



## REFLEXÕES SOBRE A IMPLANTAÇÃO DE USINAS NUCLEARES NO RIO SÃO FRANCISCO

**Anya Cabral**

Universidade Salvador, Brasil  
anyacabral@gmail.com

**Daniel Barbosa**

Universidade Salvador, Brasil  
daniel.barbosa@pro.unifacs.br

---

### RESUMO

No Nordeste, a geração hidrelétrica, concentrada em um pequeno trecho do rio São Francisco e pressionada por altas taxas de evapotranspiração e longas extensões sem afluentes, caracteriza-se por uma grande variabilidade das vazões ao longo do ano. Com a impossibilidade de aumentar a oferta por hidroeletricidade, a região tem suprido o incremento da demanda importando energia elétrica de outras regiões e aumentando a produção de energia térmica emissora de CO<sub>2</sub>. A crescente vulnerabilidade do sistema indica a necessidade de transições de energia, de modo a expandir a produção regional por outras fontes renováveis, além das térmicas convencionais. Contudo, essas fontes renováveis não geram energia de forma constante e as térmicas convencionais são grandes emissoras de Gases de Efeito Estufa. Nesse contexto, a energia termonuclear surge como uma possibilidade de geração de expressiva quantidade de energia firme que não emite CO<sub>2</sub>, no entanto a rejeição a esta tecnologia após o acidente nuclear de Fukushima tem provocado reações antinucleares nem sempre justificadas, quanto aos impactos da instalação de usinas nucleares no rio São Francisco. Este artigo constitui parte da dissertação intitulada PERSPECTIVAS E RESTRIÇÕES DA GERAÇÃO TERMONUCLEAR NO NORDESTE.

**Palavras-chave:** Geração termonuclear; Impactos ambientais; Rio São Francisco.

### ABSTRACT

In the Northeast the production of hydroelectric energy, that is concentrated in a small length of the San Francisco River, is subjected to wide variations due to the uneven pattern of rains and the intense evaporation over long term without affluency. Given the impossibility of increasing hydroelectric power the region brought energy from other regions and went to termic energy, in spite of its emmissions of CO<sub>2</sub>, as well as going for non conventional sources. However that all means loss of consistency and negative environmental effects. Thus, termonuclear appears as an alternative that cannot be discarded. The effect of Fukushima's accident weights on decisions that shall be viewed sooner or later.

**Keywords:** Termonuclear Generation; Environmental Effects; São Francisco River.

---

### 1 ANTECEDENTES

O aproveitamento da energia nuclear para produção de energia elétrica iniciou-se na década de 1950. Certos países, como a França, adotaram essa tecnologia nuclear como principal fonte para gerar eletricidade. Em 2013, a energia nuclear representou 73,3% da eletricidade produzida naquele país (RÉSEAU DE TRANSPORT D'ÉLECTRICITÉ, 2013). Em 2012, a participação da energia nuclear no cenário mundial de eletricidade foi de 19% (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2013). No Brasil, a geração de energia elétrica de origem

termonuclear foi de 16,4 TWh, que correspondeu a 2,7% da geração de energia elétrica total no mesmo período (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2014).

No país, a energia nuclear é produzida por duas únicas usinas localizadas na CNAAA (Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto) em Angra dos Reis, município do Estado do Rio de Janeiro, com potência instalada total de 1.990 MW (ELETRONUCLEAR, 2014). Todavia, em 2008, foi anunciado o Plano Nacional de Energia 2030, que previa a construção de pelo menos quatro novos empreendimentos nucleares com potência de 1.000 MW cada, dois no Nordeste e dois no Sudeste, além da conclusão de Angra 3, com 1.405 MW de potência. As usinas seriam construídas duas a duas e cada central teria capacidade de abrigar um total de seis reatores.

O acidente nuclear de Fukushima, ocorrido em março de 2011, adiou temporariamente o plano de construção de novas usinas, que atualmente se resume à conclusão de Angra 3, com entrada em operação anunciada para início de 2019. Entretanto, já foram elaborados estudos de localização para futuros empreendimentos (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2013). Esses estudos, realizados pela Eletronuclear em convênio com o Garta (Grupo de Análise de Risco Tecnológico e Ambiental) da Coppe/UFRJ e cooperação da EPE (Empresa de Pesquisa Energética), apontaram possíveis localizações, para a construção da central do Nordeste todas às margens do rio São Francisco, nos estados de Alagoas, Bahia, Sergipe e Pernambuco.

Os estudos preliminares seguiram a orientação do manual do EPRI (*Electric Power Research Institute*). Em 2012, foram anunciadas as microrregiões potenciais para a localização ótima de um empreendimento nuclear depois de realizada a primeira etapa para a escolha do sítio, onde foram utilizados critérios de exclusão e evitação, como ameaça sobre habitats e espécies importantes; áreas alagadas; existência de aquíferos e movimentos vibratórios dos solos. Uma vez definidas as áreas, serão utilizados critérios de adequação e determinação, entre outros com condicionantes econômicos (SOARES, 2014).

