

**CONTRATO Nº 12/2018**

**TDR Nº 66**

**ANÁLISE DOS REFLEXOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NAS METODOLOGIAS DE  
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS**

**META**

PROJETO DE ASSISTÊNCIA  
TÉCNICA DOS SETORES DE  
ENERGIA E MINERAL



**BANCO MUNDIAL**

BIRD • AID | GRUPO BANCO MUNDIAL

América Latina e Caribe

*Oportunidades para todos*

**MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA**



**PRODUTO 2**

**ESTADO DA ARTE DA VULNERABILIDADE DO SETOR  
ELÉTRICO**

Pesquisa/Produto/Trabalho executado com recursos provenientes do Acordo de Empréstimo nº 8.095-BR, formalizado entre a República Federativa do Brasil e o Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento – BIRD, em 1º de março de 2012.

**Brasília-DF, 02 de Agosto de 2018.**

## **1. INTRODUÇÃO**

## **2. FUNDAMENTOS GERAIS**

## **3. ESTADO DA ARTE SOBRE VULNERABILIDADE EM DIFERENTES SETORES**

## **4. VULNERABILIDADE ENERGÉTICA**

## **5. VULNERABILIDADE APLICADA AO SETOR ELÉTRICO**

## **6. VULNERABILIDADE INCORPORANDO O LADO DA DEMANDA (DA SOCIEDADE)**

## **7. PROPOSIÇÕES E OBSERVAÇÕES FINAIS**

## 1. INTRODUÇÃO

## 2. FUNDAMENTOS GERAIS

## 3. ESTADO DA ARTE SOBRE VULNERABILIDADE EM DIFERENTES SETORES

## 4. VULNERABILIDADE ENERGÉTICA

## 5. VULNERABILIDADE APLICADA AO SETOR ELÉTRICO

## 6. VULNERABILIDADE INCORPORANDO O LADO DA DEMANDA (DA SOCIEDADE)

## 7. PROPOSIÇÕES E OBSERVAÇÕES FINAIS

- O levantamento do estado da arte do tema **vulnerabilidade** do setor elétrico face às mudanças climáticas **exige uma visão abrangente**, dada a diversidade de conceitos e de nomenclaturas envolvidos, muitas vezes contraditórios
- O **conceito de vulnerabilidade** exige, previamente, definições que estão diretamente relacionados e são correntes, como incerteza, risco, ameaça, fragilidade, resiliência, adaptabilidade, transformabilidade, disruptibilidade, etc
- O levantamento concentrou-se nas áreas envolvidas no projeto, como **social, econômica, ambiental e energética**
- Após consolidado o **conceito de ser a vulnerabilidade a operação binária entre ameaça e fragilidade**, partiu-se para a elaboração do estado da arte e definições de vulnerabilidade aplicadas ao setor elétrico
- Foi desenvolvido o **mapeamento geográfico das ameaças climáticas**, uma vez que são inerentemente especializadas e o planejamento do setor elétrico deve se adequar a essa realidade

- De posse do entendimento do conceito de vulnerabilidade em diferentes setores e do mapeamento geográfico das ameaças climáticas, **pode-se avaliar a vulnerabilidade no contexto do setor elétrico**, segregado em geração (não renovável e renovável), transmissão, distribuição e demanda
- Em seguida, o conceito de vulnerabilidade foi ampliado, **incorporando o lado da demanda (da sociedade)**, dado que uma forma de se medir a **vulnerabilidade** é analisando o impacto socioeconômico do dano
- Ainda sobre a sociedade, foram destacadas suas **fragilidades e resiliências do consumidor/usuário**, incorporando suas preferências (utilidade) e capacidade de resposta em diferentes horizontes, e foi feita uma **análise espacial das fragilidades consideradas**
- Por fim, foi realizada uma **consolidação dos estudos que serviram de base para a elaboração de propostas** a serem aplicadas ao planejamento do setor elétrico

1. INTRODUÇÃO

**2. FUNDAMENTOS GERAIS**

3. ESTADO DA ARTE SOBRE VULNERABILIDADE EM DIFERENTES SETORES

4. VULNERABILIDADE ENERGÉTICA

5. VULNERABILIDADE APLICADA AO SETOR ELÉTRICO

6. VULNERABILIDADE INCORPORANDO O LADO DA DEMANDA (DA SOCIEDADE)

7. PROPOSIÇÕES E OBSERVAÇÕES FINAIS

## 2.1 Adaptabilidade, Transformabilidade e Disruptibilidade

	PONTO DE VISTA FÍSICO	PONTO DE VISTA SOCIAL
<b>ADAPTABILIDADE</b>	Capacidade de um elemento ou sistema de suportar ações externas, se adequando, sem, entretanto, perder suas características operacionais fundamentais	Consiste na competência de um indivíduo em se adaptar a determinadas situações ou circunstâncias diferentes daquelas que está originalmente acostumado
<b>TRANSFORMABILIDADE</b>	Capacidade de um elemento ou sistema de suportar ações externas, se transformando, estabelecendo novas características operacionais adequadas a essas condições	Capacidade de criar um sistema fundamentalmente novo quando as condições ecológicas, econômicas ou sociais (incluindo políticas) tornam o sistema existente insustentável
<b>DISRUPTIBILIDADE</b>	Limite da capacidade operacional de um elemento ou sistema de suportar uma determinada ação externa, após se adaptar e transformar, quando for o caso	Quebra de algum padrão, em que não há a chance do retorno ao padrão original

## 2.2 Incerteza, Risco e Ameaça

- ✓ Embora o conceito de **risco** estivesse bem fundamentado, a matemática desenvolvida para tal se baseava em observações do passado, em que a estimativa de risco assume que o futuro repete o passado, levando, com total segurança, a se dizer qual a probabilidade de se ter uma condição adversa, denominada **risco**
- ✓ Dois economistas: Frank Knight e John Mainard Keynes
  - ❖ Os métodos probabilísticos têm aplicação limitada a condições específicas e não são capazes sozinhos de prever todos os eventos
  - ❖ **High Intensity and Low Probability – HILP (Grande Impacto e Reduzida Probabilidade)**
- ✓ Entende-se por **ameaça** ou **perigo sistêmico**, em um sentido mais amplo, uma condição social, ambiental ou técnica que atua sobre um sistema de interesse e que extrapola os valores usuais, podendo trazer perdas significativas e muitas vezes irreparáveis
- ✓ Assim, o conceito de **risco** foi estendido, extrapolando os métodos probabilísticos, avançando, para análises possibilísticas e, mesmo, para métodos qualitativos, ao invés de quantitativos. Idem se deu para a **ameaça**, destacando-se os métodos de cenarização, muitos deles resultantes de simulações determinísticas



## 2.3 Confiabilidade x Vulnerabilidade

- ✓ Algumas áreas da engenharia têm, há muito tempo, desenvolvido métodos e modelos para o estudo da **Confiabilidade** (Reliability), entendendo-se, esta, como sendo uma avaliação numérica da disponibilidade (Availability) de um elemento ou sistema técnico
- ✓ Majoritariamente, esses métodos levam em consideração os **estudos probabilísticos**, com base em estatísticas das falhas de sistemas e componentes semelhantes. Há métodos que trabalham com **técnicas determinísticas**, prendendo-se a características técnicas dos sistemas e elementos e a padrões de carregamentos
- ✓ Todavia, a severidade da ameaça que levou à falha sobre o usuário não é tratada, convenientemente, nos modelos dominantes de confiabilidade. Ameaças mais severas levam, normalmente, a falhas mais profundas. **As falhas impactam de formas distintas os usuários**, em função da severidade delas próprias e/ou das características dos mesmos

## 2.3 Confiabilidade x Vulnerabilidade

- ✓ As definições de **vulnerabilidade** são bastantes vagas e, por vezes, contraditórias na literatura especializada, mesmo tratando-se de um mesmo setor. Por vezes, **confunde-se vulnerabilidade com a fragilidade intrínseca do sistema**, que é, ocasionalmente, também definida como suscetibilidade
- ✓ Assumindo posições de áreas nas quais esses estudos estão em um grau de maturidade mais elevado, a **vulnerabilidade** deve ser uma medida do impacto (diretamente ou indiretamente) no usuário/receptor, provindo de uma ameaça externa sobre um sistema
- ✓ Em termos matemáticos, **vulnerabilidade é a operação binária entre a ameaça e a fragilidade** e essa definição **será adotada como referencial neste trabalho!**
- ✓ **Resumindo:** pode-se afirmar que a confiabilidade tem o foco nas condições operacionais do sistema, enquanto a vulnerabilidade prende-se a avaliar as consequências de eventos extraordinários

