

A MATRIZ ELÉTRICA NO ESTADO DO PARÁ E SEU POSICIONAMENTO NA PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Fabrício Quadros Borges*

Déslrée Moraes Zouain**

O objetivo deste trabalho é analisar o posicionamento estratégico da matriz elétrica do Pará na promoção do desenvolvimento sustentável no estado, tendo em vista que a segurança energética e as questões ambientais são determinantes em termos de competitividade. Neste sentido, o estudo pretende questionar quais transformações a matriz elétrica paraense deve sofrer para favorecer o desenvolvimento sustentável no estado. O estudo apresenta uma proposta de matriz elétrica para 2020, baseada nos resultados fornecidos por equações matemáticas quanto à proporcionalidade de participação de cada fonte de geração de eletricidade. A nova matriz ainda se caracterizaria por ser de base hídrica, porém se propõe uma participação atuante das fontes da biomassa e solar.

Palavras-chave: Matriz Elétrica; Desenvolvimento Sustentável; Fontes de Energia; Meio Ambiente; Estado do Pará.

MATRIX POWER IN THE STATE OF PARÁ AND ITS POSITION IN THE PROMOTION OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

The purpose of this study is to analyze the strategic positioning of the energy matrix of Para State in promoting sustainable development in the State, where energy security and environmental issues are crucial in terms of competitiveness. In this sense, this study intends to ask what changes can be done in the Para State energy matrix to encourage sustainable development in the region. The study contributes to the modification of the energy matrix positioning of the Para State through a proposed electricity matrix for 2020, based on results provided by mathematical equations as the proportionality of participation of each source of electricity generation in the State. The new matrix is characterized by being water-based, but proposes an active involvement of the biomass and solar energy sources.

Key words: Electrical Matrix; Sustainable Development; Energy Sources; Environment; Para State (Brazil).

POWER MATRICE DANS L'ÉTAT DU PARÁ ET SA POSITION DANS LA PROMOTION DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Le but de cette étude est d'analyser le positionnement stratégique de la matrice énergétique de l'État du Para (Brésil), à la promotion du développement durable dans l'État, où la sécurité énergétique et les questions environnementales sont cruciales en termes de compétitivité. En ce sens, cette étude se propose de demander à ce que les changements de la matrice énergétique de l'État du Para doit souffrir avec l'intention d'améliorer leur position par la promotion du développement durable dans la région.

*. Professor de desenvolvimento ambiental do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Pará. e-mail: doctorborges@bol.com.br

** . Professora de tecnologia nuclear e gestão de tecnologia e inovação da Universidade de São Paulo (USP), e-mail: doctorborges@bol.com.br

Enfin, l'étude contribue à la modification de la stratégie de la matrice énergétique de l'État du Para à travers d'une matrice électrique proposée pour 2020, fondées sur les résultats fournis par les équations mathématiques comme la proportionnalité de la participation de chaque source de production d'électricité dans l'État. Le nouveau tableau est caractérisés par leur base d'eau, mais propose une participation active des sources de biomasse et le solaire.

Mots-clés: Matrice Électrique; Développement Durable; Sources d'Énergie; Environnement; État du Para (Brésil).

MATRIX DE ENERGÍA EN EL ESTADO DE Y PARÁ SU POSICIÓN EM LA PROMOCIÓN DEL DASARROLLO SOSTENIBLE

El propósito de este estudio es analizar el posicionamiento estratégico de la matriz energética de Pará en la promoción del desarrollo sostenible en el estado, donde la seguridad energética y el medio ambiente son fundamentales en términos de competitividad. En este sentido, este estudio se propone solicitar a los cambios que la matriz energética Para que sufrir la intención de mejorar su posición en la intención de fomentar el desarrollo sostenible en el estado. El estudio contribuye a la modificación de la situación energética de Pará electricidad a través de una matriz propuesta para el año 2020, con base en los resultados proporcionados por las ecuaciones matemáticas como la proporcionalidad de participación de cada fuente de generación de electricidad en el estado. La nueva matriz también se caracteriza por ser a base de agua, sino que propone una participación activa de las fuentes de biomasa y solar.

Palabras-clave: El Poder de Matrix; El Desarrollo Sostenible; Fuentes de Energía; De Medio Ambiente; El Estado de Pará

1 INTRODUÇÃO

A matriz elétrica compreende a disposição futura, de modo quantificado e ordenado, das diversas formas de geração de eletricidade disponibilizadas aos processos produtivos em um determinado contexto espacial, e tem o objetivo de servir de instrumento para se estabelecerem políticas de uso estratégico da energia. Em vista disso, este insumo tem sido tratado como um bem de natureza estratégica que envolve dimensões econômicas, sociais, ambientais e tecnológicas. As condições de disponibilidade de energia elétrica em quantidade, qualidade e custos competitivos determinam a capacidade das sociedades de assegurarem determinado padrão de vida. Este padrão, porém, muitas vezes depende da utilização de fontes de eletricidade causadoras de significativos impactos ao meio ambiente, considerando-se que lançam gases na atmosfera que provocam o efeito estufa e contribuem para o aquecimento global. Diante deste cenário, a necessidade de transformação da matriz elétrica representa hoje um dos maiores desafios da agenda energética internacional.

No mundo, os investimentos em energias renováveis, como a eólica, a solar e a biomassa, ao longo de 2007, registraram crescimento de 60% em relação ao ano anterior, com US\$ 148 bilhões aplicados no setor (PNUMA, 2007). Ainda assim,

as emissões de gases oriundas de fontes energéticas nunca foram tão expressivas. As emissões de gases que causam o efeito estufa correspondem a 49 bilhões de toneladas de CO₂ lançadas todos os anos na atmosfera. Destas, aproximadamente 26 bilhões estão vinculadas à produção de energia elétrica (IPCC/ONU, 2007). Em face das crescentes preocupações com o meio ambiente, os países que melhor posicionarem suas matrizes elétricas, por intermédio da utilização de fontes de baixo impacto ambiental e de baixo custo, terão vantagens comparativas determinantes para seus processos de desenvolvimento.

No Brasil, a geração de energia elétrica baseia-se primordialmente nas usinas hidrelétricas. Este cenário pauta-se na abundância de recursos naturais a baixos custos em termos relativos, principalmente na região amazônica. Porém, como bem observam Tolmasquim, Guerreiro e Gorini (2007), a questão que se coloca para o futuro é se o país terá condições de manter esta vantagem comparativa e ainda garantir à população o amplo acesso a este insumo.

No Pará, estado localizado na região amazônica, detentor de grandes potencialidades naturais e de notável potencial exportador de eletricidade, os desafios não estão apenas associados à garantia da disponibilidade deste insumo. A redução das desigualdades sociais e da pobreza, a universalização do acesso à energia elétrica e a minimização dos custos e dos danos ambientais oriundos de sua geração têm tido impacto positivo na realidade paraense. O seu expressivo potencial hidroelétrico a partir de grandes projetos é classificado como energia “limpa”, que cada vez mais procura atender à crescente demanda por eletricidade. Contudo, a construção destes projetos implica em bruscos impactos no ciclo hidrológico e mudanças no meio ambiente de modo geral.

Diante deste panorama, destaca-se que o estado do Pará precisa estar preparado para o enfrentamento da insegurança na oferta de eletricidade e para o desafio da problemática ambiental. Neste sentido, pretende-se questionar quais transformações a matriz elétrica paraense deve sofrer na intenção de se promover o desenvolvimento sustentável no estado. Parte-se da hipótese de que o setor elétrico paraense não pode prescindir do desenvolvimento de um processo de diversificação das fontes de eletricidade, na medida em que esta ação representa uma resposta aos novos padrões de competitividade e aos graves problemas ambientais decorrentes da geração e do uso de energia elétrica. O objetivo deste estudo, portanto, é analisar o posicionamento estratégico da matriz elétrica do Pará na promoção do desenvolvimento sustentável no estado, entendendo-se que a segurança energética e as questões ambientais são determinantes em termos de competitividade.

Neste contexto, a pesquisa se justifica pela: *i*) possibilidade de pensar a matriz elétrica conjuntamente com o processo de desenvolvimento socioeconômico do

estado do Pará, na medida em que o insumo energético pode ser compreendido como um recurso para a garantia de um razoável padrão de qualidade de vida da população em bases mais democráticas; *ii*) indicação da importância de se desenvolver uma iniciativa local que contribua para a redução das emissões de gases oriundos da geração de energia elétrica causadores do efeito estufa e consequentemente do aquecimento global; e *iii*) oportunidade de se analisar o posicionamento da eletricidade, dentro da matriz energética paraense, enquanto bem de natureza estratégica para o desenvolvimento sustentável.

A metodologia desta investigação foi composta por três etapas. Na primeira, realizou-se um levantamento de dados e informações a respeito do posicionamento adotado pela Alemanha, pelo estado americano da Califórnia e pela China ante a necessidade de modificação estratégica de suas matrizes elétricas, e observou-se o reflexo das ações de seus respectivos governos. Na segunda etapa, analisou-se o cenário energético do Pará por meio da composição de seu balanço elétrico; e avaliou-se, por intermédio das dimensões econômica, social, ambiental e tecnológica, a possibilidade de inserção, nas especificidades do estado, de fontes de eletricidade utilizadas estrategicamente pelos países analisados neste trabalho, no tocante ao reposicionamento de suas matrizes elétricas. Espera-se que, assim, o trabalho contribua para uma reflexão acerca do posicionamento das diversas fontes de produção de energia no Pará, por meio de uma proposta de matriz elétrica para 2020. A investigação, além desta introdução, estrutura-se em quatro partes: procedimentos metodológicos, referencial teórico, análise e discussão de resultados e considerações finais.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa realizada classifica-se, conforme a taxionomia de Vergara (2009), quanto aos seus fins, como exploratória e descritiva. É exploratória na medida em que envolve um levantamento bibliográfico e analisa realidades que estimulam a compreensão da dinâmica da necessidade de transformação de matrizes elétricas. É descritiva, pois procura observar e analisar variáveis para melhor orientação prática de ações estratégicas no setor elétrico. E quanto aos seus meios, classifica-se como bibliográfica e documental, na medida em que se utiliza de um levantamento de materiais e documentos junto a órgãos vinculados ao setor energético.

A metodologia foi dividida em três etapas. Na primeira, realizou-se uma coleta de dados por meio de pesquisa bibliográfica, que abrangeu a leitura e interpretação de livros, periódicos, textos legais e documentos diversos, bem como um levantamento de dados secundários junto a órgãos nacionais e internacionais. Efetuou-se um esforço de tratamento de dados na intenção de se enumerarem

medidas governamentais realizadas e suas perspectivas na construção de novas matrizes elétricas a partir de estratégias ambientalmente coerentes com o cenário mundial, ocasionado pelos novos padrões competitivos e pelo aquecimento global. Este tratamento de dados foi construído a partir de duas realidades de países desenvolvidos – a Alemanha e o estado americano da Califórnia –, e em desenvolvimento, a China, por estarem representados por governos conscientes da necessidade de transformação de suas matrizes elétricas. Na segunda etapa, analisou-se o cenário energético do estado do Pará por meio da composição de seu balanço elétrico; e avaliou-se a possibilidade de inserção, nas especificidades regionais, de fontes de eletricidade utilizadas estrategicamente por aqueles governos no reposicionamento de suas matrizes elétricas. A última etapa pretendeu constituir-se em uma proposta de matriz elétrica do estado para 2020, pautada na proporção recomendada por uma equação.