A Eletronuclear apontou que uma localização ótima poderia ser o Baixo São Francisco, entre Xingó e a foz, entre Alagoas e Sergipe (TRAVASSOS, 2007). A empresa considerou a equidistância dos dois maiores centros consumidores no Nordeste, Salvador e Recife; a proximidade da rede de transmissão elétrica; a operação com as hidroelétricas existentes; a disponibilidade de fonte fria; o acesso para grandes componentes e a baixa densidade populacional. Foram cogitadas outras localizações às margens do reservatório da usina de Luiz Gonzaga, na Bahia e em Pernambuco, no Sub-Médio São Francisco, que teriam a vantagem de menor densidade populacional (de 0,94 a 12,73 hab/km<sup>2</sup>), como Itacuruba, em Pernambuco e excluída a faixa litorânea em função da alta densidade populacional, existência de aquíferos, extensas áreas de proteção ambiental, oleodutos e solos sedimentares (ELETRONUCLEAR, 2014a).

Os Estudos foram encaminhados ao Ministério de Minas e Energia a quem cabe definir em que áreas serão elaborados o EIA/Rima (Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental) (ELETRONUCLEAR, 2014b). Porém, a decisão final da localização das novas usinas deverá ser definida por lei federal (BRASIL, 1988).

## 2 A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO NORDESTE

O subsistema Nordeste assim como o SIN (Sistema Interligado Nacional) é um sistema hidrotérmico de grande porte, com predominância de usinas hidroelétricas, mas com uma participação cada vez maior de térmicas convencionais. Dos 60.297 GWh gerados no Nordeste em 2013, 56,4% foram de origem hidráulica, 38,7% de térmicas convencionais e 4,9% de usinas eólicas (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2014).

A produção de energia hidroelétrica no Nordeste está concentrada em pequeno trecho do rio São Francisco, que vai de Sobradinho a Xingó. Localizadas entre o Sub-Médio e Baixo São Francisco, as usinas hidrelétricas de Sobradinho, Luiz Gonzaga (antiga Itaparica), Apolônio Sales (antiga Moxotó), Paulo Afonso I, II, II e IV, Piloto e Xingó têm, juntas, potência associada de 6.811.501 kW (CHESF, 2014), sendo a potência instalada de Xingó de 3.162.000 kW.

Situado, em grande parte na região do semiárido, o subsistema São Francisco sofre com a variabilidade pluviométrica e os limites de defluência em consideração ao controle das cheias. O potencial inventariado ainda não explorado na bacia é insuficiente para o atendimento da demanda de eletricidade<sup>1</sup>, sem contar com o crescimento de múltiplos usos do rio, em especial os usos consuntivos como irrigação e abastecimento urbano, que diminuem a disponibilidade de água para geração de energia (CARVALHO; GODIM FILHO; SUGAI, 2004) e sem mencionar a transposição do rio, em andamento.

A impossibilidade de aumentar a oferta por hidroeletricidade põe a região Nordeste sob duas condicionantes de maior importação de outras regiões – com os limites de intercâmbio regionais de 1.000 MW, do Sudeste para o Nordeste e de 3.300 MW, do Norte para o Nordeste (TOLMASQUIM, 2014) - e aumento da produção de energia térmica emissora de CO<sub>2</sub>. Este quadro de crescente vulnerabilidade indica a necessidade de expandir a produção regional por outras fontes de energia elétrica.

A busca por alternativas que provoquem menos impactos ambientais incentivou a instalação de parques eólicos no Nordeste. Contudo, além dos problemas relacionados ao atraso das linhas de transmissão<sup>2</sup>, a energia eólica tem limitações como a aleatoriedade dos ventos para o qual ainda não há estudos conclusivos que cubram períodos de vinte anos, que correspondem ao período operativo de um empreendimento eólico, assim com tampouco há estudos sobre os impactos dessa tecnologia no regime dos ventos, no longo prazo. Do mesmo modo que a eólica, outras fontes renováveis como a solar ou a biomassa têm surgido como opções à queima de combustíveis fósseis para gerar eletricidade mas, se do ponto de vista ambiental essas fontes auxiliam no controle da emissão de Gases de Efeito Estufa, nenhuma delas gera energia de forma constante. O uso de fontes alternativas como o hidrogênio em células de combustível produzido seja a partir da reforma do

---

<sup>1</sup> Encontram-se em fase de licenciamento pelo Ibama as usinas de Riacho Seco (290 MW); Pedra Branca (320 MW) e Pão de Açúcar (240 MW), incluídas no PAC 1 (Programa de Aceleração do Crescimento).

<sup>2</sup> Que está sendo regularizada aos poucos.

etanol ou do gás natural ou pela eletrólise da água usando a energia hidrelétrica não utilizada fora das horas de pico (CHESF, 2014), ainda encontra-se em estudo e longe de alcançar escala comercial.

### 3 A POLÊMICA SOBRE ENERGIA NUCLEAR

Uma das fontes cogitadas para diminuir a vulnerabilidade do sistema elétrico e que não contribui para o efeito estufa é a energia nuclear. Por suas características, a energia nuclear, apesar de térmica gera energia firme e não emite CO<sub>2</sub> no processo de geração de energia (SCOTT, 2013). Levando em conta todo o ciclo de vida a energia termonuclear gera entre 10g e 50g de CO<sub>2</sub>e/kWh, um pouco menos do que o ciclo da energia eólica e muito inferior às emissões das térmicas a combustíveis fósseis, como carvão (950g de CO<sub>2</sub>e/kWh) ou gás natural (450g de CO<sub>2</sub>e/kWh) (CABRAL, 2009).