## 2.4 Resiliências sistêmicas

- ✓ Pode-se dizer que a **fragilidade de elementos ou sistemas que não se moldam (transformam) é uma função inversa da resiliência**. Assim, pode-se definir uma outra operação binária para definir a vulnerabilidade, associando a ameaça com a resiliência

$$Vulnerabilidade = Ameaça \circledast \frac{1}{Resiliência}$$

- ✓ Os estudos de vulnerabilidade devem ter enfoques estáticos e dinâmicos. Tanto a **ameaça** quanto a **fragilidade/resiliência sistêmica podem variar com o tempo** e os sistemas, por outro lado, devem buscar se adaptar, tornando-se mais resilientes, para manter a vulnerabilidade em níveis adequados
- ✓ As infraestruturas, normalmente, são projetadas com margens de segurança, conferindo-lhes grande **resistência**, sendo este um elemento importante da **resiliência**. Mas não é único e vem perdendo sua importância relativa com o tempo, à medida que tecnologias e procedimentos permitem reduzir o tempo de interrupção de um serviço ou o impacto desta interrupção. Portanto, a **resiliência sistêmica engloba esse conjunto de estruturas físicas (infraestrutura) e processos operacionais**

## 2.4 Resiliências sistêmicas

- ✓ Para aumentar a resiliência de um sistema, é necessário torna-lo mais capaz de prever, absorver, adaptar e rapidamente recuperar de um evento disruptivo (**ameaça**)
- ✓ Um dos instrumentos mais adequados, para se conseguir isso, é a **integração do sistema físico com sistemas cibernéticos (Tecnologia da Informação e da Comunicação-TIC)**, denominados **sistemas ciber-físicos**
- ✓ Em suma: a **Vulnerabilidade** deve ser vista como uma operação binária entre a **Ameaça**, dependente do **risco** (R) ou **cenário** (C) adotado, e a **Resiliência**, que é função da **Fragilidade Intrínseca** e das capacidades de **Predição** (Pr), **Adaptação** (Ad), **Absorção** (Ab) e de **Recuperação** (Re)

$$Vulnerabilidade = Ameaça(R \vee C) \otimes \frac{1}{Resiliência(Fi \wedge Pr \wedge Ad \wedge Ab \wedge Re)}$$

1. INTRODUÇÃO

2. FUNDAMENTOS GERAIS

**3. ESTADO DA ARTE SOBRE VULNERABILIDADE EM DIFERENTES SETORES**

4. VULNERABILIDADE ENERGÉTICA

5. VULNERABILIDADE APLICADA AO SETOR ELÉTRICO

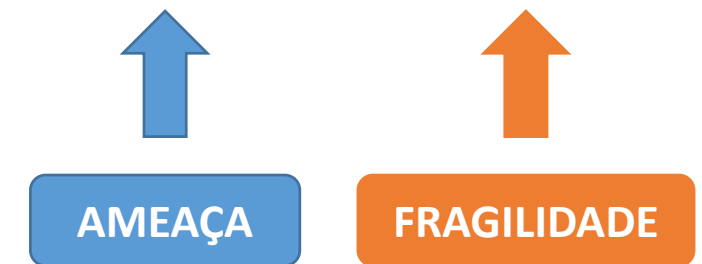
6. VULNERABILIDADE INCORPORANDO O LADO DA DEMANDA (DA SOCIEDADE)

7. PROPOSIÇÕES E OBSERVAÇÕES FINAIS

- Nos **estudos de confiabilidade** do setor elétrico, o usuário do serviço é considerado de forma simples, por meio de sua potência, energia ou como um elemento consumidor. Ao se estudar a **vulnerabilidade** para este setor, tem-se que extrapolar as fronteiras técnicas do mesmo, seja pela necessidade de entender a **ameaça**, seja pela para avaliar a severidade do **dano**
- Neste projeto, ao incorporar a avaliação na vulnerabilidade do setor elétrico face às mudanças climáticas, torna-se fundamental a compreensão de **ameaça** e de **vulnerabilidade** em setores, como o ambiental e o socioeconômico



Fonte: Traduzido de UNDP (2014).



## 3.1 Vulnerabilidade ambiental

### 3.1.1 Ecossistemas e recursos hídricos

- ✓ **Vulnerabilidade ambiental:** *“É o risco exposto pelo meio ambiente, em que o mesmo pode ser de origem natural ou causado por fatores externos”*
  
- ✓ Segundo o **Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas** (2007):
  - *O termo **sensibilidade** é utilizado para identificação e espacialização das áreas mais sensíveis das subáreas da bacia hidrográfica, de modo a expressar a integridade dos recursos naturais, os aspectos qualitativos da paisagem e as diferentes situações socioeconômicas*
  - *Já a **fragilidade** é empregada na identificação de situações e subespaços de ocorrência de impactos relacionados à implantação de empreendimentos hidroelétricos, em áreas já caracterizadas como sensíveis.*



## 3.1 Vulnerabilidade ambiental

### 3.1.1 Ecossistemas e recursos hídricos

- ✓ As áreas de sensibilidade são determinadas em etapa anterior à **fragilidade**, por meio da elaboração, seleção e mapeamento de **Indicadores de Sensibilidade Ambiental (ISA)**, compostos por variáveis socioambientais que representam as características intrínsecas das subáreas e possam ser representadas espacialmente (ex: índice de qualidade da água, tipo de solo, riqueza de espécies, entre outros)
- ✓ Assim, no contexto do Manual, as áreas de sensibilidade representam a capacidade natural de reagir, de forma positiva ou negativa, a determinada ação humana. No entanto, **no presente estudo, essa característica é atribuída ao conceito de fragilidade ambiental**
- ✓ Já a **fragilidade ambiental**, segundo o Manual de Inventário Hidroelétrico (BRASIL, 2007), resulta da integração espacial dos indicadores de sensibilidade ambiental com os de impacto ambiental. Assim, a **fragilidade** é resultante de uma **ameaça**, representada pelos impactos ambientais oriundos da implantação de empreendimentos hidrelétricos, sobre determinada área com diferentes sensibilidades. Já **no presente estudo, esse conceito é associado à vulnerabilidade**



## 3.1 Vulnerabilidade ambiental

### 3.1.2 Clima

- ✓ Em geral, **tempo** e **clima** são termos usados de maneira errada e costumeiramente confundidos: “o **tempo** define este momento, o estado atual (momentâneo) da atmosfera, enquanto o **clima** se refere ao estado geral da mesma, analisando eventos por um longo período de tempo”
- ✓ **Extremos climáticos:** “estão relacionados a fenômenos que acontecem com baixa frequência, mas que, em geral, ocasionam impactos negativos a sociedade”
- ✓ **Variabilidade climática:** “diz respeito às variações na situação do clima, tanto temporal quanto espacialmente, podendo ser atribuída a processos internos ou externos, sendo eles naturais ou antropogênicos”
- ✓ **Mudança climática:** “caracterizada como uma mudança no estado do clima, identificada por mudanças na média e/ou na variabilidade de suas propriedades climáticas e que perdura por um período de décadas ou mais”

## 3.1 Vulnerabilidade ambiental

### 3.1.2 Clima

- ✓ **Capacidade de adaptação:** *“a combinação dos pontos fortes, características e recursos disponíveis para um indivíduo, comunidade, sociedade ou organização, a qual pode ser usada para preparar e realizar ações que possam reduzir o potencial de destruição ou explorar oportunidades que resultem em benefícios*
- ✓ O Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) diz que a **capacidade de adaptação** de um sistema depende essencialmente de duas variáveis: a **vulnerabilidade** e a **resiliência**.
  - Vulnerabilidade: *“reflexo do grau de suscetibilidade do sistema para lidar com os efeitos adversos da mudança do clima”*
  - Resiliência: *“habilidade do sistema em absorver impactos preservando a mesma estrutura básica e os mesmos meios de funcionamento”*
- ✓ O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC)
  - Vulnerabilidade: *“a propensão ou predisposição a ser adversamente afetada, englobando os componentes básicos de exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa”*
  - Resiliência: *“capacidade de um sistema social ou ecológico de antecipar, absorver, acomodar ou recuperar-se dos efeitos de um evento de perigo, de maneira aceitável e eficiente”*

## 3.1 Vulnerabilidade ambiental

### 3.1.3 Desastres naturais

- ✓ *“Os eventos naturais somente se convertem em **desastres** quando os seres humanos que residem na área de ocorrência do evento são afetados”*
  