A opção por Alemanha e Califórnia, no tocante ao cenário energético, se deu, principalmente, pela conduta de seus governos no enfrentamento da insegurança na oferta de eletricidade e da questão ambiental, realidades que atingem o cenário mundial independentemente de características socioeconômicas de países. Especificamente, em vista de estas realidades caracterizarem-se: *i*) pela predominância da utilização de fontes renováveis em suas matrizes; *ii*) por compreenderem experiências de aproveitamento estratégico de potencialidades regionais; e *iii*) por configurarem cenários que exigem o atendimento de demandas crescentes pelo insumo elétrico, realidades estas também verificadas no Pará. Nesta perspectiva, o movimento estratégico destes países desenvolvidos, em direção à modificação de suas matrizes elétricas, pode orientar iniciativas localizadas em países menos desenvolvidos, desde que sejam precisamente consideradas as peculiaridades socioeconômicas de cada região no desenho estratégico de ações.

Destaca-se, ainda, que qualquer esforço de comparação entre países e regiões, independentemente do campo de análise, revelará lacunas, por menores que sejam. Cada região possui suas características econômicas, sociais, tecnológicas, geológicas, culturais e de valores que impossibilitarão a construção de parâmetros tecnicamente perfeitos para afirmações científicas absolutas. Resta ao observador identificar variáveis similares que possam orientar reflexões consistentes. Neste sentido, na intenção de subsidiar uma melhor interpretação das diretrizes na modificação de matrizes elétricas a partir de características regionais, este estudo adiciona um terceiro exemplo, a China.

A opção pela experiência chinesa se deu em virtude de esta caracterizar-se por estar em processo de desenvolvimento, e, portanto, revelar elementos sociais e

econômicos mais aproximados à realidade do estado do Pará. São eles: o consumo *per capita* de energia elétrica, o índice de desenvolvimento humano (IDH), o ritmo de crescimento de consumo de energia elétrica com fonte hídrica, e a participação da indústria no consumo de eletricidade (tabela 1), além da relevante participação da atividade mineral na economia.

TABELA 1

Consumo *per capita*, taxa de crescimento da fonte hídrica, IDH e eletricidade voltada para indústrias na China e no estado do Pará (2008)

País/estado	Consumo <i>per capita</i> (kWh/hab)	Taxa de crescimento do consumo de fonte hídrica (%) ¹	IDH	Eletricidade voltada para indústrias (%)
China	2.149	7,2	0,762	70,1
Pará	2.189	7,6	0,7552	77,2

Fonte: BP GLOBAL, 2008; SEPOF, 2008.

Elaboração do autor.

Notas: ¹ A taxa de crescimento foi calculada entre 1985 a 2005 para a China e entre 2000 e 2008 para o estado do Pará.

² Valor referente ao ano de 2005

No tocante ao consumo *per capita* de eletricidade, observe-se que, em 2008, a China consumiu 2,859 trilhões de KW/h, o que redundava em um consumo *per capita* de 2.149 KWh/hab. No Pará, no mesmo ano, o consumo de eletricidade foi da ordem de 16,341 bilhões de KWh, sendo de 2.189 KWh/hab o consumo *per capita*, equiparado ao dos chineses. Quanto ao IDH, constata-se que na China, em 2008, o índice foi de 0,762, enquanto no Pará, no ano de 2005 (apuração mais recente), alcançou 0,755, classificando-se as duas realidades como de *médio desenvolvimento humano*. No que concerne ao ritmo de consumo de energia elétrica, verificou-se que a China, apesar de apresentar uma predominância de fonte térmica em sua matriz, é a terceira maior consumidora mundial de hidroeletricidade, com uma taxa média de crescimento anual de consumo de 7,2% entre 1985 e 2005 (BP GLOBAL, 2008). No Pará, onde a hidroeletricidade é dominante na matriz elétrica, a taxa média de crescimento anual de consumo desta fonte entre 2000 e 2008, excluído o ano atípico do racionamento (2001), foi de 7,6%, o que caracteriza um ritmo percentual de crescimento aproximado ao chinês. A relevante participação da atividade mineral na economia também representa uma característica estrutural de ambas as realidades. A China, em relação ao volume de reservas de 45 dos principais minérios, caracteriza-se como um dos detentores das mais ricas reservas do mundo. O estado do Pará, por seu turno, é a Unidade Federativa que concentra algumas das maiores reservas minerais brasileiras. Por fim, quanto à participação da indústria no consumo de eletricidade, verificou-se que, em 2008, a China e o Pará direcionaram cerca de três quartos da eletricidade gerada para alimentar suas indústrias, com 70,1% e 77,2% respectivamente (BP GLOBAL, 2008; SEPOF, 2008).

O método de trabalho estabeleceu estrategicamente quatro dimensões de análise para se avaliar com mais precisão possibilidades de utilização de algumas fontes de geração de eletricidade no Pará, a seguir especificadas.

1. *Econômica* – analisa a viabilidade de investimento e custo. Esta dimensão foi representada a partir do custo de utilização e retorno de investimento de cada fonte na geração de eletricidade.
2. *Social* – observa a inclusão e a redistribuição de renda. Sua caracterização nesta investigação ocorreu por meio de análise da capacidade de geração de empregos.
3. *Ambiental*: avalia os impactos causados ao meio ambiente. Esta dimensão foi demonstrada pelo nível de emissões de gases poluentes.
4. *Tecnológica* – verifica os melhores resultados no menor tempo. Sua representação se deu por meio de unidades técnicas como intensidade, densidade e eficiência.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico, tem-se como propósito a apresentação do embasamento teórico do estudo, identificando-se na literatura disponível o universo que envolve a definição das categorias *matriz elétrica* e *desenvolvimento sustentável*.

3.1 Matriz elétrica

O entendimento da matriz elétrica está vinculado ao da matriz energética. Assim, apresenta-se inicialmente uma breve definição e composição desta categoria. A matriz energética é a descrição de toda a geração e consumo de um país ou região, discriminados quando às fontes de produção e setores de consumo para uma situação futura. Quando se descreve toda a geração e consumo de um país ou região para uma situação presente, tem-se o balanço energético. A matriz energética nacional é atualmente elaborada pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE (EPE, 2010).

Em sua composição, a matriz energética está dividida em quatro partes: *i*) energia primária, que compreende os produtos energéticos gerados pela natureza em sua forma direta, como petróleo, gás natural, carvão mineral, energia eólica, solar etc.; *ii*) energia secundária, que se compõe de produtos energéticos resultantes dos diferentes centros de transformação, e possui como destino os diversos setores de consumo; *iii*) transformação, que envolve todos os centros onde as energias primárias e secundárias se transformam em uma ou mais formas de energia secundária; e *iv*) o consumo final, no qual se registram os diversos setores de

atividade socioeconômica que, no último estágio, se alimentam deste insumo. Nesta composição, a eletricidade constitui-se como uma energia secundária.

A matriz elétrica, por seu turno, representa a disposição das diversas formas de eletricidade, disponibilizadas aos processos produtivos em determinado contexto espacial, envolvendo suas fontes de geração e utilização. A matriz elétrica pode ser utilizada na análise da produção e uso de eletricidade em determinado contexto local, de modo a permitir uma leitura a partir da conjuntura energética global. Esta condição permite observar que a quantidade de energia elétrica produzida deve ter sua importância associada aos tipos de fontes de geração deste insumo, assim como às formas de acesso da população. Logo, possibilita levantar subsídios de análise para se orientarem ações públicas do setor elétrico mais comprometidas com o desenvolvimento sustentável (REIS, FADIGAS e CARVALHO, 2005). Deste modo, a matriz elétrica representa um importante instrumento de análise estratégica para o desenvolvimento sustentável. De acordo com Goldemberg e Moreira (2005), fontes de energia compreendem insumos essenciais para o desenvolvimento sustentável. Entretanto, tão importante como sua disponibilidade interna a custos competitivos é o uso que se faz desta energia na produção de serviços. Também é preciso notar que quanto à disponibilidade física da exploração das fontes de energia, os autores observam que estes recursos determinam o interesse do mercado consumidor.

O resultado desta análise da matriz elétrica é subsídio para a tomada de decisão por parte do setor elétrico. Este setor, por sua vez, constitui-se em uma organização social formada de relações sistêmicas que envolvem o processo de transformação da energia primária até a utilização final por tipo de consumidor. Tais relações são estabelecidas entre os componentes do setor elétrico – como *geração, transmissão e distribuição* –, e devem tomar por base o potencial tecnológico e econômico próprios, os interesses da sociedade e as premissas do desenvolvimento sustentável.

3.2 Desenvolvimento sustentável

O tratamento da categoria desenvolvimento sustentável envolve um universo complexo de dimensões de abordagem. Este estudo, porém, não pretende realizar uma análise epistemológica ou uma ampla avaliação operacional de sua aplicação. A utilidade de tal referencial normativo, nesta oportunidade, é, sobretudo, permitir a percepção dos problemas enfrentados pelos governos na medida em que estes buscam a obtenção de segurança energética e no momento em que lidam com as questões ambientais, que são determinantes em termos de competitividade.

O *Relatório de Brundtland*, de 1987, é quem define o desenvolvimento sustentável com mais detalhamento. De acordo com o relatório, o termo refere um processo de mudança no qual a direção de investimentos, a orientação do

desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional estão em harmonia e elevam o potencial corrente e futuro para reunir necessidades e aspirações humanas (WORLD COMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, 1991). O relatório apresenta uma relevante definição de crescimento, bastante discutida na pauta política internacional no que respeita às questões pertinentes à distribuição global de uso de recursos e à qualidade ambiental (BRUYN e DRUNDEN, 1999). Conforme Stahel (1995) e Aragón (1997), o relatório refere-se, pelo menos implicitamente, ao processo dentro de padrões do sistema capitalista, ou seja, dentro de um ambiente institucional de uma economia de mercado. Neste sentido, a definição possui dificuldades de separar-se da ideia de que a premissa fundamental do desenvolvimento sustentável seria o crescimento econômico.

O conceito de desenvolvimento sustentável também é cercado de contradições. Conforme Kitamura (1994), este desenvolvimento vincula-se a uma ética que incorpora tanto valores ecológicos quanto espirituais. O problema reside no fato de que os interesses econômicos não se submetem às noções de ética. Seu conceito supõe ainda uma nova ordem internacional, que tem como produto uma ampla redistribuição do poder (KITAMURA, 1994). A ideia desta nova ordem de desenvolvimento, entretanto, ignora as correlações de forças no mercado mundial, e os interesses das nações industrializadas em manter a posição de vantagem no panorama internacional (REDCLIFT, 1987; SPANGENBERG, 2000). O fato de os interesses econômicos não se subjugarem aos princípios éticos que acolhem valores ecológicos e espirituais comprometem a essência da ideia terminológica do que seria o desenvolvimento sustentável. Os interesses das nações industrializadas na manutenção da condição de vantagem econômica no cenário mundial representam na prática a impossibilidade de implantação deste referencial normativo, pelo menos a partir de suas bases conceituais. O contexto de implantação do desenvolvimento sustentável é caracterizado, inclusive, implicitamente, por padrões de uma economia de mercado, o que leva à conclusão de que a ideia deste tipo de desenvolvimento está profundamente vinculada à ideia de crescimento econômico.