As usinas nucleares contribuem para a segurança do sistema elétrico por não estarem sujeitas às incertezas de chuvas, atendendo diretamente a carga, sem necessidade de regularização ou complementação (CASTRO; BRANDÃO; DANTAS, 2010) e por tratar-se de uma fonte de base confiável, que pode operar a plena potência por longos períodos de até dois anos (ATALLA, 2011). Além do mais, o Brasil possui a sétima reserva mundial de urânio (U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) com 309.000 toneladas e domina o ciclo do combustível nuclear, o que assegura o abastecimento em combustível de novas usinas nucleares (YAMAMOTO, 2012; MARIZ, 2012).

A principal vantagem do urânio como fonte de energia é sua alta concentração energética. Um quilo de urânio natural ou vinte cinco gramas de urânio enriquecido, que correspondem a vinte toneladas de carvão ou dez toneladas de petróleo, produzem 50.000 kWh (INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, 2012). Como o preço do combustível é um componente importante no cálculo do custo da energia elétrica, ao contrário de outras térmicas a diesel, gás natural ou carvão, o preço do urânio não tem tanto peso na composição do custo da eletricidade, uma vez que o percentual do custo do urânio em relação ao custo total de produção não ultrapassa os 4% (ATALLA, 2011). Uma duplicação do preço do urânio levemente enriquecido aumentaria em 10% o custo da energia elétrica enquanto que uma duplicação do preço do gás natural incorreria em um aumento de 80% no custo da eletricidade (SILVA, 2007).

Outra vantagem nada desprezível é a área requerida para um empreendimento termonuclear em relação à área necessária para gerar energia elétrica por outras fontes. A CNAEA, onde estão localizadas três usinas nucleares (duas em operação e uma em construção) com capacidade instalada de aproximadamente, 3.400 MW, ocupa uma área de 12,5 km<sup>2</sup>, mas a Central do Nordeste, que comportaria seis usinas com capacidade instalada de 6.600 MW, ocuparia uma área de aproximadamente 5 km<sup>2</sup> (ATALLA, 2012), enquanto os reservatórios das hidrelétricas do sistema hidrelétrico no Sub-Médio e Baixo São Francisco ocupam uma área – nas cotas – de 5.218,5 km<sup>2</sup> (CHESF, 2014) e, não obstante 80,8% da área seja ocupada apenas pelo lago de Sobradinho, o volume de água de 34.116 Hm<sup>3</sup> do reservatório é imprescindível para a regularização das vazões do rio e para viabilizar o sistema hidrelétrico do São Francisco.

As maiores preocupações com relação à energia nuclear estão associadas ao armazenamento de resíduos radiativos e à não-proliferação de armas nucleares, mas também discute-se a segurança dos reatores a riscos de acidentes que liberem grande quantidade de radioatividade como ocorrido em Chernobyl e em Fukushima, assim como os altos custos de instalação, que aumentam com a implementação de novos sistemas de segurança. Estima-se em aproximadamente dez bilhões de reais o custo de instalação de uma usina nuclear de 1.000 MW de potência, a preços de 2014 (ELETRONUCLEAR, 2014).

No Brasil não há rejeitos sólidos de alta atividade, apenas de baixa e média atividade, oriundos tanto da geração term nuclear quanto da medicina nuclear, agricultura e indústria. A depender de sua atividade eles são descartados ou acondicionados em tambores; compactados, incinerados, cortados ou fragmentados; encapsulados e imobilizados; e confinados pelo tempo necessário ao seu decaimento até que tenham se tornado inócuos, em níveis permitidos para descarte (VICENTE, 2010). A geração de rejeitos sólidos de baixa e média atividade em Angra 2 é 21m<sup>3</sup> por ano (ELETRONUCLEAR, 2014).

O combustível nuclear exaurido – de alta atividade - das usinas nucleares é acondicionado em piscinas que se encontram dentro das instalações e que têm capacidade de armazenar o combustível utilizado durante a vida útil do empreendimento. As piscinas têm como função resfriar os elementos combustíveis retirando o calor residual para serem reprocessados ou armazenados definitivamente. O único depósito definitivo no Brasil encontra-se em Abadia de Goiás. O depósito abriga quatro mil toneladas de rejeitos com atividade de 40 TBq gerados durante o processo de descontaminação do acidente radiológico de Goiânia, em 1987 (HIROMOTO, 2014).

Às controvérsias, que estão longe de serem superadas, soma-se uma distorção na percepção dos riscos, devido à associação da tecnologia nuclear aos usos bélicos e a grandes acidentes nucleares, como Chernobyl e Fukushima. Estima-se que essa percepção dos riscos seja o fator primordial da rejeição pública da sociedade civil à tecnologia nuclear e a principal barreira que impede seu desenvolvimento no país como fonte de energia elétrica.

Essa rejeição foi agravada pelo acidente nuclear de Fukushima, em março de 2011, que engrenou uma série de manifestações contra a construção de usinas nucleares inclusive na região do São Francisco, como a Caravana Antinuclear em 2011 e a Marcha das Águas com o tema: Não queremos usina nuclear em Pernambuco, no Nordeste e no Brasil, em 2012 (WHITAKER, 2012). As iniciativas partiram de organizações nacionais e internacionais que, por motivações diversas mobilizaram a população local contra a construção das usinas. Já os órgãos e empresas ligadas ao setor se empenham na difusão da tecnologia nuclear para tentar diminuir a rejeição, minimizando os efeitos negativos da energia nuclear e dando ênfase às vantagens do uso dessa tecnologia (CABRAL, 2012).