- ✓ Com relação a esses tipo de desastre:
  - São distintos de **mudanças climáticas**, não sendo obrigatoriamente relacionados
  - São **causados pelo impacto de um fenômeno natural** de grande intensidade sobre uma determinada área ou região (terremotos, maremotos, tsunamis, erupções vulcânicas e até mesmo quedas de meteoritos)
  - Sua ocorrência e sua intensidade não estão ligadas às mudanças climáticas, porém, podem ou não ser agravados pelas atividades antrópicas

## 3.1 Vulnerabilidade ambiental

### 3.1.4 Desastres tecnológicos

- ✓ *“São definidos como episódios provenientes do uso do conhecimento científico, consequentes de acidentes envolvendo substâncias químicas, radioativas ou equipamentos perigosos”*
- ✓ Como **exemplos**, podem ser citados: derramamentos de óleo no golfo do México em 2010, os casos das usinas nucleares de Chernobyl (Ucrânia) em 1986 e Fukushima (Japão) em 2011, o caso do césio 137 em Goiânia em 1987 e o caso da barragem do fundão em Minas Gerais em 2015
- ✓ Estes desastres trazem enormes danos ao meio ambiente, sendo que alguns destes podem ser irreversíveis, ou demorar muitos anos para o meio ambiente se recompor

## 3.2 Vulnerabilidade socioeconômica

### 3.2.1 Insegurança alimentar

- ✓ Não engloba apenas a insegurança humana, mas também a animal
- ✓ **Grupos mais vulneráveis à insegurança alimentar e nutricional:** encontram, na sua grande maioria, no meio rural e, são crianças, mulheres (viúvas, grávidas), idosos e pequenos agricultores
- ✓ Com a tendência do aumento da temperatura devido às mudanças climáticas, várias culturas produzidas no Brasil **podem perder partes consideráveis de suas áreas potenciais para o plantio**
- ✓ Estima-se também, **o aumento de eventos extremos de precipitação no Sul e Sudeste do Brasil**, com isso tempestades de granizo, geadas, enchentes e inundações, seriam mais frequentes, podendo causar danos à produção e problemas de abastecimento na alimentação (PBMC, 2014)

## 3.2 Vulnerabilidade socioeconômica

### 3.2.2 Humana

- ✓ O United Nations Environment Programme (UNEP) classifica em três fatores principais que contribuem para verificar a vulnerabilidade humana diante das mudanças ambientais: **perigo, exposição e capacidade de enfrentamento**. Aborda, ainda, **oito temas** pelos quais o bem-estar humano geralmente é afetado pelas mudanças ambientais, a saber:
- Danos à saúde;
  - Perdas/ganhos econômicos;
  - Pobreza;
  - Insegurança alimentar;
  - Perda de patrimônio natural;
  - Perda de direitos de propriedade intelectual (Intellectual Property Rights-IPR);
  - Conflito;
  - Eventos extremos e impactos das mudanças climáticas.

## 3.2 Vulnerabilidade socioeconômica

### 3.2.3 Econômica

- ✓ Centra-se sobre os **potenciais efeitos negativos de uma gama de fatores**, incluindo o tamanho e estrutura da economia, as desvantagens geográficas, a exposição aos riscos ambientais, crescimento econômico e o nível de desenvolvimento
- ✓ Vale ressaltar que a **política local** também pode gerar uma vulnerabilidade econômica
- ✓ **Outras formas de vulnerabilidades** (ambiental, a desastres naturais, a desastres tecnológicos, a insegurança alimentar e humana), também podem estar associadas à vulnerabilidade econômica
- ✓ *“Vulnerabilidade econômica é a combinação do risco de um país ser adversamente afetado por choques externos, com a capacidade de enfrentamento que permite ao país resistir à recuperação desses choques”*

### 3.3 Planos Nacionais de Adaptação (PNAs)

- ✓ Também conhecido como NAP (do inglês *National Adaptation Plan*) é uma estrutura de estratégica básica, para a obtenção das metas de adaptação para os países em desenvolvimento, **visando melhorar o planejamento e a ação nacional de adaptação dos mesmos**, através da coordenação de apoio bilateral e atores nacionais
- ✓ A **rede global do PNA** foi criada em dezembro de 2014, durante a 20ª Conferência das Partes (COP 20) em Lima, no Peru
- ✓ Possui como integrantes, **quase 30 países em desenvolvimento**, em que o financiamento inicial dessa rede é fornecido pelo Departamento de Estado dos Estados Unidos e pelo Ministério Federal de Cooperação Econômica e Desenvolvimento BMZ da Alemanha
- ✓ Um **princípio orientador** dos processos do PNA é que ele “*visa aumentar a consistência da adaptação e planejamento de desenvolvimento nos países, ao invés de duplicar esforços*”



1. INTRODUÇÃO

2. FUNDAMENTOS GERAIS

3. ESTADO DA ARTE SOBRE VULNERABILIDADE EM DIFERENTES SETORES

**4. VULNERABILIDADE ENERGÉTICA**

5. VULNERABILIDADE APLICADA AO SETOR ELÉTRICO

6. VULNERABILIDADE INCORPORANDO O LADO DA DEMANDA (DA SOCIEDADE)

7. PROPOSIÇÕES E OBSERVAÇÕES FINAIS

### 4.1 Políticas e ações para enfrentamento das mudanças climáticas

- ✓ As partes interessadas do setor de energia, incluindo governos, reguladores, empresas de energia e instituições financeiras (bancos, seguradoras, investidores) precisam internalizar os **conceitos de resiliência e adaptação às mudanças climáticas**, bem como identificar as ações necessárias para enfrentar esses desafios
- ✓ **Agência Internacional de Energia - IEA (2015)** ressalta as seguintes mensagens chaves para tornar o setor de energia mais resiliente:
  - O setor deve identificar e avaliar como os impactos da mudança climática podem afetar a oferta, os padrões de demanda e danificar a infraestrutura
  - Os sistemas de suprimento de eletricidade e combustível devem tornar-se mais resilientes às condições climáticas extremas e às restrições crescentes nos recursos hídricos
  - As empresas são os principais atores na concepção e implementação de medidas de construção de resiliência e práticas adaptativas
  - Os governos devem incentivar ações de fortalecimento da resiliência e também ter um papel de implementação

### 4.1 Políticas e ações para enfrentamento das mudanças climáticas

- ✓ **Agência Internacional de Energia - IEA (2015)** incluem as seguintes medidas:
  - Avaliação de riscos, auditoria e relatórios
  - Prevenção de riscos
  - Preparação e resposta a emergências
  - Seguro
- ✓ As ações das empresas para **responder às diversas ameaças** representadas pelas mudanças climáticas podem ser categorizadas como:
  - a) Medidas técnicas e de gestão
  - b) Medidas tecnológicas e estruturais
  - c) Treinamento
  - d) Ações de recuperação

### 4.1 Políticas e ações para enfrentamento das mudanças climáticas

- ✓ Em 2017, foi desenvolvido pelo Grupo de Energia da **APEC (Asia-Pacific Economic Cooperation)** um projeto visando prover diretrizes para o **aprimoramento de resiliência no setor energético**, com foco nos sistemas isolados (off-grid):
  1. Alinhamento de Políticas e Regulamentos
  2. Reavaliação dos Arranjos Institucionais
  3. Elaboração de Programas e Projetos
  4. Avaliação dos Mecanismos de Financiamento
- ✓ Em termos da incorporação da resiliência de energia nas políticas, planos e projetos, a **Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OCDE (2015)** identifica uma série de prioridades, tais como tornar as informações relevantes sobre o clima mais comuns e utilizáveis como base para o planejamento e a tomada de decisões e disseminação de melhores práticas

### 4.2 PNA em países em desenvolvimento

- ✓ De acordo com o PNA (2016), no **Brasil**, para a realização do mapeamento da vulnerabilidade à mudança do clima, foram definidas **11 estratégias setoriais** e temática em seu PNA
- ✓ PNA **brasileiro** consiste na diversificação de fontes, sendo as energias renováveis tratadas com prioridade
- ✓ PNA **brasileiro** lista os aspectos do sistema elétrico que devem ser considerados:
  - Impacto da inserção de novas tecnologias, como por exemplo, **veículos elétricos** e políticas de eficiência energética;
  - Impacto dos futuros padrões de consumo em construções residenciais e comerciais (habitações e prédios “inteligentes”);
  - Penetração de tecnologias como as **redes inteligentes** e linhas de transmissão de ultra tensão;
  - Maior penetração da **geração distribuída** por diferentes fontes, a exemplo da geração fotovoltaica em telhados de edificações;
  - Autoprodução de energia elétrica por grandes consumidores utilizando-se de fontes renováveis e fósseis, como no caso da **cogeração à gás natural**.

