Os reguladores da segurança têm contribuído para atrasos em projetos nucleares, por vezes de forma injustificada, como quando novos requisitos são introduzidos após a construção ter começado. É preciso evitar a mudança de requisitos regulatórios para se ter alguma chance de entregar projetos com sucesso, dentro da qualidade, com custos e prazos planejados. Por exemplo, os custos de construção nuclear dos EUA inflaram drasticamente, como resultado de novas regulamentações introduzidas após o acidente em Three Mile Island, conforme mostra a Figura 2.

Também há muito que pode ser feito internacionalmente em termos de harmonização de regulações, códigos e padrões. A indústria nuclear foi originalmente desenvolvida como uma série de empresas nacionais, mas os projetos têm um caráter cada vez mais internacional. O progresso na harmonização deve ajudar a reduzir a carga de licenciamento da concepção (que pode chegar a centenas de milhões de dólares), aumentar a diversidade e a qualidade da base de fornecedores e reduzir a possibilidade de erros durante a construção. Todas essas coisas devem ter impactos perceptíveis nos custos de entrega.

Ao mesmo tempo, há uma ativa discussão em muitos países sobre a adequação

das atuais abordagens regulatórias e quais requisitos realmente contribuem para ganhos significativos de segurança. Esse tema deve continuar a ser aprofundado e mudanças práticas acontecerem, especialmente à medida que novas tecnologias inovadoras são trazidas à tona que podem ser injustamente prejudicadas pela estrutura existente. As evidências mostram claramente que a energia nuclear é uma das fontes de energia mais seguras<sup>13</sup>. Seria um desfecho ruim se a regulamentação impedisse o desenvolvimento nuclear, em vez de possibilitá-lo. A regulamentação nuclear e seus códigos e padrões estão fortemente ligados ao desempenho nuclear, o que nos leva finalmente à própria indústria, e ao terceiro passo.

## MELHORAR O DESEMPENHO DA INDÚSTRIA

O terceiro passo para reduzir os custos da energia nuclear é, obviamente, que a indústria melhore seu desempenho na construção. Isso exige que todas as partes envolvidas,<sup>14</sup> proprietários, fornecedores e contratados, aprendam as lições do gerenciamento de projetos nucleares anteriores, ao mesmo tempo em que integram tecnologias de ponta e melhores práticas. A construção de megaprojetos é, naturalmente, extraordinariamente complexa. Essa complexidade cria muitas armadilhas, mas também, deve-se dizer, inúmeras oportunidades de otimização. A regra de ouro da construção nuclear é acertar na primeira vez. Quando um erro

é cometido ou a gerência (ou reguladores) decide que o retrabalho é necessário, isso pode levar a danos triplos. Há o custo do trabalho e dos componentes originais, o custo de sua remoção e, é claro, o custo da substituição.

Se este trabalho estiver no caminho crítico do cronograma, isso levará a um atraso no comissionamento, e é aí que realmente começa a doer, na medida em que juros adicionais são acumulados aos empréstimos, que agora terão que esperar mais tempo para ter a receita gerada pela operação da usina. Isso confirma a necessidade de priorizar a qualidade no gerenciamento de projetos nucleares, em vez de selecionar produtos ou empreiteiros com preços

mais baixos, já que isso provavelmente economizará tempo e custos mais tarde.

Outras verdades sobre o desempenho recente da indústria exigem uma revisão

## As evidências mostram claramente que a energia nuclear é uma das fontes de energia mais seguras

do que realmente aconteceu nos projetos nucleares bem-sucedidos e menos bem-sucedidos em todo o mundo. Os inaceitáveis atrasos em projetos de usinas nucleares na Finlândia, na França e nos EUA foram agravados pelo fato de que eles eram *first-of-a-kind* (FOAK) e os países não construíram reatores por décadas, perdendo competência, como resultado. Infelizmente, o termo FOAK acaba se aplicando funcionalmente a projetos nucleares mesmo quando a mesma tecnologia é construída em diferentes países, devido à limitada internacionalização anteriormente mencionada.

13 OECD/NEA, *Comparing Nuclear Accident Risks with Those from Other Energy Sources*, disponível em <https://www.oecd-nea.org/ndd/reports/2010/nea6861-comparing-risks.pdf>.

14 Guimarães, L.S., *Agentes Envolvidos na Construção de uma Usina Nuclear*, março de 2018, disponível em <http://www.aben.com.br/noticias/agentes-envolvidos-na-construcao-de-uma-usina-nuclear>.

Vale a pena notar que quase nenhum dos problemas encontrados nesses projetos pode ser atribuído ao projeto básico do reator (uma ressalva é que a construção não deve começar até que um projeto detalhado seja desenvolvido). A escolha da tecnologia não parece ser a fonte do problema. No entanto, a própria tecnologia oferece a solução. Afinal, nada permanece o mesmo para sempre e esta é a era da evolução tecnológica acelerada. Inovações como a digitalização e a impressão 3D estão transformando a maneira como a indústria faz e monta as coisas. As capacidades de fabricação das cadeias de suprimentos encontradas nos países nucleares mais avançados são um salto quântico em relação aos dias pioneiros. Novas técnicas introduzidas em um país podem ser transferidas para outros, se a indústria local estiver disposta a aprender e os reguladores estiverem dispostos a aceitar a mudança.