A rejeição antinuclear no Sub-Médio São Francisco origina-se do temor da população, inclusive comunidades indígenas, de ser novamente deslocada como ocorreu na ocasião da construção da barragem de Itaparica (hoje, Luiz Gonzaga) e que gerou uma mobilização da população da região frente à desocupação das

áreas inundadas, que atingiu 10.400 famílias (ARAÚJO, 1991). A instalação de usinas nucleares na região representa uma nova intervenção do Estado com poder de desestabilizar a sociedade local, não em função da desocupação de áreas inundadas, mas pelo risco de desocupação em decorrência a um acidente radioativo (CABRAL, 2012).

#### 4 IMPACTOS AMBIENTAIS DA OPERAÇÃO DE USINAS NUCLEARES

Apesar dos riscos de acidentes inerentes a essa tecnologia, que não podem ser negligenciados, pouco se comenta sobre os impactos ambientais de uma usina nuclear em funcionamento normal.

A operação normal de usinas nucleares gera efluentes líquidos e gasosos, químicos e radioativos (além de rejeitos sólidos e combustível queimado de alta atividade), originários de diferentes atividades, como manutenções, descontaminações, desativação de circuitos e mudanças na potência do reator. Em reatores refrigerados a água, como os PWRs, os efluentes gasosos radioativos são gerados, basicamente, no reservatório de controle dos degaseificadores da cadeia de reciclagem do boro, enquanto que os líquidos resultam da filtragem de água do circuito primário. Os principais contaminantes são gases nobres, como o Xenônio (Xe) e o Kriptônio (Kr), outros produtos de fissão como o Césio 137 ( $^{137}\text{Cs}$ ), o Estrôncio 90 ( $^{90}\text{Sr}$ ) e o Trítio ( $^3\text{H}$ ), além de produtos de corrosão, como Ferro (Fe), Cobalto (Co) e Manganês (Mn) (RADUAN, 1994). Esses efluentes são coletados, estocados e tratados, quando possível, e posteriormente descartados no ambiente, obedecendo os limites impostos pela legislação.

Dentre os elementos radioativos destacam-se o trítio ( $^3\text{H}$ ), isótopo radioativo do hidrogênio, que emite radiação  $\beta$  (beta), com meia-vida de 12,3 anos, sem radiação gama associada; e o carbono 14 ( $^{14}\text{C}$ ), emissor  $\beta$ , com meia-vida de 5.730 anos, ambos metabolizados pelos organismos vivos (SANCHES, 2001). Também a se considerar, outras substâncias químicas associadas a elementos radioativos como ácido bórico, hidrazinas, morfina, fosfatos ou não associadas utilizadas nos tratamentos anti-incrustantes e biocidas (ELECTRICITÉ DE FRANCE, 2011).

No Brasil, os efluentes líquidos das usinas da CNAEA são lançados ao mar, permitindo uma diluição que minimiza seus impactos enquanto os efluentes gasosos, são lançados por chaminés. Mas se os impactos dos efluentes são menos significativos quando lançados ao mar, esses impactos são maiores quando lançados em águas represadas e fluviais como as do rio São Francisco, agravados em situações de baixa afluência.

Os limites da atividade de emissão de efluentes gasosos são determinados pela regulamentação de cada país. No Canadá, por exemplo, os limites variam para cada central nuclear. A atividade máxima da emissão gasosa de trítio vai de 130.000 TBq na central de Bruce-A a 440.000 TBq na central de Gentilly-2 e de Carbono-14 de 1.000 TBq em Bruce-A a 6.300 TBq em Pickering-A e Pickering-B. Esses limites anuais, são calculados em função da dose limite de 1mSv/ano, para a população em geral (COMMISSION CANADIENNE DE SURETÉ NUCLÉAIRE, 2012). Na França, os limites são estabelecidos por regulamentação, válidos para todos os reatores de um mesmo tipo e potência (GUIMARÃES, 2012).

No Brasil, a Eletronuclear obedece as normas e diretrizes da Feema e do Procon Água e a Resolução Conama 20, em seu artigo 20 (ELETRONUCLEAR, 2006), mas na Bahia, o decreto nº 14.024, que regula a Lei 11.612 de 8 de outubro de 2009, não relaciona essas substâncias ( $^{14}\text{C}$  e  $^3\text{H}$ ) entre os poluentes (BAHIA, 2012). A Eletronuclear também segue normas de segurança internacionais limitando em 160 TBq a atividade do trítio e 2,2 TBq a de emissores  $\beta - \gamma$  nos efluentes líquidos, baseado nos valores emitidos pelas centrais nucleares na França em 1989. A empresa estima que uma central nuclear com quatro reatores de 1.300MWe lance no ambiente apenas 45% do valor limite para o trítio e 6,5% para os radionuclídeos diferentes do trítio a exceção do potássio ( $^{40}\text{K}$ ) e rádio ( $^{226}\text{Ra}$ ) (GUIMARÃES, 2012).

Seriam necessários estudos para aprofundar quais os impactos da emissão desses elementos na atmosfera, no curso de água e nas águas represadas, para o meio físico e biótico, e na saúde em um rio de usos múltiplos, que incluem irrigação, dessedentarização, pesca, e abastecimento urbano, e quais os limites aceitáveis, considerando as condições do local anteriores à instalação da usina e adaptar a regulamentação da emissão de radioelementos específicos à atividade nucleoeleétrica.