### 4.2 PNA em países em desenvolvimento

- ✓ O PNA do **Chile** prioriza 9 setores para a elaboração de planos setoriais de adaptação às mudanças climáticas: Silvoagricultura; Recursos hídricos; Biodiversidade; Pesca e aquicultura; Saúde; Energia; Infraestrutura; Cidades e; Turismo
- ✓ Com relação ao setor elétrico, o PNA do **Chile** diz que, devido ao aumento das temperaturas, são esperadas mudanças no consumo de energia tanto das indústrias quanto nas residências, em virtude do maior consumo de energia nos sistemas de ar-condicionado, mencionando algumas medidas que devem ser abordadas:
  - Introduzir medidas para popularizar o desenvolvimento de projetos de **eficiência energética**;
  - Desenvolver em massa **campanhas e programas educacionais** em Eficiência Energética (EE);
  - Incentivar a integração das Energias Renováveis Não Convencionais (*ERNC - Energías Renovables no Convencionales*) em conformidade com a Lei de Promoção do NCRE (20/25);
  - Promover a incorporação e utilização de **energia solar** a nível residencial, tanto em edifícios como em residências.

### 4.2 PNA em países em desenvolvimento

- ✓ Segundo o Plano de adaptação do clima **Queniano**, programas estão em andamento na **promoção de energia limpa, eficiência energética e ampliação do acesso à eletricidade o país**, dando enfoque na diversificação das fontes energéticas a fim de diminuir sua vulnerabilidade no setor
- ✓ A inclusão de considerações referente às mudanças do clima em ações setoriais atuais e futuras é necessário para construir uma estrutura resiliente, por exemplo:
  - Desenvolvimento de energia geotérmica em Olkaria, Menengai, Morendat Malewa;
  - Desenvolvimento de carvão em Lamu, Dongo-Kundu, Kilifi, Kwale, Meru / Isiolo;
  - Projeto de Energia Eólica do Lago Turkana;
  - Instalação de vento e armazenamento de energia em Marsabit;
  - Melhor conexão de eletricidade ao público.

### 4.2 PNA em países em desenvolvimento

- ✓ O governo do **Sri Lanka** identifica em seu PNA nove setores, sendo que, indústria, transporte e energia são colocados no mesmo tópico. Geração de energia do **Sri Lanka** é, em sua maioria hidroelétrica, por esta razão **mudanças nos padrões de precipitação** teriam um impacto significativo na geração, além de serem cruciais para o fornecimento de matérias-primas para as indústrias agropecuárias
- ✓ Além disso, a **crescente escassez de água e a alta extração de águas subterrâneas** poderiam gerar problemas de abastecimento para a indústria.
- ✓ Por essas razões, o PNA do **Sri Lanka** visa em especial para o setor energético:
  - Promover uma infraestrutura resiliente ao clima, assim como para as práticas de design de construção;
  - Avaliar intervenções adequadas para fortalecer resiliência climática do setor energético e instalações industriais para eventos extremos.



### 4.3 PNA em países desenvolvidos

- ✓ No **Reino Unido**, trabalhos como o climate change risk assessment government report (CCRA) ressaltam a geração energética e sua distribuição, as redes estratégicas de transporte e esgotos como estando em risco significativo
- ✓ Este relatório do governo **britânico** descreve as principais questões para os transportes, energia, água e Setores de Comunicação, abrangendo três áreas principais:
  - **Incorporação de riscos climáticos** em estruturas regulatórias;
  - Melhorar a **compreensão do risco** de falhas em cascata;
  - **Fortalecer as ligações entre setores do PNA** e trabalhar na melhoria da resiliência na infraestrutura do Reino Unido aos atuais perigos, como os **Planos de Resiliência Setorial (SRPs)**, de modo a incentivar níveis proporcionais de investimento de suas infraestruturas.
- ✓ Para a **energia**, o governo **britânico** toma medidas a respeito de riscos importantes, como danos ou interrupções relacionados com o calor, perdas na transmissão de energia, capacidade de eficiência e possíveis restrições na captação de água para geração de energia

### 4.3 PNA em países desenvolvidos

- ✓ O governo da **Alemanha** tem como grande preocupação o aumento do consumo de energia pela população na refrigeração das residências no verão e aquecimento no inverno, devido ao aumento dos extremos de temperaturas causados pelas mudanças climáticas
- ✓ Segundo o *German Federal Government* (2008), empresas de fornecimento de energia na **Alemanha** planejam medidas contra eventos climáticos extremos,:
  - Maior proporção (em uma comparação europeia) de **seções de cabos** para fornecer proteção contra os ventos fortes;
  - **Ligações de água de emergência** para centrais eléctricas em caso de seca;
  - Desenvolvimento dos **sistemas de águas residuais** na indústria central de energia;
  - **Estabelecimento de forças-tarefa de crise** para permitir uma resposta rápida em casos de danos e falhas em eventos climáticos extremos.

### 4.4 Avaliação e melhoria da resiliência energética a ameaças climáticas

- ✓ O sistema elétrico é um elemento do complexo sistema energético de um país ou região. No **caso brasileiro**, até recentemente, havia um significativo isolamento entre eles, (característica hidrelétrica predominante, pouca conexão na formação de preços e pouca elasticidade cruzada da demanda entre os diferentes energéticos)
- ✓ Esse quadro está passando por profundas mudanças, o que **exige uma análise integrada do setor elétrico com outros setores energéticos**, em que a área de energia elétrica pode passar a ser fortemente afetada pelas vulnerabilidades de outros setores energéticos, **exigindo-se uma visão e planejamento sistêmicos**
- ✓ A **vulnerabilidade energética** é pouco tratada na literatura e, na maioria das vezes, os conceitos e modelos estão em textos que focam a **resiliência energética**
- ✓ Khamarrazi et al. (2015), que apresenta uma revisão da literatura sobre o tema, destacando a diferença entre se trabalhar com **sistemas de engenharia** e **sistemas socioambientais**, e que a **diversidade** é um conceito importante com aplicações em várias disciplinas: Promover a **diversidade nos sistemas de energia**, tanto em termos de produção quanto de tipos de consumo, implica em aumentar a resiliência desses sistemas

## 4.4 Avaliação e melhoria da resiliência energética a ameaças climáticas

- ✓ Sterling (1994, 2010) argumenta que a **diversidade** pode ser vista como abrangendo **três propriedades**, que são: **variedade** (categorias disponíveis, como, no caso da geração de energia, fontes distintas de energia (carvão, gás natural, nuclear, eólica, etc.)), **equilíbrio** (rateio de energia entre as categorias disponíveis, ou seja, quanto mais distribuída, maior a diversidade) e **disparidade** (grau em que as próprias categorias podem ser diferenciadas umas das outras)
- ✓ **Índice Shannon-Weaver (H)** é a abordagem preferida porque leva em consideração a variedade e o equilíbrio, em que  $p_i$  representa a parte da fonte de energia  $i$  no mix de geração de energia em um sistema energético

$$H = - \sum_i p_i \cdot \ln(p_i)$$

- ✓ Quanto maior o valor de H, mais diverso é o sistema avaliado. O índice de Shannon-Weaver foi aplicado para avaliar a resiliência de ecossistemas e para avaliar a distribuição de sistemas de energia em sistemas econômicos

## 4.4 Avaliação e melhoria da resiliência energética a ameaças climáticas

- ✓ Khamarrazi et al. (2015) sugere a aplicação do índice de diversidade de Shannon-Weaver no exame da diversidade da energia incorporada no comércio global

Country	Coal	Gas	Nuclear	Oil	Hydro	Bio	Geo	SolarPV	SolarTH	Tide	Waste	Wind	Other
Brazil	2.27	3.48	2.77	3.00	84.02	4.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.27
Russia	16.73	47.94	15.76	1.70	17.63	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00
India	66.58	11.71	2.08	1.56	14.82	1.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	0.00
China	80.90	0.93	1.89	1.04	14.76	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00
US	48.70	21.04	19.23	1.80	6.33	1.14	0.39	0.02	0.02	0.00	0.51	0.80	0.03
Japan	27.24	25.45	23.23	13.96	7.42	1.39	0.27	0.18	0.00	0.00	0.64	0.23	0.00
Germany	48.72	12.13	22.06	1.35	4.47	3.04	0.00	0.48	0.00	0.00	1.53	6.23	0.00
UK	34.65	41.78	15.88	1.27	2.25	2.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.78	1.33	0.00
France	4.95	3.86	77.17	1.08	11.16	0.35	0.00	0.00	0.00	0.09	0.62	0.71	0.00
Italy	15.84	55.00	0.00	11.28	12.26	1.19	1.77	0.01	0.00	0.00	1.02	1.29	0.33