Dito isso, constata-se que a ideia mais aceitável para a construção do entendimento do desenvolvimento sustentável, de forma a iniciar uma contribuição à expressão a partir de uma dimensão mais categórica, alicerça-se no pensamento de que o desenvolvimento sustentável compreende uma condição de crescimento contínuo de uma economia, de modo a permitir uma razoável distribuição concreta da riqueza social por intermédio da ampliação do acesso das populações à satisfação de necessidades básicas como saúde, educação, água, saneamento e *energia*, sendo a última responsável prévia pelo acesso às necessidades anteriores. É neste ambiente sustentável que a preocupação com o posicionamento das matrizes elétricas representa justamente uma contribuição à garantia de um crescimento

contínuo e sustentado a partir de diretrizes estratégicas que promovam o uso de fontes alternativas de eletricidade capazes de distribuírem a riqueza social e reduzir impactos ao meio ambiente.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A necessidade estratégica de transformação das matrizes elétricas tem levado muitos países a investirem em tecnologia e em legislações que procurem promover o desenvolvimento sustentável. Na dianteira destes esforços, destacam-se a Alemanha e o estado americano da Califórnia, cenários característicos de países desenvolvidos. Nos dois casos, observa-se concretamente que uma interação entre políticas governamentais conscientes e a participação de empresas privadas fizeram destas sociedades referências no planejamento energético.

A Alemanha é a maior consumidora de eletricidade da Europa. Sua política energética enfatiza a conservação e o desenvolvimento de fontes de energia renovável, como a solar, a eólica, a biomassa, a hidráulica e a geotérmica. Por sua vez, a Califórnia é um dos maiores centros industriais dos Estados Unidos (EUA), abrigando o Vale do Silício, região onde se encontra um conjunto das maiores organizações do mundo em tecnologia e informática.

O cenário energético nos países em desenvolvimento também deve ser observado e é representado nesta análise pela China. O país é um fenômeno internacional em virtude de seu admirável ritmo de expansão econômica, com uma taxa média anual de crescimento, entre 1980 e 2005, de 10,8% (CENTRO NACIONAL DE ESTATÍSTICA DA CHINA, 2008).

Inicialmente, realiza-se uma análise das medidas governamentais implementadas na Alemanha e na Califórnia, assim como dos novos cenários de desenvolvimento que já começaram a se desenhar naqueles contextos. Posteriormente, aborda-se o cenário energético da China, de forma a se perceberem potencialidades e limitações de seu planejamento no setor elétrico.

Na Alemanha, o esforço de transformação na matriz elétrica está pautado notadamente na ampliação da participação da energia eólica. O governo alemão já conta, desde a década de 1970, com resultados bastante razoáveis nos campos da economia de energia e do aumento da eficiência energética, o que colabora para que o país possa definir objetivos de satisfazer metade de sua demanda energética a partir de fontes renováveis até 2050. A utilização de subsídios no setor elétrico e a adoção de taxas temporárias compreendem a base das ações do governo alemão para promover desenvolvimento com prudência ambiental (quadro 1).

QUADRO 1

Medidas governamentais para a alteração da matriz elétrica na Alemanha e o novo cenário de desenvolvimento

Medidas governamentais	Novo cenário de desenvolvimento
<ul style="list-style-type: none"> • Subsídios de € 20 milhões para o início das operações comerciais de distribuição de fontes de energia alternativa, notadamente de energia eólica. • Prática temporária de taxa mensal fixa de € 1,80 para se atender aos custos de geração e distribuição de energia eólica. • Prática temporária de taxas decrescentes pagas pelas distribuidoras às geradoras de eletricidade, na intenção de se fazer com que fabricantes desenvolvam turbinas mais baratas e eficientes. 	<p>Dimensão econômica: a indústria eólica alemã faturou € 6,5 bilhões em 2008.</p> <p>Dimensão social: as empresas envolvidas com a cadeia de energia eólica já são as maiores geradoras de empregos no país, e têm previsão de 100 mil vagas para os próximos dez anos.</p> <p>Dimensão ambiental: a geração de energia eólica na Alemanha evitou, em 2008, a emissão de cerca de 27 milhões de toneladas de gás carbônico.</p> <p>Dimensão tecnológica: até 2015, os custos para converter a energia dos ventos em eletricidade serão equivalentes aos das usinas que queimam combustíveis fósseis.</p>

Fonte: Deutsche Energie Agentur – DENA (2007;2008).
Elaboração do autor.

O novo panorama de desenvolvimento que o governo alemão começa a estruturar para o país está alicerçado na criação de um setor industrial de evolução recente, o da indústria eólica. Os € 6,5 bilhões faturados em 2008 são um indicativo de que esta indústria tende a igualar ou até superar o setor automotivo alemão dentro de aproximadamente uma década. Os reflexos na geração de empregos também já começaram, por meio de uma abertura prevista de 10 mil novas vagas por ano na próxima década, apenas na indústria eólica. As hélices de geradores de energia eólica vêm cada vez mais modificando a paisagem na Alemanha, e melhor, apresentando resultados animadores, na medida em que a utilização deste tipo de fonte no país evitou em 2008 a emissão de aproximadamente 27 milhões de toneladas de gás carbônico. O país possui atualmente mais de 19 mil turbinas eólicas. No campo tecnológico, os avanços também acontecem. Os custos de geração de energia eólica são decrescentes no país. Desde 1991, estes custos já caíram pela metade, e em cerca de cinco anos estarão equivalentes ao patamar de competição das usinas térmicas movidas a combustível fóssil (DEUTSCH WIND ENERGY ASSOCIATION, 2009).

A intenção do governo alemão é que a participação de fontes eólicas e solares, e a partir de biomassa e de pequenas hidroelétricas seja de 25% até 2020 (tabela 2). Destes, 20% apenas de fonte eólica. Em 2008, registrou-se uma participação de 11% para estas fontes renováveis, dos quais 6% referem-se à energia eólica. O país tem o propósito de reduzir a participação relativa da utilização de eletricidade a partir da energia nuclear e do carvão mineral e vegetal.

TABELA 2

Balanco de energia elétrica em 2008 e a matriz elétrica para 2020 na Alemanha

Fontes de eletricidade	2008 (%)	2020 (%)
Nuclear	29	25
Eólica, solar, biomassa e pequenas hidrelétricas	11	25
Carvão vegetal	26	20
Carvão mineral	21	20
Gás natural	10	8
Outros	3	2
Total	100	100

Fonte: Deutsche Energie Agentur - DENA (2007; 2008).
Elaboração do autor.

O estado da Califórnia é o líder nacional na geração de eletricidade com uso de fontes renováveis de energia. Nenhum outro estado americano produz mais eletricidade mediante o uso da energia eólica e solar, bem como oriunda de hidroelétricas. Porém, nos últimos anos, o crescimento da quantidade de eletricidade produzida no estado não tem acompanhado seu imenso crescimento populacional e econômico, e ocorreram vários “apagões”. Como consequência da alta demanda por eletricidade, a Califórnia precisa comprar eletricidade de estados vizinhos. O seu esforço na transformação da matriz elétrica está alicerçado na ampliação da participação da energia solar. Com este intento, o governo californiano baseou suas medidas na administração de fundos para a instalação de placas de energia solar e em estímulos à utilização deste tipo de energia por meio de subsídios (quadro 2).

QUADRO 2

Medidas governamentais para a alteração da matriz elétrica na Califórnia e o novo cenário de desenvolvimento

Medidas governamentais	Novo cenário de desenvolvimento
<ul style="list-style-type: none"> • Administração de um fundo de US\$ 350 milhões, que cobre um terço do custo de instalação de um painel e o barateia os custos para o cidadão comum. • Instalação de 1 milhão de placas de energia solar em residências nos próximos dez anos. • Subsídios de US\$ 2,9 bilhões nos próximos dez anos para se estimular o uso da energia solar. 	<p>Dimensão econômica: as indústrias de energias renováveis na Califórnia devem movimentar cerca de US\$ 60 milhões por ano.</p> <p>Dimensão social: as empresas envolvidas com a cadeia de energia solar deverão gerar em dez anos cerca de 20 mil novas vagas.</p> <p>Dimensão ambiental: a geração de energia solar na Califórnia deverá evitar nos próximos dez anos emissões de cerca de 50 milhões de toneladas de gases poluentes.</p> <p>Dimensão tecnológica: atração de fundos de investimentos que já injetaram aproximadamente US\$ 1 milhão em empresas que desenvolvem tecnologias limpas na região.</p>

Fonte: NEXT10 (2008) e Energy Information Administration – EIA (2008).
Elaboração do autor (2009).

O resultado destas ações pode ser mais bem visualizado por intermédio da comparação do balanço de energia elétrica da Califórnia em 2008 com a matriz

elétrica projetada para 2020 (tabela 3). As fontes eólica, solar, biomassa e a hídrica, gerada a partir de pequenas hidrelétricas, tendem a passar de 12% em 2008 para 33% em 2020. Esta política energética pode inclusive colaborar para que os EUA tenham sua imagem associada mais a um exemplo de desenvolvimento sustentável vinculado a oportunidade de negócios do que à imagem de um dos maiores contribuintes para o aquecimento global.

TABELA 3

Balanco de energia elétrica em 2008 e a matriz elétrica para 2020 na Califórnia

Fontes de eletricidade	2008 (%)	2020 (%)
Eólica, solar, biomassa e pequenas hidrelétricas	12	33
Hídrica	37	30
Nuclear	28	20
Gás natural	20	15
Outros	3	2
Total	100	100

Fonte: NEXT10 (2008) e EIA (2008).
Elaboração do autor.

O novo cenário de desenvolvimento, gerado pelos esforços de alteração da matriz elétrica, solidifica a condição de liderança da Califórnia na luta contra o aquecimento global, e a manutenção destes investimentos em tecnologias energéticas limpas e eficientes provavelmente ampliará os avanços em seu processo de desenvolvimento. O capital movimentado pelas indústrias de energia renovável será de aproximadamente US\$ 600 milhões em dez anos. Os 20 mil novos postos de trabalho nestes dez anos são representativos na medida em que se referem apenas às indústrias da cadeia da energia solar. E os fundos de investimento promotores de tecnologias limpas solidificam, com seu volume de inversões, um compromisso consciente com a transformação da matriz elétrica do estado. A energia solar continua muito onerosa se comparada à eletricidade das termelétricas, mas está avançando muito, impulsionada pelas cotas estatais do governo americano.

O governo californiano tem a intenção de que o acréscimo da participação da energia renovável na matriz elétrica do estado substituam a cota de participação de fontes como a nuclear e o gás natural. Considerando a necessidade de importação de eletricidade, a Califórnia também trabalha na construção de grandes hidrelétricas, que entretanto não tendem a representar alterações na matriz elétrica, apenas têm peso na balança comercial, levando-se em conta que o estado deixaria de importar uma pequena parte da energia elétrica consumida.

O que se verifica na análise destes dois cenários é que a Alemanha, com forte participação em sua matriz do carvão mineral e vegetal, e a Califórnia, com destaque à fonte hídrica e ao gás natural, apresentam realidades distintas no que respeita a recursos naturais e tecnológicos. Porém, há conduta semelhante quanto

ao planejamento do aumento da participação de fontes renováveis como a eólica, a solar e a biomassa em suas matrizes elétricas. A fonte nuclear tende a diminuir sensivelmente sua participação, mas possuirá papel relevante na geração de eletricidade nas duas realidades analisadas.