Outro impacto nada desprezível é o aquecimento da água, em razão da liberação da água de resfriamento do reator, que a depender da temperatura ambiente, é expressivo. Na CNAEA, a descarga da água de resfriamento de Angra 1 e Angra 2 provoca um aumento da temperatura do mar em até 9°C no verão (ELETRONUCLEAR, 2006). Esse impacto pode ser minimizado com a adoção de torres de resfriamento, em circuito fechado, que reduziria a vazão de descarga de 65m<sup>3</sup>/s para aproximadamente 6m<sup>3</sup>/s. Esse sistema diminuiria o impacto na temperatura da água, no entanto, também diminuiria a eficiência energética do reator, que depende da temperatura da água de captação, além de elevar os custos de geração.

Na França, a regulamentação estabelece limites de variação de temperatura de descarga (depois da zona de mistura) que não podem ultrapassar 3°C<sup>3</sup> e limites para a temperatura da água em 28°C, obrigando a usinas nucleares com circuito aberto de resfriamento a parar durante os períodos mais quentes (GUIMARÃES, 2010). No Brasil, a Resolução nº 430 do Conama limita a variação da temperatura do corpo receptor no limite da zona de mistura em 3°C e a temperatura de descarga em 40°C (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2011).

A adoção de torres de resfriamento reduz o impacto do aquecimento da água, mas eleva a emissão de efluentes gasosos químicos no processo de evaporação. Esse vapor emitido pode, por sua vez, mudar alguns aspectos do clima, modificando o regime dos ventos de baixa velocidade e favorecendo a formação de neblina, diminuindo conseqüentemente a radiação térmica (GUIMARÃES, 2012). O aquecimento da água não é um impacto exclusivo de usinas nucleares. As demais usinas térmicas com ciclo convencional de vapor provocam os mesmos impactos de aquecimento da água. Com eficiência térmica de cerca de 30%, o restante do calor é devolvido ao ambiente, seja em forma de vapor ou líquida.

---

<sup>3</sup> Para rios salmonídeos, a variação permitida do aquecimento é inferior a 1,5°C.

No que concerne ao São Francisco, mesmo optando por torres de resfriamento, há de ser considerado o impacto no meio físico e no meio biótico das águas represadas do Sub-Médio e Baixo São Francisco quando o nível dos reservatórios estiver baixo, ou – no caso da localização de usinas a jusante do reservatório de Xingó - com a defluência reduzida.

## 5 ÁGUA ENERGIA E SEGURANÇA

A primeira condição para manter a segurança de uma usina nuclear em operação é a disponibilidade de água em abundância. A falta de água para o resfriamento do reator é a principal causa de desastres nucleares. O volume de água necessário para o resfriamento de uma usina nuclear do tipo PWR, em circuito aberto é de aproximadamente  $50 \text{ m}^3/\text{s}^4$  ( $1.000.000.000 \text{ m}^3/\text{ano}$ ), já em circuito fechado com torre de resfriamento esse volume cai para  $6 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $300.000 \text{ m}^3/\text{ano}$ ) (VICAUD, 2007). Admitindo o plano de construção de seis usinas nucleares em cada central, a demanda de água passaria a  $300 \text{ m}^3/\text{s}$ , em circuito aberto e  $36 \text{ m}^3/\text{s}$  (em circuito fechado). Em situações de baixo nível dos reservatórios, a depender da localização, questiona-se se haveria água suficiente para garantir a segurança das seis usinas nucleares da central do Nordeste.

O baixo volume do rio São Francisco em 2014 e a prioridade para o abastecimento humano e dessedentação de animais, em detrimento de outros usos, preconizado pela Lei nº 9.433/97, permite a redução da vazão do rio, como ocorreu nesse ano, quando a ANA (Agência Nacional de Águas) reduziu a descarga mínima defluente dos reservatórios de Sobradinho e Xingó, para  $1.100 \text{ m}^3/\text{s}$  com a conseqüente queda na geração de energia hidrelétrica (CHESF, 2014). Todavia, se é possível adaptar a geração de energia hidrelétrica à oferta de água isso não ocorre na geração nuclear. A usina nuclear gera de forma constante e só é desligada para manutenção, em caso de acidentes ou incidentes que coloquem em risco a segurança, ou em paradas para recarga de combustível. Mesmo desligada, a usina nuclear demanda água para o resfriamento do núcleo e das piscinas de combustível usado.

Segundo Vicaud (2007) para usinas nucleares do tipo PWR, a demanda de água para resfriamento é de  $160 \text{ l/kWh}$ , ou  $160.000.000 \text{ l/GWh}$  em circuitos abertos e de  $6 \text{ l/kWh}$  ( $6.000.000 \text{ l/GWh}$ ) em circuitos fechados. Enquanto que nos circuitos abertos não há evaporação, em circuitos fechados ela é de  $2 \text{ l/kWh}$  ( $2.000.000 \text{ l/GWh}$ ). Em 2013, Angra 1 e Angra 2 geraram  $15.449,69 \text{ GWh}$ , consumindo dois trilhões, quatrocentos e setenta e um bilhões, novecentos e cinquenta milhões e quatrocentos mil litros de água ( $2.471.950.400.000 \text{ l}$  ou  $2.471.950.400 \text{ m}^3$ ).