Porcentagens de geração de eletricidade de diferentes fontes de energia

Country	Coal	Gas	Nuclear	Oil	Hydro	Bio	Geo	SolarPV	SolarTH	Tide	Waste	Wind	Other
Brazil	7.49	5.83	4.08	3.11	75.53	3.43	0.03	0.00	0.00	0.00	0.05	0.23	0.21
Russia	20.30	44.22	15.77	1.91	17.28	0.13	0.06	0.01	0.00	0.00	0.21	0.10	0.00
India	64.17	12.65	3.08	2.12	14.89	1.68	0.03	0.01	0.00	0.00	0.03	1.34	0.00
China	76.64	3.08	3.22	1.59	14.79	0.37	0.04	0.01	0.00	0.00	0.04	0.22	0.00
US	47.68	20.22	17.69	2.36	9.28	1.11	0.38	0.02	0.01	0.00	0.46	0.76	0.03
Japan	32.50	23.49	20.34	12.02	9.12	1.27	0.28	0.15	0.00	0.00	0.55	0.29	0.00
Germany	44.47	15.33	20.04	2.37	9.98	2.27	0.14	0.29	0.00	0.00	1.08	4.01	0.02
UK	37.54	32.09	15.48	2.44	8.68	1.67	0.11	0.02	0.00	0.00	0.63	1.31	0.02
France	15.00	9.33	58.48	2.02	12.71	0.65	0.08	0.02	0.00	0.06	0.62	1.01	0.02
Italy	24.28	37.97	9.65	7.78	15.73	1.18	1.04	0.03	0.00	0.00	0.85	1.30	0.25

Percentagens de eletricidade incorporadas em bens e serviços consumidos a partir de diferentes fontes de energia

Country	Coal	Gas	Nuclear	Oil	Hydro	Bio	Geo	SolarPV	SolarTH	Tide	Waste	Wind	Other
Brazil	30.01	15.95	9.69	3.61	38.90	0.78	0.16	0.03	0.00	0.00	0.24	0.61	0.01
Russia	45.04	18.50	15.84	3.35	14.88	1.02	0.15	0.04	0.00	0.00	0.31	0.83	0.03
India	47.36	19.17	10.05	5.99	15.38	0.90	0.27	0.03	0.00	0.00	0.24	0.59	0.02
China	38.00	22.63	15.32	6.53	15.02	1.08	0.32	0.05	0.00	0.00	0.41	0.64	0.02
US	42.71	16.23	10.19	5.10	23.62	0.97	0.35	0.03	0.00	0.00	0.21	0.59	0.01
Japan	54.35	15.32	8.36	3.93	16.17	0.79	0.33	0.02	0.00	0.00	0.20	0.52	0.02
Germany	38.48	19.85	17.19	3.80	17.75	1.19	0.33	0.02	0.00	0.01	0.46	0.89	0.04
UK	41.49	18.89	14.93	4.03	17.44	1.16	0.25	0.05	0.00	0.01	0.43	1.28	0.03
France	39.20	22.50	13.46	4.29	16.46	1.36	0.27	0.07	0.00	0.00	0.59	1.74	0.05
Italy	34.52	17.28	21.37	3.54	19.93	1.16	0.14	0.06	0.00	0.01	0.64	1.32	0.02

Percentagens de eletricidade incorporadas nas importações de diferentes fontes de energia

Fonte: Khamarrazi et al. (2015).



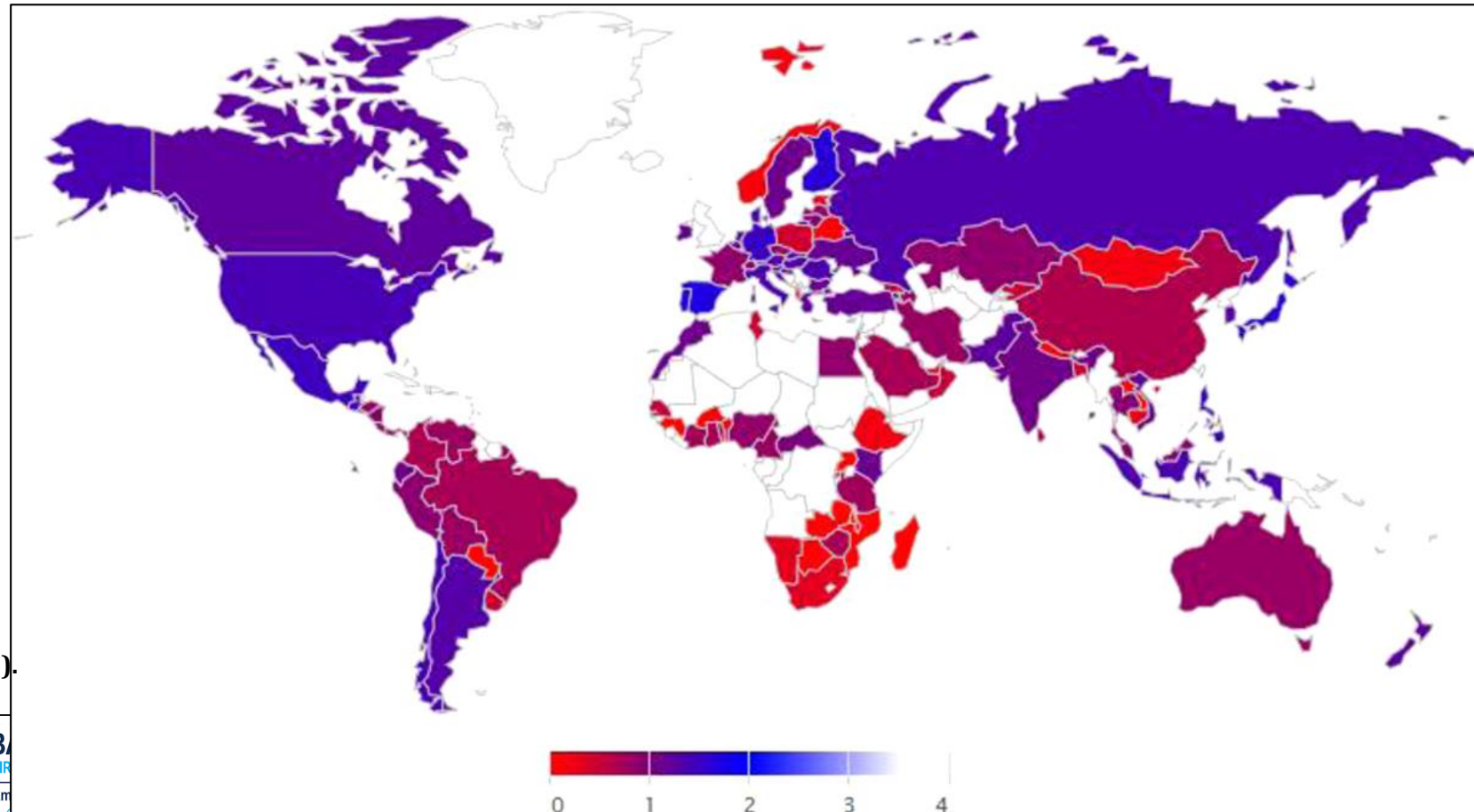


## 4.4 Avaliação e melhoria da resiliência energética a ameaças climáticas

- ✓ **Índices Shannon-Weaver para esses países** (diversidade energética na produção de eletricidade, na energia elétrica importada nos produtos consumidos e na energia elétrica embutida nos produtos importados e **Mapa-Múndi da diversidade energética na produção de eletricidade**

Country	Diversity of generation	Diversity of imports	Diversity of consumption
Brazil	0.709	1.465	0.960
Russia	1.334	1.481	1.389
India	1.084	1.466	1.151
China	0.649	1.582	0.812
US	1.386	1.495	1.430
Japan	1.642	1.348	1.630
Germany	1.505	1.566	1.580
UK	1.341	1.551	1.493
France	0.861	1.589	1.285
Italy	1.371	1.598	1.642

Fonte: Khamarrazi et al. (2015).