No tocante à China, observou-se que sua matriz elétrica possui uma ampla participação do carvão mineral, que alimenta a quase totalidade das usinas térmicas. A política energética chinesa vê o carvão como fonte estratégica para a expansão econômica e pretende aumentar a produção deste insumo. A matriz atual é resultado de uma tendência iniciada nos anos 1990, e exigirá do governo chinês investimentos que promovam inovações capazes de modificarem gradualmente a matriz elétrica chinesa. Os esforços governamentais estão sendo direcionados à ampliação da participação da hidroeletricidade, da energia nuclear e do gás natural. De acordo com a BP Global (2008), a hidroeletricidade cresce a uma taxa anual de 7,2%, a energia nuclear evolui à taxa de 27,7%, e a energia a partir de gás natural cresce a uma taxa de 25%. Na tabela 4, observa-se o balanço energético chinês em 2008 – no qual se verifica a predominância do carvão como fonte de eletricidade –, e uma aproximação do que seria a matriz elétrica da China para 2020, resultado de uma estimativa tendencial de investimentos baseada no ritmo de crescimento de cada fonte de energia elétrica no país. Apesar de a China tratar com seriedade sua política energética, seu governo atribui aos países desenvolvidos a responsabilidade pela redução das emissões de gases poluentes e não assume formalmente compromissos que se traduzam em uma matriz elétrica mais “limpa” para 2020.

TABELA 4

Balanço de energia elétrica em 2008 e a matriz elétrica para 2020 na China

Fontes de eletricidade	2008 (%)	2020 (%)
Carvão mineral	75,1	60,1
Hídrica	18	25,3
Eólica, solar, biomassa e pequenas hidrelétricas	3,7	9
Nuclear	2,6	3,6
Outros	0,6	2
Total	100	100

Fonte: Centro Nacional de Estatística da China (2008) e BP Global (2008).

Elaboração do autor.

As medidas tomadas pelo governo da China procuram estabilizar suas emissões até 2020 por meio de investimentos anuais da ordem de US\$ 33 bilhões. O país só é superado em investimentos no setor energético pela Alemanha. O aumento da eficiência energética e a expansão da infraestrutura de energia renovável são os pilares destas medidas. No cômputo geral, estas medidas tendem a atingir todas as dimensões analisadas neste artigo. Observa-se, no quadro 3, cada uma delas.

QUADRO 3

Medidas governamentais para a alteração da matriz elétrica na China e o novo cenário de desenvolvimento

Medidas governamentais	Novo cenário de desenvolvimento
Em 2007, os investimentos anuais direcionados para a ampliação da infraestrutura de utilização de fontes alternativas de eletricidade foram da ordem de US\$ 12 bilhões.	Dimensão econômica: os investimentos devem impedir que o crescimento econômico, baseado em produtos agrícolas e pecuários, na indústria e na mineração, seja estrangulado por déficits de energia elétrica.
Aprovação de um plano de investimentos anuais de US\$ 33 bilhões até 2020 na intenção de sustentar o ritmo de crescimento econômico, a partir de uma maior participação de fontes alternativas de energia elétrica.	Dimensão social: a diminuição das externalidades sociais da utilização do carvão mineral como principal fonte. O trabalho nas minas de carvão, muito duro e perigoso, é uma opção de emprego e sustento para os chineses das camadas menos favorecidas.
	Dimensão ambiental: as medidas procuram reduzir o uso do carvão como fonte de energia na medida em que o processamento e a combustão deste insumo libera grandes quantidades de gases poluentes que contribuem com cerca de 80% das emissões de gás carbônico no país.
	Dimensão tecnológica: os investimentos resultarão em inovações infraestruturais capazes de elevar de aproximadamente 7% para cerca de 15% a porcentagem de energia com baixo uso de carbono até 2020.

Fonte: Centro Nacional de Estatística da China (2008) e BP Global (2008).
Elaboração do autor.

A seguir, analisa-se o panorama elétrico no estado do Pará, sua realidade atual e possibilidades futuras na articulação de medidas sustentáveis no campo energético. O Pará tem uma área geográfica de 1.247.689,515 km² e população estimada de 7.431.020 habitantes (IBGE, 2009), o que significa uma densidade populacional de 5,95 hab./Km². A base produtiva paraense baseia-se em dois pilares – a agroindústria e a produção mineral. O produto interno bruto (PIB) do estado, em 2006, foi de R\$ 44,376 bilhões, o que representou um crescimento de 7,11% em relação ao ano anterior, representando a terceira maior variação real entre os estados do Brasil. Este incremento foi superior à taxa do país, 3,97% (SEPOF, 2006).

O Pará, dotado do maior potencial hídrico nacional e exportador de eletricidade, possui seu serviço público de distribuição de energia elétrica sob concessão das Centrais Elétricas do Pará (Celpa), enquanto o mercado de geração hídrica é de domínio das Centrais Elétricas do Norte do Brasil (Eletronorte). Em 2008, o consumo de eletricidade no estado foi de 16.268 MWh (CELPA, 2009), maior que os consumos de eletricidade do Uruguai (7.030 MWh) e Equador (8.860 MWh) juntos.

A história da geração de eletricidade no estado está muito atrelada à construção da usina hidrelétrica de Tucuruí, com potência inaugural, em 1984, de 3.960 MW. Em 1980, a participação da fonte hídrica na geração de eletricidade no estado era de 4%, contra 72% oriunda de fonte térmica (tabela 5). No ano de 1985, com o potencial gerado a partir de Tucuruí, a produção de eletricidade advinda de fonte

hídrica cresceu excepcionalmente, para 92%, e colocou o estado na condição de exportador de energia elétrica. Em 1990, esta participação alcançou 98%. No ano de 2005, registro mais recente do balanço elétrico no estado, a participação hídrica foi de 96%, contra 2,5% oriunda de óleo combustível, 1% proveniente de fontes renováveis, sobretudo, biomassa e pequenas hidrelétricas, e 0,5% de outras fontes (BEEPA, 2007). Em *outras fontes*, a principal é o carvão vegetal, utilizado basicamente na indústria de ferro gusa e aço.

TABELA 5

Balanço de energia elétrica do estado do Pará (1980-2005)

(Em %)

Fontes de eletricidade	1980	1985	1990	1995	2000	2005
Hídrica	4	92	98	96	97	96
Óleo combustível	72	4	1,5	2	2	2,5
Eólica, solar, biomassa e pequenas hidrelétricas	17	2	0,5	1	0,5	1
Outras	7	2	-	1	0,5	0,5
Total	100	100	100	100	100	100

Fonte: Balanço Energético do Estado do Pará – BEEPA (2007).
Elaboração do autor.

A geração de energia elétrica a partir de fonte hídrica é energia renovável. Como bem observa Walisiewicz (2008), as usinas hidrelétricas baseiam-se em fundamentos simples. As turbinas retiram energia da água corrente dos rios, usando-a para acionar geradores elétricos (sistema que transforma energia mecânica em eletricidade por meio da força cinética, que é devida à velocidade do fluxo da água, e da força potencial, devida à queda d'água). A barragem exerce controle sobre a quantidade de água que flui por meio das turbinas, de modo que a produtividade da usina é regulada de acordo com a demanda.

O Pará, detentor de inúmeras quedas d'água e de extensos rios, possui uma vasta capacidade de armazenamento nos reservatórios. A tendência crescente do consumo também não preocupa no longo prazo, na medida em que, de acordo com o Balanço Energético Nacional – BEN (BRASIL, 2006), o Brasil possui uma reserva de 144 GW de energia firme/ano de origem hídrica e utiliza 34 GW, isto é, apenas 23,6%. A capacidade hidráulica instalada é de 6.696 MW (BEEPA, 2007).

Ao se analisar os balanços elétricos de 2008, da Alemanha e da Califórnia, em comparação ao estado do Pará, chama atenção o ritmo de consumo de eletricidade. De acordo com o Centro Brasileiro de Infraestrutura (2008), enquanto o consumo de eletricidade na Europa deve aumentar em 2% ao ano (a.a.) e nos Estados Unidos em torno de 1%, no Brasil este aumento anual deverá ser da ordem de 5%. Quando se verifica o consumo de energia elétrica no Pará entre 2000 e 2008

(tabela 6), observa-se que sua média anual de crescimento foi de 5,5%, superior ao crescimento anual previsto para o Brasil. Excluindo-se o decréscimo atípico de consumo registrado em 2001, ano do racionamento de eletricidade, identifica-se para o estado do Pará um aumento médio anual de 7,6%.

TABELA 6

Consumo de eletricidade no Pará (2000-2008)

Ano	Consumo de eletricidade (MWh)	Variação do consumo (%)
2000	10.766	-
2001	9.787	(9,1)
2002	11.375	16,2
2003	12.423	9,2
2004	13.129	5,7
2005	13.167	0,2
2006	14.664	11,4
2007	15.822	7,9
2008	16.268	2,8
Média anual	13.044	5,5

Fonte: BEEPA (2006) e Celpa (2009).
Elaboração do autor (2009).

Os ritmos de crescimento de consumo previstos para a Europa e para os EUA poderão permitir que os governos da Alemanha e do estado da Califórnia construam usinas eólicas e solares na substituição de parte das usinas termelétricas e nucleares cuja operação encontra-se no final da vida útil. Entretanto, no Pará, usinas eólicas, solares e nucleares não poderão, em tempo hábil, ser construídas e alcançarem patamares próximos ao ocupado pelo potencial hidrelétrico no estado.

Todavia, este panorama que se desenha há décadas no Pará definitivamente não colabora, no médio ou no longo prazo, para a redução das emissões de gases causadores do efeito estufa advindos de sua matriz elétrica. A fonte hídrica, caracterizada como “limpa”, causa graves e extensos impactos no ciclo hidrológico e mudanças no meio ambiente de modo geral, em virtude dos grandes projetos. Registram-se o desaparecimento de espécies de fauna e flora, a perda de qualidade de vida das populações atingidas e as ameaças à existência de vários grupos sociais.

A emissão de gases do efeito estufa representa outro grave problema causado pelos grandes empreendimentos hidrelétricos. Em estudos de mensuração das emissões de dióxido de carbono (CO₂) a partir de fontes hídricas no estado, com base metodológica a partir de Santos (2000), verificou-se que, entre 1995 e 2005, esta fonte de energia lançou à atmosfera cerca de 90 milhões de toneladas de gases causadores do efeito estufa. Em termos comparativos com o desmatamento no Pará, verifica-se que entre 1999 e 2008 – de acordo com Aguiar *et al.* (2010), que utilizaram uma metodologia de cálculo de emissões de gases poluentes por estado –,

computam-se cerca de 6 milhões de toneladas de CO₂ a partir do território paraense. A quantidade bem inferior de emissões causadas pelo desmatamento, se comparada às emissões oriundas dos reservatórios, chama a atenção para a intensidade dos impactos ambientais da fonte hídrica no estado.

O fechamento de um rio por uma barragem provoca uma alteração estrutural – as águas passam de um sistema corrente, chamado lótico, para um sistema de água parada, denominado lântico. Com o reservatório implantado, várias toneladas de matéria orgânica entram em decomposição no fundo da represa, liberando gás carbônico e metano (FEARNSIDE, 2004). O autor observa, ainda, que águas lânticas favorecem o aparecimento de plantas aquáticas (macrófitas). Assim, constata-se a emissão de dióxido de carbono pela decomposição de matéria orgânica acima da água. O metano, por sua vez, é produzido quando a decomposição ocorre no fundo do reservatório, com matéria verde e macia, como macrófitas.

Segundo Fearnside (*op. cit.*), as grandes áreas de lamaçais expostas no período da seca possibilitam o crescimento de vegetação macia que, quando inundadas na cheia, sob condições anóxicas se tornam fábricas de metano. O metano seria liberado quando a pressão da água cai repentinamente no momento que a água emerge das turbinas. Portanto, a emissão de carbono pela decomposição de matéria orgânica e macrófitas em represas acaba com a ideia de que as usinas hidrelétricas produzem energia limpa. Considerando que a condição de reprodução de macrófitas é ótima nas represas, não existe nada que indique, no longo prazo, uma reversão do processo de emissão de gases do efeito estufa pelas represas paraenses.