A segunda condição para manter a segurança de uma nuclear é dispor de fornecimento constante de eletricidade. De fonte externa ou alternativa, a eletricidade é indispensável para dar início à operação, para o funcionamento, desligamento e manutenção da segurança da usina enquanto estiver desligada (SANTOS,

---

<sup>4</sup> Na CNAAA a vazão volumétrica de captação da água do mar em Angra 1 é de  $38,53 \text{ m}^3/\text{s}$  e a vazão mássica de captação em Angra 2 é de  $3.704 \text{ t/h}$  (ELETRONUCLEAR, 2006).



2014). Um blecaute da fonte externa pode resultar no desligamento do reator e acionamento de sistemas auxiliares, normalmente motores a diesel, que são limitados pela disponibilidade de combustível. Uma interrupção no fornecimento de energia com duração superior à capacidade de prover energia elétrica de fontes alternativas pode colocar em risco a integridade do reator e, em caso de acidente com liberação de radioatividade, resultar no isolamento da área. Quais as consequências se na área a ser isolada se encontrasse uma importante hidrelétrica para o sistema, como Xingó?

## 6 USINAS NUCLEARES: RISCO DE EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO

Há controvérsias sobre o impacto da radioatividade emanada pelos efluentes de uma usina nuclear, pois os efeitos da radioatividade no longo prazo e em baixas doses são estocásticos, isto é, não há uma relação direta entre causa (exposição à radiação) e efeitos (câncer, mutações genéticas), apenas uma relação probabilística o que dificulta mensurar os verdadeiros impactos sobre a população circunvizinha.

Os efeitos da radioatividade no corpo humano ocorrem quando a radiação ionizante interage com o tecido vivo podendo provocar modificação na estrutura das moléculas. A gravidade desses efeitos está relacionada com o tipo de radiação (alfa, beta e gama), com a dose absorvida, com a taxa de absorção, com o tipo de exposição (interna ou externa) e com a radio-sensibilidade dos tecidos. (AZEVEDO, [200-?]; CABRAL, 2012).

O temor dos riscos de contaminação radiativa incide apenas em certos usos da energia nuclear como a energia nucleoe elétrica, os testes nucleares e o ciclo do combustível. No entanto, as fontes naturais são responsáveis pela maior parte da dose de radiação recebida pela população.

A dose individual média decorrente de fontes naturais representa 70%, enquanto a radiação resultante de fontes artificiais representa 30% da dose individual média de radiação recebida, das quais 0,006% referente à produção nucleoe elétrica ( $0,0002\text{mSv}^5$ ), 29,3% de diagnóstico médico (1,0 mSv), 0,06% ocupacional (0,002mSv) e 0,3% de explosões nucleares (0,1 mSv) (CABRAL, 2012).

Mesmo assim, a monitoração radiológica é necessária para detectar alterações anormais de radioatividade. No Rio de Janeiro, a Eletronuclear desenvolve de um programa de monitoração ambiental permanente desde 1978 e dispõe de um Laboratório de Monitoração Ambiental, acompanhando os níveis de radiação nas regiões mais próximas da CNAEA, para o qual são coletadas regularmente amostras de água de chuva e ar e de ambiente marinho e terrestre cujos resultados, após análises laboratoriais, são comparados com os resultados do período pré-operacional de Angra 1.

---

<sup>5</sup> O Sievert é uma unidade de grandeza de dose equivalente. Corresponde ao antigo (rem) *roentgen equivalente man*. 1 rem corresponde a  $10^{-2}\text{Sv}$ .

O diagnóstico radiológico pré-operacional é de fundamental importância para avaliar os impactos de uma instalação nuclear, que variam segundo as condições do local. Em Caetité, a INB é constantemente culpabilizada pela contaminação radiativa da água, em função da exploração de urânio. As cidades de Caetité e Lagoa Real encontram-se em uma região uranífera, onde são constatados índices de radioatividade mais altos que a média brasileira e, como uma análise radiológica pré-operacional não foi realizada, não há como provar se as alterações nos níveis de radioatividade decorrem da atividade da mineração ou das condições naturais da região.

## 7 ENERGIA NUCLEAR E DESENVOLVIMENTO

A instalação de usinas nucleares gera não só impactos sobre o meio biótico mas, também, impactos no meio socioeconômico. Para Atalla (2011), a construção de usinas nucleares causa grande impacto econômico, podendo alavancar o desenvolvimento regional.

A construção de uma usina nuclear - assim como de qualquer obra de grande porte - cria um grande número provisório de postos de trabalho. Segundo Costa (2012) foram empregados onze mil trabalhadores no pico da obra de Angra 1 e estima-se em nove mil postos de trabalho e vinte mil empregos indiretos para a construção de Angra 3 (MARIZ et al., 2012). Na fase de operação uma usina do porte de Angra esse número cai para quinhentos postos de trabalho diretos e mil e quinhentos indiretos (GOVERNO DO RIO DE JANEIRO, 2014).

A explosão demográfica advinda da migração de trabalhadores provocará um aumento da pressão sobre os serviços de infraestrutura de saúde, transportes, educação e segurança pública, que precisam ser previamente estimados para equacionar seus efeitos. É certo que com a instalação de usinas nucleares, verificam-se também impactos positivos como a variação na arrecadação tributária, o desenvolvimento tecnológico e a variação de massa salarial, além de compensações socioambientais.