## 4.4 Avaliação e melhoria da resiliência energética a ameaças climáticas

- ✓ Roege et al. (2014) comenta que a **resiliência energética** é a capacidade de um sistema de se recuperar da adversidade, prendendo-se à capacidade de reação frente ao dano e que há uma necessidade de métodos para quantificar e medir a resiliência do sistema
- ✓ Propõem uma série de métricas relevantes para avaliar a resiliência energética de um sistema, que são estruturadas em um formato matricial, em que a **primeira dimensão** corresponde aos diferentes estágios de mudança (Planejar/Preparar, Absorver, Recuperar e Adaptar) do sistema frente a uma perturbação e a **segunda dimensão** corresponde aos domínios relacionados aos aspectos de consciência situacional e de tomada de decisão descentralizada (Físico, Informação, Cognitivo e Social)

	PLANEJAR E PREPARA PARA	ABSORVER	RECUPERAR DE	ADAPTAR PARA
FÍSICO	Manutenção preventiva em sistemas energéticos	Capacidade de isolar sistemas/componentes danificados/degradados (automático/manual)	Investigação e reparo de controles ou sensores com defeito	Eliminar ativos obsoletos ou danificados e introduzir novos ativos
INFORMAÇÃO	Dados de projeto, controle, operação e manutenção arquivados e protegidos	Dados críticos do sistema monitorados, anomalias com alarme	Dados de projeto, peças de reparo, informações de substituição disponíveis para equipes de recuperação	Informações atualizadas sobre recursos energéticos, alternativas e tecnologias emergentes disponíveis para gerentes e interessados
COGNITIVO	Desenvolver competências individuais em impactos, técnicas e alternativas energéticas (cultura energética)	Resposta da comunidade para mitigar os impactos (por exemplo, redução de demanda)	Os membros da comunidade gerenciam recursos energéticos restritos de forma responsável e consistente com a orientação pública	Clientes e partes interessadas tomam medidas para implementar soluções energéticas mais resilientes
SOCIAL	Prioridades e políticas estabelecidas para resposta a eventos	Indivíduos e organizações tomam medidas em resposta a observações e / ou orientações de autoridades	Assistência pró-vizinhança proativa, voluntariado, conformidade com a direção do gerente de resposta de energia	A cultura informada da energia leva a decisões coletivas e investimentos que continuamente melhoram a eficácia energética

1. INTRODUÇÃO

2. FUNDAMENTOS GERAIS

3. ESTADO DA ARTE SOBRE VULNERABILIDADE EM DIFERENTES SETORES

4. VULNERABILIDADE ENERGÉTICA

**5. VULNERABILIDADE APLICADA AO SETOR ELÉTRICO**

6. VULNERABILIDADE INCORPORANDO O LADO DA DEMANDA (DA SOCIEDADE)

7. PROPOSIÇÕES E OBSERVAÇÕES FINAIS



- A **infraestrutura do setor elétrico**, que foi construída para suportar uma gama conhecida de condições históricas, **está se tornando cada vez mais vulnerável** a essas mudanças climáticas
- O desempenho adequado do sistema elétrico depende de ações antecipadas, **que permitam a manutenção de sua capacidade de produção e o fornecimento de energia de forma segura, confiável e econômica**
- É importante avaliar como o sistema se comporta às ameaças decorrentes das mudanças climáticas
- **Em outras palavras:** Quais são as fragilidades do sistema frente a essas ameaças e qual é a capacidade do sistema se reestruturar e se reestabelecer em casos de danos?
- O **entendimento das alterações climáticas e uma maior resiliência às ameaças decorrentes** serão essenciais para a viabilidade técnica do setor de energia elétrica e sua capacidade de atender, de forma sustentável, às crescentes demandas de serviços de energia elétrica impulsionadas pelo crescimento econômico e populacional global

- Em uma visão mais ampla, em que as vulnerabilidades do sistema elétrico frente às mudanças climáticas são consideradas pelos agentes na operação e planejamento do sistema elétrico, o **United States Department of Energy (DOE)** (2016) propõe uma **abordagem desenvolvimento de um plano de resiliência**, dividido em 8 etapas:
  1. Definição do escopo do plano de resiliência;
  2. Desenvolvimento das entradas para avaliação de vulnerabilidade;
  3. Determinação da exposição de ativos e operações;
  4. Estimativa das consequências dos impactos das mudanças climáticas;
  5. Avaliação de vulnerabilidades;
  6. Identificar e avaliar medidas de resiliência;
  7. Construção de portfólio de medidas de resiliência;
  8. Monitoramento, avaliação e reavaliação do plano de resiliência.

- **Quadrennial Energy Review (2017)** sintetiza uma avaliação integrada dos riscos e de resiliência do setor elétrico

Ameaça	Intensidade	Transmissão	Geração	Subestação	Distribuição	Distribuição Subterrânea	Armazenamento
		Avaliação de Risco e de Resiliência					
Ameaças Ambientais/Naturais							
Furacão	Baixo	●	●	●	●	●	●
	Alto	●	●	●	●	●	●
Seca	Baixo	●	●	●	●	●	●
	Alto	●	●	●	●	●	●
Tempestades (gelo, neve)	Alto	●	●	●	●	●	●
	Baixo	●	●	●	●	●	●
Calor Extremo		●	●	●	●	●	●
Inundações	Baixo	●	●	●	●	●	●
	Alto	●	●	●	●	●	●
Incêndios	Baixo	●	●	●	●	●	●
	Alto	●	●	●	●	●	●
Aumento do nível do mar		●	●	●	●	●	●
Terremotos	Baixo	●	●	●	●	●	●
	Alto	●	●	●	●	●	●
Geomagnetismo	Baixo	●	●	●	●	●	●
	Alto	●	●	●	●	●	●
Vegetação/animais selvagens		●	●	●	●	●	●
Ameaças Humanas							
Física	Baixo	●	●	●	●	●	●
	Alto	●	●	●	●	●	●
Cibernética	Baixo	●	●	●	●	●	●
	Alto	●	●	●	●	●	●
Eletromagnética	Baixo	●	●	●	●	●	●
	Alto	●	●	●	●	●	●
Falha de equipamentos		●	●	●	●	●	●
Ameaças combinadas		●	●	●	●	●	●

Níveis de Risco

● Baixo

● Moderado

● Alto

● Desconhecido

Status atual da prática de Gestão de Risco

● Existência de vulnerabilidades

● Estabilizado com aprimoramentos

● Bem Estabelecido e Robusto

### 5.1 Mapeamento geográfico das ameaças climáticas para o setor elétrico

- ✓ **Alterações na temperatura, ventos, regimes de precipitação, frequência e intensidade de eventos meteorológicos extremos e desastres naturais** podem aumentar em decorrência das mudanças climáticas
- ✓ **Tempestades e enchentes** têm afetado o Brasil de forma severa nos últimos anos: região serrana do Rio de Janeiro (2011) e Estado de Santa Catarina (2008)
- ✓ **Ocorrência de tornados no Brasil** tem aumentado nos últimos anos, dado o crescimento da cobertura e acesso de mídias como televisão e internet, bem como aumentos de eventos extremos de precipitação
- ✓ **Eventos meteorológicos e alterações climáticas** têm impacto em toda a cadeia de produção e consumo de energia

Fonte: DIAS (2011).

### 5.1 Mapeamento geográfico das ameaças climáticas para o setor elétrico

- ✓ Cerca de **25% das interrupções** no fornecimento de energia elétrica não planejadas nos Estados Unidos, em 2015, foram **decorrentes de eventos meteorológicos extremos**. As perdas anuais, decorrentes dos desligamentos de energia causados por enchentes, furacões e temperaturas extremas, foram estimadas em mais de **20 bilhões de dólares**
- ✓ **Diferentes componentes** do setor elétrico são vulneráveis a **diferentes ameaças** naturais
- ✓ No Brasil, dada a importância das fontes renováveis na matriz elétrica brasileira e as dimensões continentais de seu sistema de transmissão, é ainda mais **importante avaliar as mudanças climáticas no planejamento do setor**
- ✓ Apenas dessa forma será possível **aumentar a resiliência do sistema elétrico** e reduzir sua vulnerabilidade frente às ameaças climáticas

Fonte: DIAS (2011).