Destaca-se ainda outro problema relacionado às macrófitas, que é a possibilidade de aumento da densidade populacional de culicídeos. Especificamente em Tucuruí, no Pará, foi relatada a expansão dos gêneros *anopheles* e *mansonina*, além de outros insetos, que utilizam as macrófitas, sobretudo *salvinia*, *Eichhornia* e *pistia*, para se reproduzirem (MARIN, 2000). Segundo a autora, estas plantas ocupam aproximadamente 30% da superfície da represa. A represa de Curuá-Una, também no estado, está tomada de macrófitas, que cobrem 27% da área, propiciando o desenvolvimento de mosquitos e caramujos transmissores de esquistossomose, doença que era desconhecida na região do município de Santarém.

Neste sentido, não é surpresa a constatação de Walisiewicz (2008), ao afirmar que as preocupações com a viabilidade econômica das grandes hidrelétricas e com os significativos impactos ambientais oriundos da construção de barragens e reservatórios reduziram o ritmo mundial de crescimento deste tipo de geração a uma modesta taxa de 1,5% a.a.

Ao se analisar o balanço elétrico de 2008 da China, em comparação ao Pará, chama atenção o desafio enfrentado pelo governo chinês, o qual procura reduzir a dependência do carvão em sua matriz elétrica, e ao mesmo tempo sustentar a

expansão produtiva deste insumo, para garantia do ritmo de expansão econômica. No caso paraense, apesar de possuir uma matriz elétrica predominantemente renovável, o estado também poderia reduzir a dependência da fonte hídrica, de modo a atenuar seus amplos impactos ambientais; porém, o Pará também precisa sustentar o ritmo de crescimento das demandas por esta fonte de energia.

A expansão das fontes renováveis na China, em combinação com suas potencialidades naturais, tende a avançar, sobretudo devido ao uso da energia nuclear e do gás natural. O planejamento de ampliação das fontes hídrica e eólica detém expectativas menores. Nesta perspectiva, o estado do Pará deve promover investimentos para a identificação e implantação do uso de fontes potencialmente adequadas à sua realidade, na tentativa de contar com alternativas mais limpas de geração de eletricidade. É neste cenário complexo, composto de dimensões econômicas, sociais, tecnológicas e ambientais, que o Pará deve enfrentar o desafio de rever sua matriz elétrica de modo a garantir a quantidade e a qualidade deste insumo, a partir de bases diversificadas e sustentáveis de geração de eletricidade.

Entre as principais alternativas de fontes complementares de eletricidade para diversificar no longo prazo as matrizes da Alemanha, Califórnia e China, estão a biomassa, a energia solar, a eólica, e a nuclear. A seguir, analisa-se a aplicabilidade de cada uma delas na realidade do estado do Pará. Todavia, é relevante destacar aqui que o Pará, diferentemente da Alemanha, da China e do estado americano da Califórnia, não possui autonomia para a definição de políticas energéticas. Estas políticas ficam a cargo do governo federal, que é responsável pelo planejamento energético nos estados brasileiros.

4.1 Biomassa

A biomassa é um tipo de matéria que alimenta usinas a vapor de geração elétrica a partir de um processo de queima de elementos acumulados em determinado ecossistema. Entre os materiais mais utilizados citam-se o bagaço de cana e os materiais lenhosos. A queima de biomassa ocasiona a liberação de dióxido de carbono na atmosfera. Porém, este composto foi anteriormente absorvido pelas plantas que deram origem ao combustível, o que proporciona um balanço de emissões de CO₂ nulo. A Suécia e as Ilhas Maurício estão entre os países que registram maior utilização desta fonte como geradora de eletricidade.

O Pará possui um expressivo potencial de biomassa a partir de lenha e resíduos. O estado é o terceiro maior beneficiador de espécies florestais do Brasil, conseqüentemente gera grande quantidade de resíduos, o que representa potencial significativo para utilização desta biomassa para fins energéticos. No município de Paragominas, por exemplo, pertencente à mesorregião Sudeste do estado, cada hectare em área de floresta intacta registra uma concentração de

309 toneladas de biomassa no solo (GERWING *et al.*, 2002). Se apenas a metade desta quantidade de biomassa fosse utilizada para a geração de energia elétrica, com base em um poder calórico de 3.300 kcal/kg e uma eficiência de 20% no processo de geração de eletricidade, seria possível gerar 118 MWh para atender à população (SILVA, 2005). A lenha desempenha um papel estratégico neste cenário.

A lenha (conjunto de troncos de árvores, pedaços e lascas de madeira e gravetos) tem se destacado nos últimos anos como uma importante fonte de energia primária no Pará. Em 2005, participou com 47,6% da oferta interna bruta de energia primária (BEEPA, 2007), porém a utilização ainda incipiente na geração de eletricidade no estado. A maior parte do potencial de biomassa, a partir de material lenhoso, encontra-se nos municípios paraenses do sistema interligado nacional, podendo ser aproveitado como autoprodução, sendo viável também em muitos casos o transporte de biomassa para municípios do sistema isolado, onde o custo do KWh da geração a partir de biomassa for menor que o custo da geração a óleo combustível (PADILHA *et al.* 2005). Neste processo, a estrutura logística possui participação fundamental.

Além da lenha, os resíduos florestais, que compreendem todo o material florestal orgânico que sobra após a retirada da lenha, e os resíduos das madeireiras, também podem ser utilizados como energia primária, sobretudo os oriundos de serrarias. O Pará possui 3.660 serrarias formalmente registradas, e parte destas serrarias não tem destino certo para os seus resíduos, que são queimados a céu aberto ou jogados nos rios, ocasionando grandes danos ao meio ambiente. Os principais resíduos da indústria madeireira são: a serragem, originada da operação das serras, que pode chegar a 12% do volume total de matéria-prima; os cepilhos ou maravilhas, gerados pelas plainas, que podem chegar a 20% do volume total de matéria-prima, nas indústrias de beneficiamento; e os cavacos, compostos por costaneiras, aparas, refilos, cascas e outros, que pode chegar a 50% do volume total de matéria-prima, nas serrarias e laminadoras (HÜEBLIN, 2001).

Quanto aos custos de utilização da biomassa, Padilha *et al.* (2005) observam que, levando-se em consideração que as usinas a vapor detêm custos menores de operação, se comparadas às usinas a diesel, e devido à atratividade técnica e econômica, as usinas termoeletricas podem ser implantadas com sucesso no Pará. Muitas mesorregiões apresentam sustentabilidade para o fornecimento de biomassa. A mesorregião do Marajó foi aquela que apresentou melhor possibilidade de aproveitamento da biomassa dentro da própria área, pois necessitou de pouca biomassa proveniente de outra mesorregião, uma vez que possui um potencial de geração com biomassa energética em torno de 16 MW. É relevante ainda acrescentar que materiais como papéis já utilizados, embalagens de papelão, sobras das toras e árvores perdidas pela exploração vegetal, galhos oriundos de poda de árvores em áreas urbanas e pó de serragem, bastante comum na indústria madeireira do Pará,

também podem ser amplamente utilizados em usinas termelétricas. É relevante ainda mencionar que estes materiais devem estar nas proximidades das usinas ou em rotas estratégicas com facilidade de acesso. A biomassa compreende uma fonte de baixo custo e é menos poluente, podendo representar uma alternativa bastante razoável se estabelecida em média escala no Pará.

4.2 Solar

A utilização da energia solar para a geração de eletricidade pode ocorrer de duas maneiras: indiretamente, gerada pelo uso do calor que alimenta uma central termelétrica; e diretamente, gerada pela utilização de painéis fotovoltaicos. A geração fotovoltaica tem tido muito mais aplicação, sobretudo para a alimentação de pequenos sistemas isolados, de projetos-piloto e de eletrificação de equipamentos solitários (REIS, FADIGAS e CARVALHO, 2005). Esta forma de geração de eletricidade consiste no uso da energia térmica e luminosa captada por painéis solares, constituídos por células fotoelétricas ou fotovoltaicas. O efeito fotovoltaico gera uma diferença de potencial elétrico por meio de radiação, isto é, a célula solar trabalha a partir do princípio de que os fótons (partícula de radiação eletromagnética) incidentes, colidindo com os átomos de certos materiais, ocasionam um deslocamento dos elétrons, carregados negativamente, gerando uma corrente elétrica. De acordo com Walisiewicz (2008), além do estado americano da Califórnia, a Espanha e a Itália também se destacam na utilização desta fonte de geração de eletricidade.

Este tipo de fonte é considerado limpo, renovável e inesgotável. Observe-se, na tabela 7, as emissões de CO₂ por intermédio dos estágios de produção de energia, pertinentes a cada fonte de geração de eletricidade. A energia solar é a que menos lança CO₂ na atmosfera, o que a recomenda estrategicamente como fonte complementar de geração de eletricidade.

TABELA 7

Emissões de CO₂ nos estágios de produção de energia (Ton/GWh)

Fontes de eletricidade	Construção	Operação	Total
Carvão mineral	1	962	963
Gás natural	0	484	484
Eólica	7	-	7
Solar	5	-	5

Fonte: World Energy Council (2001).

As principais desvantagens da fonte solar são o alto custo de implantação de placas termossolares, muito onerosas para se viabilizar a produção de eletricidade em grande escala, e sua irregularidade na forma de distribuição uniforme, o que requer grandes áreas de coleta e sistemas de armazenamento. Todavia, como destaca

Bermann (2003), a conversão fotovoltaica surge como alternativa de suprimento, de modo a promover a geração de empregos locais, a manutenção da receita da produção e da comercialização da energia na própria região, e um processo de desenvolvimento autossustentado.

O potencial de geração de empregos a partir da energia solar pode ser demonstrado por meio da composição dos segmentos da cadeia produtiva, desde o beneficiamento do quartzo (mineral não metálico de onde se extrai o silício, insumo dos painéis fotovoltaicos) até a produção e distribuição da energia solar propriamente dita. No tocante ao beneficiamento do quartzo, destaca-se que, de acordo com o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2005), o Pará possui reservas de quartzo da ordem de 1.627.994 t, notadamente em Breu Branco e Marabá, municípios pertencentes à mesorregião Sudeste do estado, o que equivale a 36,6% das reservas nacionais deste mineral. Inserem-se ainda no ambiente em cadeia as transações decorrentes do processo natural de interação entre os segmentos produtivos. Todo este cenário permite a construção de um processo de desenvolvimento autossustentado em nível local.

No estado do Pará, a utilização da fonte solar é indicada graças a uma grande quantidade de radiação solar de que o estado dispõe durante todo o ano. Conforme Marques Filho e Dallarosa (2004), a Amazônia recebe, em média, 400 calorías por centímetro diariamente; destas, cerca de 120 referem-se ao território paraense, quantidade que é muitas vezes maior que a demanda do estado. De acordo com Silva (2005), se cada quilômetro quadrado no Pará fosse recoberto por painéis fotovoltaicos, o estado poderia fornecer entre 530 a 590 MWh por ano.