No Rio de Janeiro, o licenciamento ambiental e a licença de instalação de Angra 3 esteve condicionada ao cumprimento de compensações socioambientais em três municípios de influência do empreendimento: Rio Claro, Paraty e Angra dos Reis. Por meio de convênios, a Eletronuclear destinou recursos que estão sendo aplicados durante a construção da usina, em projetos de saúde, educação, saúde, defesa civil, ação social, saneamento, cultura e meio ambiente, com impacto direto sobre a população local. Caso sejam construídas usinas nucleares no São Francisco, caberia à população local, representada pelo poder municipal, decidir quais os projetos prioritários para a região.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia termonuclear é sem dúvida uma alternativa para diminuir a vulnerabilidade do sistema elétrico e do subsistema Nordeste. Ocupando uma pequena área, uma usina nuclear é capaz de gerar uma grande quantidade de energia, sem contribuir com o aumento do efeito estufa. Sem embargo, esta tecnologia tem sido estigmatizada pelo temor de um acidente nuclear, que pese a pouca probabilidade de ocorrer, existe, como foi possível constatar em Fukushima e pela associação dessa tecnologia às bombas nucleares.

Os sistemas de segurança das usinas nucleares garantem a integridade do reator desde que existam disponibilidade de água em abundância para o resfriamento – no caso de reatores refrigerados a água – e sistemas alternativos de energia. A baixa densidade populacional das áreas cogitadas para a construção de empreendimentos nucleares às margens do São Francisco contribui para uma rápida evacuação da zona de exclusão, caso necessária. Para tanto, é mister que se criem medidas para evitar a explosão demográfica provocada pela construção de grandes empreendimentos, impossibilitando ou reduzindo a urbanização no entorno da central.

A geração de energia de qualquer fonte causa impactos ambientais e socioeconômicos, A crescente demanda de eletricidade no Nordeste obriga a ampliação da geração de energia inflexível, limitando a escolha entre as termoelétricas convencionais – altamente poluentes - e as termonucleares e seus inconvenientes radioativos. Porém, a fragilidade do meio biótico da bacia do rio São Francisco e os crescentes usos consuntivos das águas do rio alertam, de um lado, para a disponibilidade, no longo prazo, de água para resfriamento dos reatores, condição essencial para garantir a segurança de uma usina nuclear e, do outro, para os impactos dos efluentes, sobretudo líquidos, nas águas do rio.

Apesar da decisão final concernente à construção e localização de usinas nucleares ser da competência do Congresso, é preciso que a população local se antecipe e esteja apta para julgar se a instalação de usinas nucleares às margens do São Francisco é conveniente para a região, considerando as vantagens econômicas e para o sistema elétrico, os impactos principalmente ambientais no São Francisco e avaliando a aceitação dos riscos nucleares. Para isso, é vital a realização de pesquisas independentes que permitam à sociedade interpretar os diferentes discursos pró e contra energia nuclear e verificar se a regulamentação vigente é adequada para garantir que os impactos da usina permaneçam em níveis admissíveis.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, M. L. C. de. Adaptação e resistência em Itaparica. **Cadernos de Estudos Sociais**. v. 7, n.2, p. 167-186, jul-dez, 1991. Recife: Fundaj, 1991.

ATALLA, D.. **Energia nuclear no Plano Nacional de Energia 2030 e no Plano Decenal** – atualização das etapas. Rio de Janeiro: Eletronuclear, 2012.

\_\_\_\_\_. **Energia nuclear. Vantagens competitivas**. Rio de Janeiro: Eletronuclear, 2011.

AZEVEDO, A. C. P. de. **Radioproteção em serviços de saúde**. Rio de Janeiro: Fiocruz, [200-?].

BAHIA. Decreto nº 14024 de 06/06/2012. Aprova o Regulamento da Lei nº 10.431, de 20 de dezembro de 2006, que instituiu a Política de Meio Ambiente e de Proteção à Biodiversidade do Estado da Bahia, e da Lei nº 11.612, de 08 de outubro de 2009, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial do Estado da Bahia**. Publicado em 7 de junho de 2012.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constitui%C3%A7ao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constitui%C3%A7ao.htm)>. Acesso em: 15 jul. 2014.

\_\_\_\_\_. Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**. Publicado em 9 de janeiro de 1997.

CABRAL, A.. **Energia nuclear para o Brasil**. Monografia de graduação. Salvador: Unifacs, 2009.

\_\_\_\_\_. **Rumo a uma nova percepção dos riscos nucleares no Brasil: questões estratégicas e implicações de política**. Dissertação de mestrado. Cachoeira: UFRB, 2012.

CARVALHO, C. E. C.; GODIM FILHO, J.; SUGAI, M. R. V. B.. **Aproveitamento do potencial hidráulico para a geração de energia elétrica na bacia do rio São Francisco**. Brasília: ANA/GEF/PUNUMA/OEA, 2004.

CASTRO, N.; BRANDÃO, R.; DANTAS, G.. **Considerações sobre a ampliação da geração complementar ao parque hídrico brasileiro**. Rio de Janeiro: Gesel/UFRJ, 2010.

CAVALCANTI, A. J. C. T.. **Estudos de inventário hidrelétrico da região do Baixo Rio São Francisco – AHE Pão de Açúcar**. Recife: CHESF, 2011.