## 5.1 Mapeamento geográfico das ameaças climáticas para o setor elétrico

### 5.1.1 Aumento da temperatura

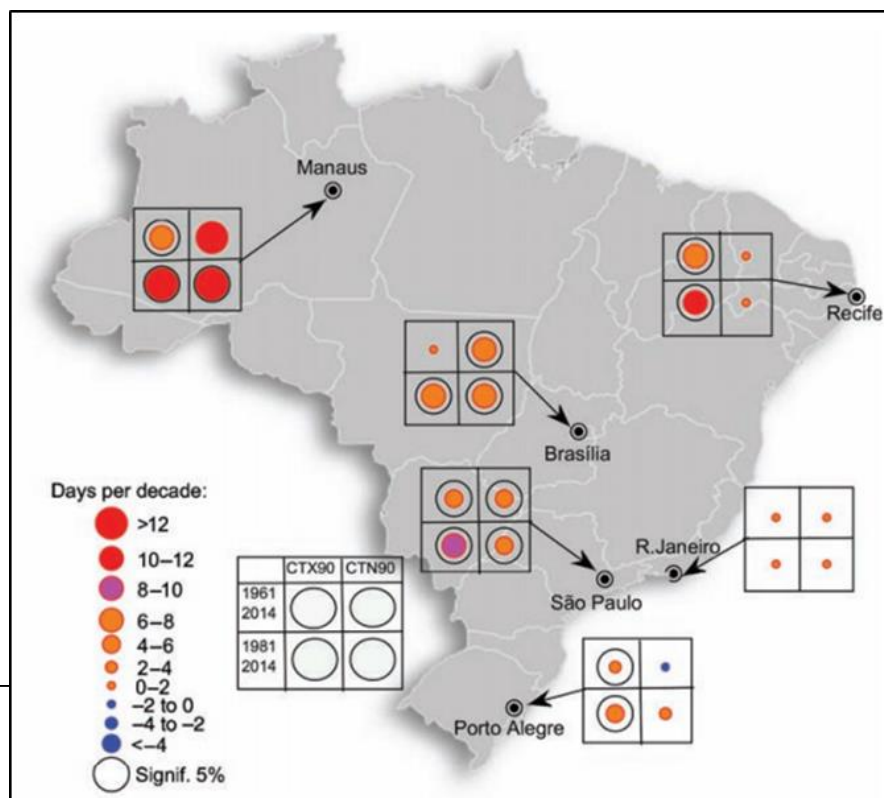
- ✓ Dados observados mostram tendências de aumento da temperatura de superfície média global a partir da segunda metade do século 20. **Para o Brasil**, a análise de dados de temperatura de 1960 a 2010 indicam uma tendência média de aumento (aquecimento) de **0,08°C por década nos verões** (considerando intervalo de confiança entre 5 e 95%, correspondente a 0,03 a 0,14°C por década) e **0,08°C nos invernos** (intervalo de confiança entre 5 e 95%, correspondente a 0,01 a 0,16°C por década)
- ✓ Produto 3:
  - Projeções climáticas em escala regional para o Brasil são apresentadas por Chou et al. (2014) para os períodos e 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, utilizando como referência (baseline) o período de 1961 a 1990
  - Modelo de simulação regional Eta e processo de *downscaling*
  - Quatro simulações realizadas, com base em dois modelos de circulação global, o HadGEM2-ES e o MIR0C5, e dois cenários de emissões, RCP4.5 e 8.5



## 5.1 Mapeamento geográfico das ameaças climáticas para o setor elétrico

### 5.1.1 Aumento da temperatura

- ✓ As tendências de aumento das temperaturas médias são acompanhadas de eventos extremos, com temperaturas significativamente altas em relação a valores climatológicos esperados, chamados de **ondas de calor** (*Heat Waves - HW*)



**Tendência de aumento da ocorrência de ondas de calor, em dias por década, para os períodos de 1961-2014 e 1981-2014**

Fonte: Geirinhas et al. (2017).

## 5.1 Mapeamento geográfico das ameaças climáticas para o setor elétrico

### 5.1.2 Alterações no regime de chuva e disponibilidade de água

- ✓ Assim como para a temperatura, as tendências de alterações no comportamento das precipitações decorrentes de mudanças climáticas são avaliadas, em uma escala regional, por Modelos Climáticos Regionais (MCR), como o Eta, por meio da técnica denominada *downscaling*
- ✓ Chou et al. (2014) apresenta estudo sobre a avaliação das mudanças climáticas na América do Sul utilizando o modelo Eta sobre diferentes cenários de mudanças climáticas (slide anterior)
- ✓ Além da avaliação das alterações dos padrões sazonais de precipitação, **é importante considerar alterações na ocorrência de eventos extremos**, ou seja, dias consecutivos secos ou úmidos acima do padrão histórico. No trabalho de Chou et al. (2014) essa avaliação foi feita considerando três indicadores: **volume de chuva de dias que excedem o percentil 95 da precipitação diária (R95p)**, **número consecutivo máximo de dias secos (CDD)** e **número consecutivo máximo de dias com chuva (CWD)**



## 5.1 Mapeamento geográfico das ameaças climáticas para o setor elétrico

### 5.1.2 Alterações no regime de chuva e disponibilidade de água

- ✓ Entretanto, a análise das tendências de mudança nos regimes de precipitação e frequência de eventos extremos **não são suficientes para avaliar a disponibilidade futura de água** em uma bacia hidrográfica, sendo **necessária a utilização de modelos hidrológicos** para simular os fluxos de água na bacia
- ✓ Neto et al. (2016) avaliou os processos hidrológicos das regiões hidrográficas brasileiras sobre o efeito das mudanças climáticas, cujos resultados indicaram redução da disponibilidade hídrica para a maior parte do país
- ✓ A avaliação dos **padrões de umidade do solo** também pode ser importante para avaliação da disponibilidade de água

### 5.1 Mapeamento geográfico das ameaças climáticas para o setor elétrico

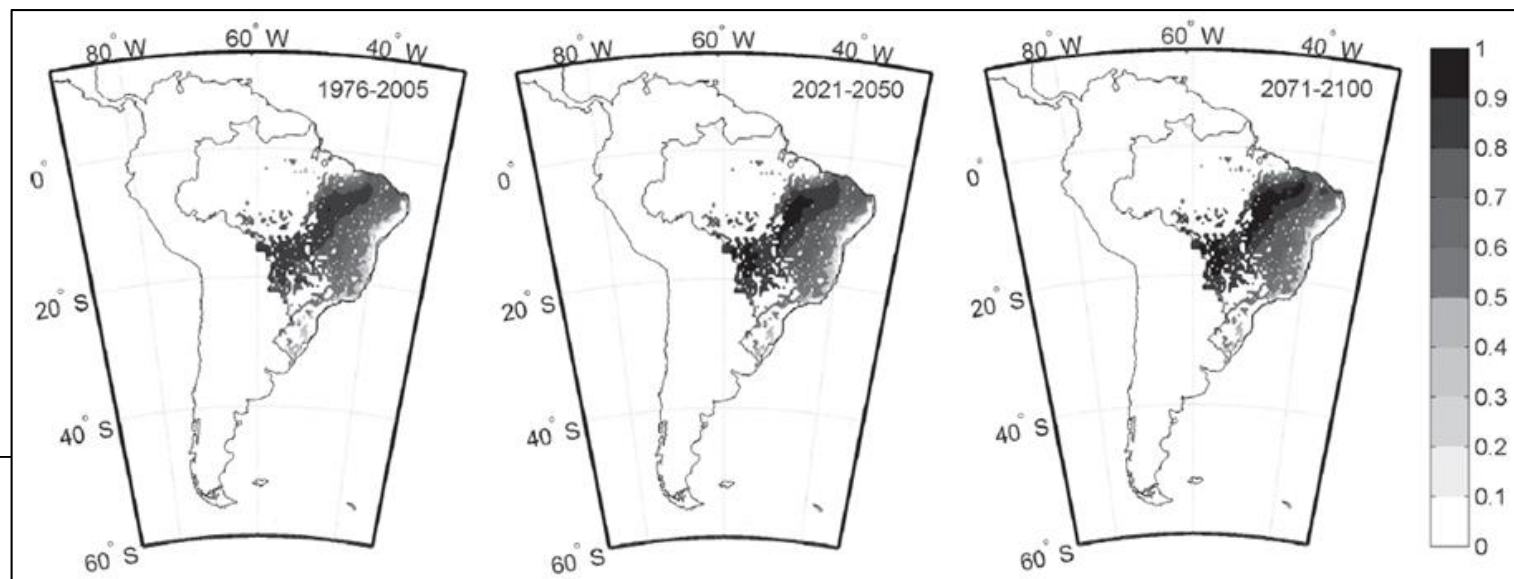
#### 5.1.3 Alterações das velocidades de vento