A inclusão da fonte solar na matriz elétrica do Pará, apesar dos relativamente altos investimentos iniciais, é necessária no médio prazo. Assim, estes investimentos poderiam se dar por meio de subsídios do governo federal (dado que o Pará não possui esta autonomia), que seriam empregados em duas etapas: na primeira, no curto prazo, o insumo energético poderia ser utilizado para o pré-aquecimento no setor industrial, e, em uma segunda etapa, no médio prazo, a utilização seria estendida a áreas residenciais específicas. Neste sentido, os subsídios seriam direcionados para se baratear a compra de equipamentos solares térmicos e se possibilitar a operação destas etapas.

De acordo com o Instituto Nacional de Propriedade Industrial – INPI (2008), o avanço de tecnologias indica que a contribuição da energia solar tende cada vez mais a constituir-se em uma alternativa energética adicional na oferta das energias convencionais, com aplicações estratégicas de natureza específica e localizada. Ainda segundo o INPI, o desenvolvimento de modernos painéis compostos com películas de telureto de cádmio tende no curto prazo a disponibilizar ao mercado níveis de eficiência capazes de traduzirem a energia solar em eletricidade, a partir de custos estimados de R\$ 0,11/KW/h.

A utilização estratégica desta fonte de energia não se vincula às estruturas formadas por grandes aglomerados de eletricidade com distribuição por intermédio de linhas de transmissão, dotadas de altos custos, causadoras de impactos ambientais quando de sua implantação e detentora de perdas expressivas de energia. A conduta estratégica deve prezar justamente por centrais de pequeno e médio porte, posto que esta fonte de eletricidade pode ser encontrada potencialmente em qualquer lugar do estado. Áreas do Sudoeste e Noroeste do Pará seriam propícias para iniciar a implantação de painéis fotovoltaicos.

4.3 Eólica

A energia eólica é oriunda de uma tecnologia que utiliza a força dos ventos, a qual opera turbinas ligadas a redes de eletricidade. Este tipo de fonte de energia tende a crescer notadamente em países desenvolvidos na medida em que, por ser renovável, possui baixo custo de externalidades, não queima combustíveis fósseis e não emite gases poluentes que ocasionam o efeito estufa. De acordo com Walisiewicz (2008), além da Alemanha, a Dinamarca também utiliza-se destes benefícios, sendo 13% de sua eletricidade gerada a partir de fonte eólica.

Como desvantagens desta fonte destacam-se a alteração da paisagem quando da implantação de sua infraestrutura, composta por hélices e torres; a emissão de ruídos de baixa frequência, que causa interferências ocasionais em aparelhos de televisão; a ameaça às rotas migratórias de pássaros, em virtude da utilização de grandes hélices enfileiradas; e a improdutividade desta fonte em algumas regiões pela inconstância de ventos, baixa intensidade destes e desperdício de energia na ocorrência de fortes chuvas.

No território paraense registram-se ventos com velocidade entre 3,5 e 4 metros por segundo, em uma altura de 50 metros. De acordo com Silva (2005), se uma turbina eólica de 300 KW, com diâmetro de rotor de 33,4 metros fosse instalada a partir da mencionada velocidade, produziria uma potência máxima de 8,9 a 15 KW. Para o autor, estas velocidades seriam suficientes para operar turbinas eólicas com velocidades a partir de 3 m/s. No entanto, a velocidade de ventos entre 3,5 e 4 m/s, dominante no Pará, está entre as suficientes para apenas operar as turbinas eólicas em condições mínimas, e Silva (*op. cit.*) admite que estas turbinas jamais alcançariam um desempenho ótimo, o que inviabilizaria um amplo programa de implantação de turbinas no estado. No norte da Alemanha, por exemplo, a média anual dos ventos está acima de 6,5 m/s, o que propiciou o aproveitamento desta fonte de eletricidade naquele país como componente estratégico de sua matriz elétrica.

A partir de estudos mais próximos da base local de dados, verificou-se que a utilização desta fonte de energia elétrica não é recomendada como elemento de composição da matriz elétrica paraense. De acordo com Rendeiro (2003), o Pará possui grande parte de seu território com baixa densidade de ventos, o que

desaconselha a utilização deste tipo de energia em larga ou mesmo em média escala. O Pará ainda apresenta uma desvantagem para a utilização da energia eólica – a improdutividade desta fonte em algumas microrregiões do estado pela inconstância de ventos, baixa intensidade destes e desperdício de energia na ocorrência de fortes chuvas. Conforme o IBGE (2008), as chuvas são abundantes no Pará, com a precipitação anual variando de 1.500 mm, no sul do estado, a 3.500 mm – 4.000 mm, no estuário do rio Amazonas.

Portanto, conclui-se que esta fonte deve ser utilizada em algumas pequenas áreas isoladas, notadamente no Nordeste do estado, o que traria inúmeros benefícios às comunidades locais. Entretanto, em âmbito global, a fonte eólica não teria representatividade suficiente para atrair investimentos que a transformassem em uma fonte complementar estratégica na matriz elétrica paraense.

4.4 Nuclear

A energia nuclear é a energia contida no núcleo dos átomos, a qual mantém prótons e nêutrons juntos. Suas principais aplicações são a produção de material radioativo, para utilização nos campos da medicina e da agricultura, e a geração de energia elétrica, foco de atenção deste artigo. A geração de eletricidade se dá a partir de base térmica – o calor produzido na fissão (reação na qual um nêutron, ao se chocar com um núcleo atômico, faz com que este se parta, liberando energia), para movimentar o vapor de água, ocasiona o funcionamento de turbinas que produzem a eletricidade.

O desenvolvimento de reatores nucleares seguros (sistemas que realizam a produção controlada de uma reação nuclear de fissão) diminui substancialmente o risco de acidentes, e os desenvolvimentos tecnológicos de monta para que se torne economicamente viável apontam para esta fonte como a que oferece as melhores perspectivas no longo prazo. Países como França e Lituânia obtêm mais de três quartos da sua energia elétrica através destes reatores (WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2008).

De acordo com a maior parte dos autores, a vantagem desta fonte está em sua tecnologia, capaz de reduzir as emissões de gases na produção de energia elétrica e os impactos climáticos originados pela geração de eletricidade. Observa-se, na tabela 8, uma estimativa dos custos para a sociedade e para o meio ambiente, decorrentes do uso da energia nuclear, em comparação com outras fontes. De acordo com a Eletrobrás (2002, *apud* BORGES, 2007), apesar de não terem sido incluídos os custos referentes ao lixo nuclear e à desativação, os custos de externalidades da energia nuclear, de US\$ 0,19 a 0,58, são relativamente baixos em comparação a fontes como o carvão mineral, com custos entre US\$ 1,94 e

14,60, e o gás natural, com custos entre US\$ 0,97 e 3,89. Entretanto, é relevante alertar os que defendem a tecnologia nuclear como não emissora de gases de efeito estufa que, se forem incorporados os cálculos do processo completo deste tipo de energia, incluindo mineração do urânio, transporte, enriquecimento do urânio, posterior desmontagem da central, e o processamento e confinamento dos resíduos radioativos, conclui-se que a opção pela fonte nuclear produz entre 30 e 60 gramas de CO₂ por KW/h gerado (AIEA, 2008).

TABELA 8

Custos de externalidades no uso da energia elétrica (2002)

Fontes de eletricidade	Centavos de US\$ / KWh
Carvão mineral	1,94 a 14,60
Gás natural	0,97 a 3,89
Eólica	0,05 a 0,24
Nuclear	0,19 a 0,58

Fonte: Eletrobrás (2002, *apud* Borges, 2007).

Obs.: O cálculo dos custos de externalidades no uso da energia elétrica realizado pela Eletrobrás em 2002 é bastante preciso e completo. Dados mais recentes foram levantados, porém as metodologias utilizadas não englobam a totalidade dos reais custos destas externalidades. Neste sentido, optou-se pela utilização de dados de 2002.

Para a realidade brasileira, é interessante a difusão da fonte nuclear. A tendência de crescimento do consumo nacional de eletricidade não pode desconsiderar uma relevante participação complementar em sua matriz elétrica. O país não pode permanecer refém dos reservatórios, e esta afirmação justifica-se por três motivos: *i*) as secas prolongadas, muitas vezes, ameaçam a disponibilidade de eletricidade à população, na medida em que comprometem as reservas de energia; *ii*) o alagamento de milhares de quilômetros de áreas para a construção de reservatórios ameaça a fauna, a flora, os vários grupos sociais existentes, e emite grandes quantidades de gases poluentes; e *iii*) os riscos e a complexidade da geração termonuclear reduziram-se bastante nos últimos anos, em virtude dos avanços que envolvem segurança e tecnologia.

A energia nuclear possui papel estratégico no processo de transformação da matriz elétrica brasileira, e as usinas de Angra I e II, com potências, respectivamente, de 657 MW e 1.350 MW (ANEEL, 2009), já representam, ainda que de forma modesta, o despontar desta nova realidade. Atualmente, 2,8% da eletricidade gerada no Brasil vêm de fonte nuclear (BRASIL, 2009). Os investimentos devem continuar para que esta fonte possa conquistar uma maior participação no cenário energético do país.

Quanto ao Pará, caracteriza-se por ser um estado exportador de energia elétrica, dotado de potencialidades exploradas, como a energia hídrica, e de potencialidades a serem mais bem exploradas, como a energia solar e a biomassa. A utilização de potencialidades nucleares na produção de eletricidade não é

indicada, em virtude das diversas alternativas energéticas de que o estado dispõe e em virtude de o Pará não se constituir em um grande centro de consumo. As usinas nucleares devem ser estrategicamente instaladas junto aos grandes centros de consumo de eletricidade na região Sudeste do país, e com estruturas logísticas próximas às principais reservas brasileiras de urânio (“alimento” da usina nuclear), localizadas nos estados da Bahia e do Ceará.

Observadas as potencialidades e limitações da biomassa e das fontes hídrica, solar, eólica e nuclear, apresenta-se uma análise global da avaliação de possibilidades de inserção de algumas destas modalidades na matriz elétrica paraense. As dimensões utilizadas nesta análise foram a econômica, a social, a ambiental e a tecnológica, por estas melhor caracterizarem o ambiente do desenvolvimento sustentável (quadro 4).