CHESF. **Dados técnicos do rio São Francisco**. Recife: CHESF, 2008.

\_\_\_\_\_. **Redução temporária da vazão mínima do rio São Francisco para 1.100m<sup>3</sup>/s a partir da UHE Sobradinho**. Recife: CHESF, 2014.

\_\_\_\_\_. **Sistema de geração**. Disponível em: <[http://www.chesf.gov.br/portal/page/portal/chesf\\_portal/paginas/sistema\\_chesf/sistema\\_chesf\\_geracao/contneiner\\_geracao?p\\_name=8A2EEABD3C01D002E0430A803301D002](http://www.chesf.gov.br/portal/page/portal/chesf_portal/paginas/sistema_chesf/sistema_chesf_geracao/contneiner_geracao?p_name=8A2EEABD3C01D002E0430A803301D002)>. Acesso em 15 jun. 2014.

COMMISSION CANADIENNE DE SURETÉ NUCLÉAIRE. **Données sur les rejets radioactifs des centrales nucléaires canadiennes de 2001 a 2010**. Ontario: CCSN, 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução Conama nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Diário Oficial da União**. Brasília, 16 de maio de 2011.

COSTA, H.S.. Impacto de uma usina nuclear. In: In: MARIZ, C. H. da Costa et al.. **Energia nuclear: prós e contras**. Salvador: UFBA/Unifacs, 2012.

ELECTRICITÉ DE FRANCE. **Les rejets radioactifs des réacteurs nucléaires de production d'électricité et leur impact environnemental**. Paris: SFEN, 2011.

ELETRONUCLEAR. **Estudo de Impactos Ambientais - EIA da Unidade 3 da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto**. 2006. Disponível em: <<http://www.eletronuclear.gov.br/hotsites/eia/>>. Acesso em: 18 jun. 2014.

\_\_\_\_\_. **Central nuclear de Angra dos Reis**. 2014b. Disponível em: <<http://www.eletronuclear.gov.br/AEmpresa/CentralNuclear.aspx>>. Acesso em: 11 jun. 2014.

\_\_\_\_\_. **Novas usinas nucleares**. 2014a. Disponível em: <<http://www.eletronuclear.gov.br/Saibamais/Perguntasfrequentes/Novasusinasnucleares.aspx>>. Acesso em: 11 jun. 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2022**. Brasília: MME/EPE, 2013

GOVERNO DO RIO DE JANEIRO. Informação pública. **Apoio ao empreendimento Angra 3 do Governo Federal**. Disponível em: < <http://www.rj.gov.br/web/informacaopublica/exibeconteudo?article-id=1041369>>. Acesso em: 10 ago. 2014.

GUIMARÃES, L. dos S.. **Segurança de sítios nucleares**. Rio de Janeiro: ABDAN, 2010.

HIROMOTO, G.. Rejeitos radioativos. In: **Décimo Quarto Encontro Técnico da ASEC**. São Paulo: IPEN, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Informações e análises da economia brasileira**. 7ª edição. Brasília: IBRAM, 2012.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Nuclear Power Reactor in the World**. 2013 Edition. Vienna: IAEA, 2013.

MARIZ, C. H. da C.. Energia elétrica e usinas nucleares no Nordeste. In: MARIZ, C. H. da Costa et al.. **Energia nuclear: prós e contras**. Salvador: UFBA/Unifacs, 2012.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Geração de energia**. disponível em: < [http://www.ons.org.br/historico/geracao\\_energia.aspx](http://www.ons.org.br/historico/geracao_energia.aspx)>. Acesso em: 10 jul. 2014.

RADUAN, R. N.. **Requisitos ambientais para disposição final de rejeitos radioativos em repositórios de superfície**. Dissertação de mestrado. São Paulo: USP, 1994.

RÉSEAU DE TRANSPORT D'ÉLECTRICITÉ. **Bilan électrique 2013**. Paris: RTE, 2014.

SANCHES, M. P.. **Fundamentos de radioproteção**. Conceitos básicos. São Paulo: IPEN, 2001.

SANTOS, R. L. P. dos. **A energia nuclear no sistema elétrico brasileiro**. Rio de Janeiro: Coppe/UFRJ, 2014.

SCOTT, D. S. Nuclear energy, climate, hidricity, radiation and foolish mythologies. **Energy Strategy Reviews**. v.1, n. 4, maio 2013, p. 272-276, 2013.

SILVA, H. T.. Energia nuclear: uma opção de futuro para Chile? Ingeniare. **Revista chilena de ingeniería**. v.15, n.2, p. 118-120. Arica: Universidad de Tarapacá, 2007.

TOLMASQUIM, M.. **Planejamento energético brasileiro**. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

VICAUD, A.. **Les besoins d'eau de refroidissement des centrales termiques de production d'électricité**. Paris: EDF, 2007.

VICENTE, R.. Há solução para o problema dos rejeitos radiativos? Minicurso. In: **II Workshop International ENUMAS 2010**. Campinas : Nipe/Unicamp, 2010.

WHITAKER, C. (org.). **Por um Brasil livre de usinas nucleares**. Por que e como resistir ao lobby nuclear. São Paulo: Paulinas, 2012.

YAMAMOTO, R. K. O ciclo do combustível nuclear. In: **III Workshop Internacional Enumas 2012**. Campinas: NIPE/Unicamp, 2012.