## O CAMINHO CRÍTICO

As chaves para reduzir os custos dos projetos nucleares são: facilitar o acesso a financiamento barato, reduzir as barreiras regulatórias e melhorar o desempenho da indústria na construção. Comprometer-se de todo o coração com a realização de projetos avançados o mais rápido possível ou com a construção em série de uma frota de reatores padronizados é uma preocupação que se segue aos fatores acima e não os substitui.

Ironicamente, são os defensores das energias renováveis que muitas vezes parecem se opor mais energicamente à energia nuclear por causa dos “custos”. É irônico porque há dez anos você poderia ter dito a mesma coisa sobre a energia solar ou eólica, mas isso era motivo para um programa consistente de apoio do governo com a intenção de reduzir o preço dessas tecnologias, não abandoná-las. Este programa de apoio foi inquestionavelmente justificado, uma vez que as energias renováveis oferecem benefícios distintos e o seu potencial de crescimento é promissor. O mesmo vale para a energia nuclear.

**As chaves para reduzir os custos dos projetos nucleares são: facilitar o acesso a financiamento barato, reduzir as barreiras regulatórias e melhorar o desempenho da indústria na construção**

Melhorar o desempenho da construção de usinas nucleares e, em decorrência, sua atratividade econômica exige que os países não desistam no primeiro tropeço. A indústria pode aprender fazendo, mas isso claramente não é possível se os programas são descontinuados e a

*expertise* desaparecer. O compromisso político é essencial.

É possível construir usinas nucleares rapidamente. Em 1996, o reator FOAK do tipo ABWR da Unidade 6 de Kashiwasaki Kariwa<sup>15</sup>, de 1.315 MW, foi conectado à rede elétrica após apenas três anos, estabelecendo a referência para o desempenho da construção nuclear. O que fundamentalmente impede que isso seja alcançado novamente? Se os períodos de construção de cinco, quatro ou até três anos se tornassem a norma da indústria, certamente ninguém

15 WNA, Kashiwasaki Kariwa 6, Japan, disponível em <http://www.world-nuclear.org/reactor/default.aspx/KASHIWAZAKI%20KARIWA-6>.



poderia descartar *a priori* a energia nuclear como sendo muito demorada ou muito cara para contribuir significativamente na luta contra a mudança climática.

Embora existam muitos exemplos em todo o mundo de projetos de construção nuclear que progrediram bem, vários casos recentes apresentaram atrasos e aumento de custos significativos, ameaçando sua conclusão e minando o apetite por construir novas usinas nucleares. A World Nuclear Association estabeleceu uma força-tarefa para ajudar a comunidade nuclear mundial a aproveitar as lições aprendidas e contribuir para a percepção da energia nuclear entre formuladores de políticas, reguladores e sociedade civil. A força-tarefa buscou evidências das empresas membros da Associação e revisou a literatura sobre os resultados de megaprojetos e as conclusões dos órgãos reguladores, emitindo o relatório *Lesson Learning in Nuclear Construction Projects*<sup>16</sup>. Este relatório analisa projetos

**Geração elétrica nuclear tem um importante papel a desempenhar nas próximas décadas para garantir a segurança energética do País, contribuindo para o atendimento à demanda da base de carga do sistema**

recentes de construção de usinas nucleares para identificar boas práticas e lições aprendidas.

Desde o final do século passado, o Sistema Interligado Nacional passa por uma transição hidrotérmica<sup>17</sup>, demandando uma crescente contribuição de termelétricas para atendimento da demanda, simultaneamente a um significativo crescimento na contribuição da energia eólica, de natureza intermitente. Logo, a geração elétrica nuclear tem um importante papel a desempenhar nas próximas décadas para garantir a segurança energética do País, contribuindo para o atendimento à demanda da base de carga do sistema. Nesse contexto,

temos a usina nuclear Angra 3, com suas obras paralisadas desde 2015, requerendo soluções inovadoras em termos de modelo de negócios para sua conclusão. Logo, o aprendizado dessas boas práticas e de lições da indústria nuclear mundial será de suma importância para uma efetiva retomada do Programa Nuclear Brasileiro.

 CLASSIFICAÇÃO PARA ÍNDICE REMISSIVO:  
<CIÊNCIA & TECNOLOGIA>; Energia nuclear; Política nuclear;

16 WNA, *Lesson-learning in Nuclear Construction Projects*, abril de 2018, disponível em <http://www.world-nuclear.org/getattachment/e9c28f2a-a335-48a8-aa4f-525471a6795a/REPORT-Lesson-learning-in-Nuclear-Construction.pdf.aspx>.

17 Guimarães, L.S., “O Brasil e o desafio da transição hidrotérmica”, *Valor Econômico*, 6/9/2013, disponível em <http://www.valor.com.br/opiniaio/3261006/o-brasil-e-o-desafio-da-transicao-hidrotermica>.