QUADRO 4

Análise do grau de desempenho, por dimensão, das fontes de geração de eletricidade com base na realidade do estado do Pará

Fontes	Dimensões	Análise	Grau de desempenho
HÍDRICA	Econômica	<ul style="list-style-type: none"> • Custos de construção dos reservatórios: R\$1.140,00/MW (baixos). • Custos após a construção: baixos. 	3
	Social	<ul style="list-style-type: none"> • Geração de empregos na construção dos reservatórios: alta. • Geração de empregos após a construção: alta, se considerado o impulso na promoção de várias atividades econômicas. 	3
	Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Emissões de gases poluentes: 36 mil toneladas por Km² de área alagada entre 1995 e 2005, considerada média. 	2
	Tecnológica	<ul style="list-style-type: none"> • Densidade energética: 3,4 MW/km², acima da média, que é de 1 MW/Km². 	3
BIOMASSA	Econômica	<ul style="list-style-type: none"> • Custos de construção de uma pequena central: R\$ 80,00/MW (baixos). • Custo médio estimado pela ANEEL: R\$ 89,90/MW 	3
	Social	<ul style="list-style-type: none"> • Geração de empregos: 300 empregos diretos e indiretos por central. 	2
	Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Emissões de gases poluentes: nula. • Ameaça de devastação se cada central operar além de 80MW e se não houver gestão eficiente de coleta de materiais. 	2
	Tecnológica	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade de geração: 309 toneladas de biomassa por hectare em algumas mesorregiões. • Capacidade correspondente à geração de 236 MW, caracterizando um rendimento médio. 	2

(Continua)

(Continuação)

Fontes	Dimensões	Análise	Grau de desempenho
SOLAR	Econômica	<ul style="list-style-type: none"> • Custos de instalação de sistema fotovoltaico com 50 painéis de 1,98 KW/PICO: R\$ 65.000,00 (alto). • Os custos são três vezes maiores do que aqueles verificados em outras fontes. 	1
	Social	<ul style="list-style-type: none"> • Geração de empregos: média de um emprego direto para cada 32 painéis fotovoltaicos. Considerada de médio impacto na cadeia produtiva solar no Pará. 	2
	Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Emissões de gases poluentes na construção da central: 5 toneladas/GWh. • Emissões em sua operação: nula. Em cômputo global é considerada uma das fontes de menor emissão de gases. 	3
	Tecnológica	<ul style="list-style-type: none"> • Potencial de radiação solar: cerca de 120 calorias por centímetro diariamente – quantidade muitas vezes maior que a demanda do estado. • Características infraestruturais: exige grandes áreas uniformes em locais estratégicos para instalação dos painéis. 	2
EÓLICA	Econômica	<ul style="list-style-type: none"> • Custo de instalação de um parque eólico: R\$ 1.700,00/KW (alto). • O retorno do investimento seria prejudicado pela relação entre custos e densidade dos ventos no Pará. 	1
	Social	<ul style="list-style-type: none"> • Geração de empregos: apesar do potencial de criação de postos de trabalho, o estado não detém características naturais capazes de promoverem a cadeia produtiva eólica. 	1
	Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Emissões de gases poluentes na construção da central: 7 toneladas/GWh. Emissões em sua operação: nula. 	3
	Tecnológica	<ul style="list-style-type: none"> • Densidade dos ventos: velocidade abaixo de 4 m/s (baixo desempenho). • Características: inconstância de ventos, fortes chuvas, com precipitação anual variando de 1.500 mm e 4 mil mm. 	1
NUCLEAR	Econômica	<ul style="list-style-type: none"> • Custos de instalação: altos custos por causa dos sistemas de emergência, contenção, resíduo radioativo e armazenamento. • O retorno do investimento: muito baixo, tendo em vista que o Pará não dispõe de características naturais que recomendem uma participação atuante desta fonte. 	1
	Social	<ul style="list-style-type: none"> • Geração de empregos: baixa capacidade de geração de postos de trabalho nas atividades de operação e manutenção. 	1
	Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Emissões de gases poluentes: 30 a 60 gramas de CO₂ por KW/h gerado (desempenho médio). 	2
	Tecnológica	<ul style="list-style-type: none"> • Intensidade energética: alta concentração de geração de energia, pois se utiliza o resíduo compacto. • Características: perfil geológico, tecnológico e estratégico não identificado com as realidades verificadas no Pará. 	2

Fonte: Elaboração do autor.

Obs.: 1. Nota metodológica: o grau de desempenho foi classificado em três níveis: 3 – Alto desempenho; 2 – Médio desempenho; 1 – Baixo desempenho. Considerando que a soma do grau de desempenho das dimensões de uma fonte tem valor máximo de 12 e mínimo de 4, a fonte que alcançou valor igual ou acima de 8 teve sua utilização recomendada na matriz elétrica paraense.

Apesar de as fontes hídrica, biomassa e solar terem, de modo geral, atingido graus de atuação que as recomendam à matriz elétrica paraense, elas apresentam, nas dimensões econômica, social, ambiental e tecnológica, diferentes graus de desempenho. Para que seja possível identificar um posicionamento estratégico ideal para a participação de cada fonte na matriz, foi utilizada a seguinte equação:

$$\lambda = \frac{\sigma}{\eta} \times 100$$

onde:

λ = participação percentual recomendada de determinada fonte na matriz elétrica

$\sigma = \Omega + \delta + \beta + \vartheta$

Ω = grau de desempenho da fonte na dimensão econômica

δ = grau de desempenho da fonte na dimensão social

β = grau de desempenho da fonte na dimensão ambiental

ϑ = grau de desempenho da fonte na dimensão tecnológica

η = soma do $\sigma \geq 8$ de todas as fontes analisadas

O resultado da equação recomendou que o melhor posicionamento das fontes de eletricidade na matriz elétrica paraense seria: 39% a partir de fonte hídrica, 32% baseada em biomassa e 29% a partir de fonte solar. O alcance deste cenário exigiria uma ampla e profunda modificação infraestrutural no sistema de geração de eletricidade no estado e somente poderia ser vislumbrado no longo prazo. Na tentativa de se caminhar para este ideal, apresenta-se, a seguir, uma proposta para 2020, que obedece ao resultado recomendado pelas equações quanto à proporcionalidade de participação de cada fonte na matriz, porém, dentro das possibilidades de atendimento das demandas de consumo de eletricidade, bem como de tempo hábil para implantação da infraestrutura e para obtenção de investimentos nos próximos dez anos no Pará.

A fonte hídrica, recomendada em maior proporção de utilização, deve diminuir sua participação na matriz paraense. A redução, de 96% registrada em 2005 para a meta de 80% em 2020 (tabela 9), não equivale a desativação de parte de potencial hídrico estadual, mas ao atendimento proporcional do crescimento da demanda a partir de outras fontes de energia. A biomassa e a solar compreendem duas fontes a serem difundidas no médio prazo e devem possuir destacado papel no processo de transformação da matriz elétrica. Estas fontes devem responder por 12% e 7%, respectivamente, na matriz de 2020. Atualmente, estas fontes respondem por 1% da participação na geração de eletricidade. As outras fontes não devem ultrapassar 1%, registrando-se aqui que a quase totalidade desta participação refere-se à utilização de óleo, ou seja, de combustível fóssil, para a geração elétrica.

TABELA 9

Matriz elétrica proposta para o estado do Pará (2020)

Fontes de eletricidade	Participação (%)
Hídrica	80
Biomassa	12
Solar	7
Outros	1
Total	100

Fonte: Elaboração do autor.

As empresas envolvidas com a cadeia energética de fontes de biomassa e solar no Pará deverão formar dois importantes setores que juntos movimentarão cerca de R\$ 30 milhões e gerarão aproximadamente 20 mil empregos diretos nos próximos dez anos. No caso da biomassa, destaca-se que sua produção é intensiva de trabalho, e não de capital (como o petróleo, por exemplo). Esta indústria gera 300 empregos por usina, nestes não estando inclusos os coletores de biomassa e os empregos para quadros qualificados, que são aqueles envolvidos em pesquisa de espécies, processos de transformação industrial e novas utilizações. Neste sentido, com base no potencial estadual estimado, esta indústria teria capacidade de gerar, no decorrer de dez anos, 12 mil empregos diretos e 36 mil indiretos. Quanto à indústria solar, a realidade brasileira demonstra que a cada 32 painéis fotovoltaicos, aproximadamente, um emprego direto é gerado. No Pará, o potencial de produção anual poderia ser de 260 mil painéis, o que geraria cerca de 8 mil empregos diretos nos próximos dez anos.

A participação mais atuante da biomassa e da radiação solar como fontes energéticas deverá evitar o lançamento de emissões em cerca de 15 milhões de toneladas de gás carbônico em dez anos. Este novo cenário reduziria a contribuição paraense na emissão de gases a partir de fontes de eletricidade e demonstraria uma iniciativa de compensar uma pequena parte dos impactos causados ao aquecimento global pelas imensas áreas alagadas em virtude da construção das usinas de Tucuruí (Eletronorte) e de Curuá-Una (Celpa), ambas no Pará.

Em suma, o processo de diversificação da matriz elétrica paraense com uso de fontes renováveis de energia alternativa, como biomassa, radiação solar e até mesmo aquela proveniente de pequenas hidrelétricas, possui dois papéis estratégicos no reposicionamento da matriz elétrica do estado em direção ao seu desenvolvimento sustentável. O primeiro, caracterizado por um esforço concreto para solução de problemas ambientais oriundos de fontes de geração de eletricidade no estado, na medida em que se reduzam as emissões atmosféricas de gases poluentes. O segundo, concernente ao combate à pobreza por meio da geração de empregos e da oferta de oportunidades a partir de uma cadeia produtiva local de tecnologia energética não dependente de importações.

É relevante destacar ainda que as formas de utilização e distribuição da energia elétrica gerada no Pará também interferem no processo de desenvolvimento do estado. Apesar de este cenário não ser aqui objeto de discussão, registra-se que aproximadamente a metade do consumo de energia elétrica no estado está direcionada a grupos eletrointensivos. De acordo com Bermann (2003), o subsídio proporcionado pelos contratos de fornecimento de energia produzida pela usina de Tucuruí representa para a Eletronorte uma perda de aproximadamente R\$ 370 milhões ao ano. Desenvolver no Pará uma infraestrutura associada ao perfil destas indústrias equivale a se adotar uma política de não agregação de valor às mercadorias produzidas no estado e ainda se arcar com os custos socioambientais desta geração, o que dificulta a evolução do processo de desenvolvimento socioeconômico. Neste panorama, além de sua população se tornar suscetível aos amplos impactos sociais e ambientais provenientes da construção destes grandes projetos, coloca o estado em uma condição de submissão à lógica do capital (BORGES, 2007). Isto ocorre na medida em que exclui várias comunidades paraenses de benefícios sociais em favor da ampliação do PIB nacional no curto prazo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da necessidade de transformação das matrizes elétricas, muitas nações passaram a repensar seus posicionamentos energéticos, na intenção de se promover um processo de desenvolvimento sustentável. Este trabalho analisou três realidades distintas. Na Alemanha, o esforço de transformação na matriz elétrica está pautado notadamente na ampliação da participação da energia eólica. No estado americano da Califórnia, as iniciativas estão basicamente alicerçadas no aumento da proporção utilizada da energia solar. E na China, os esforços estão fundamentados na ampliação da participação de três fontes: hídrica, nuclear e gás natural.

Frente a este desafio mundial, analisou-se aqui a viabilidade de inserção das principais fontes de geração de eletricidade de crescente difusão nas realidades verificadas, para as especificidades econômicas, tecnológicas e naturais do Pará. A intenção foi aperfeiçoar o posicionamento estratégico da matriz elétrica paraense na promoção do desenvolvimento sustentável no estado. Assim, foram avaliadas as seguintes fontes: hídrica, biomassa, solar, eólica e nuclear.

No tocante à fonte hídrica, observou-se que o Pará registra um alto desempenho para as dimensões econômica, social e tecnológica, e um médio desempenho na dimensão ambiental – o que indica sua utilização. Em relação à biomassa, o estudo verificou que o estado apresenta alto desempenho para a dimensão econômica, médio desempenho para a dimensão social, médio desempenho para a dimensão ambiental e médio desempenho para a dimensão tecnológica. Sua utilização é indicada. O estado é o terceiro maior beneficiador de espécies florestais do Brasil, e conseqüentemente gera grande quantidade de resíduos, o que representa potencial

significativo para utilização desta biomassa para fins energéticos. No tocante à fonte solar, observou-se que o estado apresentou baixo desempenho na dimensão econômica, médio desempenho para a social, alto desempenho na dimensão ambiental e médio desempenho para a dimensão tecnológica. Sua utilização é indicada, graças à enorme quantidade de radiação solar de que o estado dispõe durante todo o ano. Em relação à fonte eólica, verificou-se baixo desempenho para a dimensão econômica, baixo desempenho para a dimensão social, alto desempenho para a dimensão ambiental e baixo desempenho para a dimensão tecnológica. Não se aconselha sua utilização. O estado possui grande parte do território com baixa densidade de ventos – menos que 4 m/s –, e inconstância destes. Quanto à fonte nuclear, observa-se baixo desempenho para a dimensão econômica, baixo desempenho para a dimensão social, médio desempenho para a dimensão ambiental e médio desempenho para a dimensão tecnológica. A utilização de potencialidades nucleares na produção de eletricidade não é indicada, uma vez que não encontra sustentação nas peculiaridades geológicas, econômicas e tecnológicas do estado.

Tomando por referência o resultado de equações matemáticas, no que concerne às proporcionalidades de participação das fontes na matriz elétrica, elaborou-se uma proposta para 2020, que observa as realidades de ritmo de crescimento do consumo de energia elétrica, de condições infraestruturais e de investimento. A fonte hídrica deve reduzir sua participação na matriz paraense, de 96%, registrada em 2005, para a meta de 80% em 2020. A biomassa e a solar compreendem duas fontes a serem difundidas no médio prazo e devem possuir destacado papel no processo de transformação da matriz elétrica. Juntas, devem responder por 19% da matriz em 2020 (biomassa: 12%; solar: 7%). Hoje, cada uma das fontes responde por 1% da participação na geração de eletricidade no Pará. As demais fontes não devem ultrapassar 1%. Neste sentido, o planejamento de investimentos no setor elétrico deve ser um compromisso governamental com uma melhor proporcionalidade das fontes geradoras de energia.

A expectativa no cenário de desenvolvimento do estado do Pará é a de que as empresas envolvidas com a cadeia energética de fontes solar e biomassa venham a constituir dois novos setores que devem movimentar juntos cerca de R\$ 30 milhões e gerar aproximadamente 20 mil empregos diretos nos próximos dez anos. A inclusão destas fontes de energia na matriz elétrica deverá evitar o lançamento de emissões em cerca de 15 milhões de toneladas de gás carbônico em igual período. Este novo cenário reduziria a contribuição paraense na emissão de gases poluentes a partir de fontes de eletricidade e demonstraria uma iniciativa de compensar uma pequena parte dos impactos causados ao aquecimento global pelas imensas áreas alagadas devido à construção das usinas hidrelétricas no estado.

Por fim, convém destacar que o esforço de construção de matrizes mais comprometidas com os desafios competitivos e ambientais apresentados pelo

panorama internacional na atualidade deve ser resultado de um plano nacional sustentável e integrado. Se o planejamento do governo federal não estiver comprometido com a necessidade de transformação da matriz elétrica nacional e o discurso político continuar comprometido com a geração de PIB no curto prazo, fatalmente o crescimento do consumo de eletricidade no país irá indicar a necessidade de construção de novas hidrelétricas no Pará, o que comprometeria substancialmente a matriz elétrica proposta para 2020.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA ATÔMICA (AIEA). **Centro de notícias**. Viena: International Atomic Energy Agency (IAEA), 2008. Disponível em: <<http://www.iaea.org/News-Center/index.html>>. Acesso em: 25 de set. 2008.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Banco de informação de geração**: banco de dados. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/15htm>>. Acesso em: 15 de set. 2009.
- AGUIAR, A. P. *et al.* Cálculo de emissões de CO₂ por desmatamento - metodologia para Amazônia. *In: VII Seminário técnico científico de análise dos dados do desmatamento*. Brasília, 20-21 maio 2010. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/seminario2010/CST_emissoes_inpe.pdf>. Acesso em: 25 de maio 2010.
- ARAGÓN, L. E. Desenvolvimento sustentável e cooperação internacional. *In: XIMENES, T. (Org.). Perspectivas do desenvolvimento sustentável*. Belém: Núcleo de Altos Estudos (NAEA)/ Universidade Federal do Pará (UFPA), p. 577-604, 1997.
- BERMANN, C. **Energia no Brasil**: para quê? Para quem? Crise e alternativas para um país sustentável. São Paulo: Livraria da Física, 2003.
- BORGES, F. Q. **Setor elétrico e desenvolvimento no estado do Pará**: uma análise estratégica de indicadores de sustentabilidade. Tese (Doutorado), Núcleo de Altos Estudos (NAEA), Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, 2007.
- BP GLOBAL. **Statistical Review of World Energy 2010**. Disponível em: <<http://www.bp.com/productlanding.do?categoryId=6929&contentId=7044622>>. Acesso em: 5 de jun. 2008.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco de energia nacional**. Brasília, 2009.
- _____. **Balanco de energia útil**. Brasília, 2006.
- BRUYN, S.; DRUNDEN, M. **Sustainability and indicators in Amazon**: conceptual framework for use in Amazon. Amsterdam: VRIJE, 1999.
- CENTRAIS ELÉTRICAS DO PARÁ. **Relatório da administração**: exercício de 2008. Belém, 2009.
- _____. **Relatório da administração**: exercício de 2005. Belém, 2006.
- CENTRO BRASILEIRO DE INFRAESTRUTURA. **Destaques**. Disponível em: www.cbie.com.br. Acessado em: 20 out. 2008.
- CENTRO NACIONAL DE ESTATÍSTICA DA CHINA. Disponível em: <<http://www.stats.gov.cn/english/statisticaldata/yearlydata/>>. Acesso em: 5 de jun. 2008.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Anuário mineral brasileiro**. Brasília: Ministério de Minas e Energia (MME), 2005.

- DEUTSCHE ENERGIE AGENTUR. **Erneuerbare Energien**: windparks. Berlim, 2008.
- _____. **Intelligente Nutzung von Energie**. Berlim: DENA, 2007.
- DEUTSCH WIND ENERGY ASSOCIATION. Disponível em: <<http://www.wind-energie.de/en/>>. Acesso em: 14 de jan. 2009.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 20 de jan. 2010.
- ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA). **International energy outlook**. Washington: EIA, 2008. Disponível em: <<http://www.eia.doe.gov/oiaf/archive>>. Acesso em: 14 de jan. 2008.
- FEARNSIDE, P. M. **A floresta amazônica e as mudanças globais**. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), 2004.
- GERWING, J. *et al.* Rendimentos no processamento de madeira no estado do Pará. **Série Amazônia n. 18**, Belém: Instituto do homem e meio ambiente da Amazônia (IMAZON), 2002.
- GOLDEMBERG, J.; MOREIRA, J. R. **Política energética no Brasil**. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados (IEA)/Universidade de São Paulo (USP), 2005.
- HUEBLIN, H. J. **Modelo para aplicação da metodologia Zeri**: sistema de aproveitamento integral da biomassa de árvores de reflorestamento. Dissertação (Mestrado), Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná (CEFET-PR), Curitiba, 2001.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapas interativos**. Rio de Janeiro, 2008.
- _____. **Estimativas populacionais**. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 25 de dez. 2009.
- _____. **Indicadores**. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 2 de ago. 2008.
- INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, SOCIAL E AMBIENTAL DO PARÁ (IDESP). **Balanco energético do estado do Pará (BEEPA)**. Belém: BEEPA, 2007.
- INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INDUSTRIAL (INPI). **Revista de propriedade industrial**. São Paulo, n. 1951, 2008.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Fourth assessment report**. Boston, 2007.
- KITAMURA, P. C. **A Amazônia e o desenvolvimento sustentável**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), 1994.
- MARIN, R. E. A. Amazônia: o custo ecológico das hidrelétricas. *In*: MAGALHÃES, S. B.; BRITTO, R. C.; CASTRO, E. R. (Org.). **Energia na Amazônia**. Belém: Universidade Federal do Pará (UFPA)/Associação de Universidades Amazônicas (UNAMAZ), vol. II, 2000.
- MARQUES FILHO, A. O.; DALLAROSA, R. G. Intercepção de radiação solar e distribuição de área foliar em floresta de terra firme na Amazônia central. **Revista Acta Amazônica**, Manaus, 2004.
- NEXT 10. **Green Innovation Index**. Califórnia: s./e., 2008.
- PADILHA, J. L. *et al.* Potencial de geração de energia elétrica no estado do Pará: utilizando a biomassa do setor madeireiro. **Revista Biomassa e Energia**, vol. 2, n. 4, p. 267-284, 2005.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). **Objetivos de desenvolvimento para o novo milênio**: relatório nacional de acompanhamento. 2007.

REDCLIFT, M. **Sustainable development**: exploring the contradictions. London: Routledge, 1987.

REIS, L. B.; FADIGAS, E. A. A.; CARVALHO, C. E. **Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável**. Coleção ambiental, São Paulo: Manole, 2005.

RENDEIRO, G. Experimental analysis of assai palm biomass for energy power generation. In: **7th International conference on energy for a clean environment**. Lisboa, 2003.

SANTOS, M. A. **Inventário das emissões de gases de efeito estufa derivados de hidrelétricas**. Tese (Doutorado), Coordenação dos programas de pós-graduação de engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2000. 523 f.

SECRETARIA EXECUTIVA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E FINANÇAS (SEPOF). **Relatório da diretoria de estudos, pesquisas e informações socioeconômicas**. Belém, 2008.

_____. **Relatório da diretoria de estudos, pesquisas e informações socioeconômicas**. Belém, 2006.

_____. **Relatório da diretoria de estudos, pesquisas e informações socioeconômicas**. Belém, 2004.

SILVA, M. V. M. **A dinâmica excludente do sistema elétrico paraense**. Tese (Doutorado), Escola Politécnica (EP), Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade (FEA), Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE), Instituto de Física (IF), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SPANGENBERG, J. H. **Measuring and communicating sustainability with indicators**: terms of reference for a CSD core indicator test in main catchment area regions. New York: UN/E/CN, 2000.

STAHEL, A. W. **Capitalismo e entropia**: os aspectos ideológicos de uma contradição e a busca de alternativas sustentáveis. São Paulo: Cortez, 1995.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Visão prospectiva da matriz energética brasileira: energizando o desenvolvimento sustentável do país. **Revista Brasileira de Energia**, vol. 13, n. 1, Rio de Janeiro: SBPA, 2007.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas, 2009.

WALISIEWICZ, M. **Energia alternativa**: solar, eólica, hidrelétrica e de biocombustíveis. São Paulo: Publifolha, 2008.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT DEVELOPMENT (WCED). **Uma visão geral**. Oxford: Universidade de Oxford, 1991.

WORLD ENERGY COUNCIL (WEC). **Renewable energy resources**: opportunities and constraints (1990-2020). 2001.

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION (WNA). **Supply of uranium**. Disponível em: <<http://www.world.nuclear.org/info/inf75.htm>>. Acesso em: 14 de set. 2008.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

CAMARGO, A. S. G.; UGAYA, C. M. L.; AGUDELO, L. P. P. Proposta de definição de indicadores de sustentabilidade para geração de energia elétrica. **Revista Educação e Tecnologia**, Rio de Janeiro: CEFET/PR/MG/RJ, 2004.

CENTRAIS ELÉTRICAS DO NORTE DO BRASIL. **Relatório de utilização de fontes alternativas de energia elétrica**. Brasília, 2002.

SOUZA, R. C. R.; SILVA, E. P.; SANTOS, E. C. S. Elementos contemporâneos que oportunizam o uso de biomassa lenhosa para fins energéticos na Amazônia. **Revista Brasileira de Energia**, vol. 11, n. 1, Rio de Janeiro: SBPA, 2007.

VANNI, S. R. **Estudo de viabilidade econômica de fontes alternativas de energia de uma comunidade típica da região Nordeste do Brasil**. Dissertação (Mestrado), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), São Paulo, 2008.