- ✓ A maioria dos estudos climáticos sugerem que **as velocidades de vento de superfície estão reduzindo globalmente** e essa tendência é suportada por diversos estudos conduzidos na Europa, enquanto que alguns estudos para América do Norte indicam tendência contrária
- ✓ Essa **discrepância** nos estudos regionais pode ser explicada pela diferença na altura avaliada nos diferentes trabalhos, em que **os estudos pra Europa utilizaram medidas de 10m para superfície de vento**, enquanto **os estudos para a América do Norte utilizaram dados de reanálise para altura de aproximadamente 41 metros**
- ✓ Outras causas para alterações nas velocidades dos ventos também são avaliadas pelos climatologistas, como radiação solar, atividade solar, evapotranspiração e até mesmo a qualidade dos dados medidos
- ✓ Lucena et al. (2010) **avalia as condições climáticas futuras para vento de superfície no Brasil**, utilizando o modelo regional PRECIS para downscaling de resultados do modelo de circulação global HadCM3 para os cenários de emissões A2 (pessimista) e B2 (otimista) do IPCC, e os resultados destacam **aumento em mais de 20% nas velocidades médias anuais** para região Norte, Nordeste e costa Leste

## 5.1 Mapeamento geográfico das ameaças climáticas para o setor elétrico

### 5.1.4 Queimadas

- ✓ A **ocorrência de queimadas** depende fortemente de condições ambientais, fonte de ignição e disponibilidade de combustível (vegetação)
- ✓ Temperatura, umidade relativa, precipitação e velocidade do vento **determinam a intensidade e propagação desses eventos** e a coincidência com situações extremas de seca, vento e altas temperaturas podem aumentar bastante a severidade
- ✓ Estudo sobre projeções futuras de risco de ocorrências de queimadas em áreas de savana e vegetação arbustiva no Brasil (Silva et al. (2016)) mostrou que para um cenário intermediário de mudanças climáticas (RCP4.5) há um aumento sistemático dos níveis extremos de perigo de fogo no cerrado brasileiro ao longo do século 21



**Distribuição espacial do para o Índice Meteorológico de Risco de Fogo (CPTEC/INPE), determinados a partir de projeções climáticas considerando cenário de mudanças climáticas RCP4.5**

Fonte: Silva et al. (2016).

### 5.1 Mapeamento geográfico das ameaças climáticas para o setor elétrico

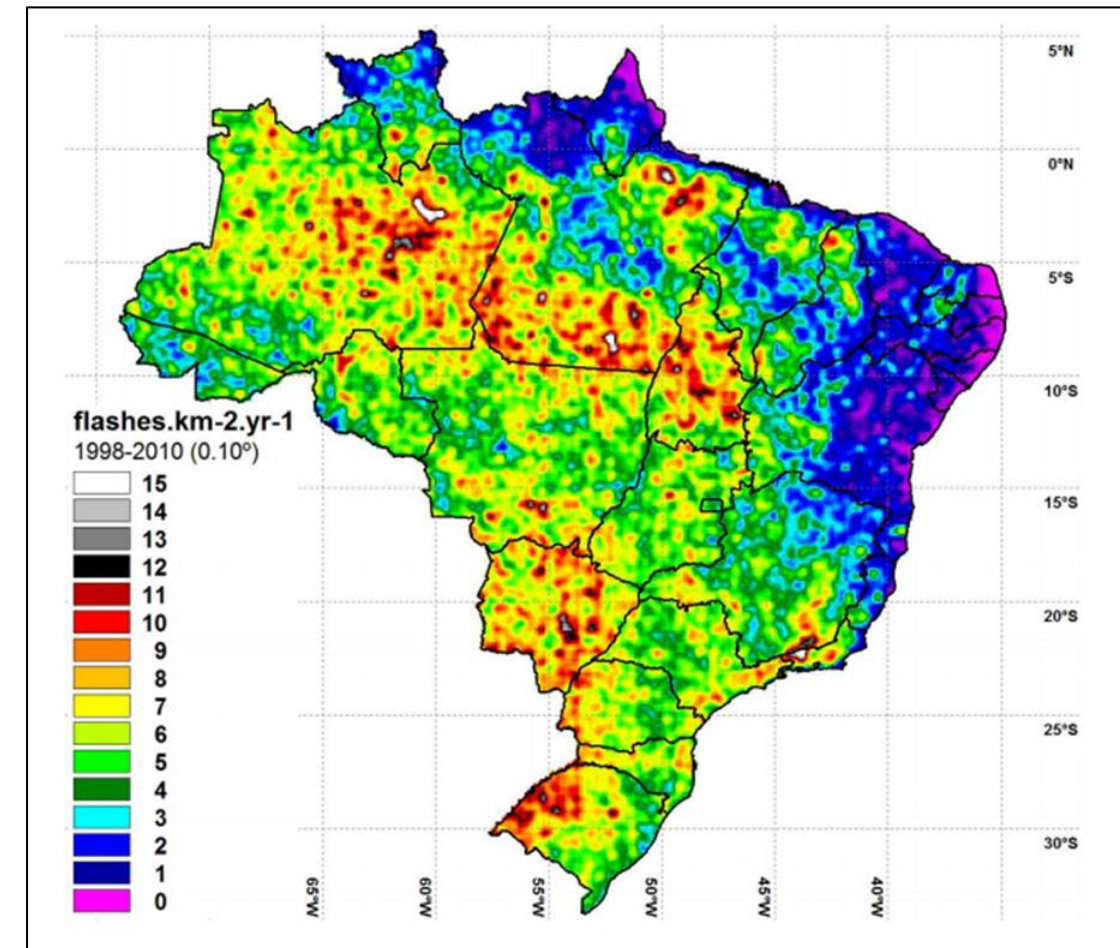
#### 5.1.5 Descargas atmosféricas

- ✓ As principais condições que levam a ocorrência de descargas atmosféricas são **aspectos físicos dinâmicos e termodinâmicos**
- ✓ Com relação aos **aspectos dinâmicos**, a ocorrência de uma descarga está relacionada à formação de campos de vento ascendente, produzidos de diferentes formas, como frentes frias ou quentes, zona de convergência intertropical, brisa marítima, aquecimento diferencial de superfície em áreas urbanas, montanhas, dentre outros
- ✓ Com relação à **termodinâmica**, os perfis de temperatura e umidade criam as condições de instabilidade necessárias à formação de tempestades elétricas
- ✓ Outros elementos também estão envolvidos na formação de tempestades elétricas, como **padrões climatológicos de larga escala**, e outros aspectos como **concentrações de aerossóis**

## 5.1 Mapeamento geográfico das ameaças climáticas para o setor elétrico

### 5.1.5 Descargas atmosféricas

- ✓ Naccarato et al. (2011) **avaliou a distribuição espacial de descargas atmosféricas para o Brasil**, a partir de dados do sensor *Lightning Image Sensor (LIS)*, um instrumento óptico a bordo do satélite TRMM, utilizando uma série de dados de 13 anos, no período de 1998 a 2010
- ✓ Os resultados indicam que o Brasil possui **06 regiões com maior densidade de descargas atmosféricas** (12 a 15 descargas por km<sup>2</sup>/ano): porção da bacia Amazônica, região central do Estado do Tocantins, Oeste do Rio Grande do Sul, Noroeste do Mato Grosso do Sul, Vale do Paraíba e Região Metropolitana de São Paulo



**Mapa de densidade de descargas atmosféricas baseado em 13 anos de dados do sensor LIS**

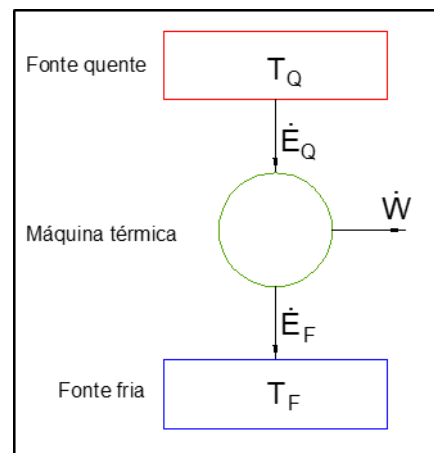
Fonte: Naccarato et al. (2011).



## 5.2 Fragilidades e resiliências do setor elétrico

### 5.2.1 Geração não renovável

- ✓ A geração de energia elétrica por fontes não renováveis é feita através de máquinas térmicas, que foram desenvolvidas para **converter a energia térmica de um combustível em energia mecânica ou trabalho**
- ✓ Para que elas possam operar, é necessário que **exista um diferencial de temperatura entre duas fontes de calor**, em que uma delas deverá estar em uma temperatura mais alta que a outra fonte



$$\eta = 1 - \frac{T_F}{T_Q}$$

- ✓ Como na grande maioria das máquinas térmicas a **fonte fria é o próprio ambiente**, fica evidente que qualquer elevação da temperatura da fonte fria resulta em redução do rendimento alcançado pela máquina

## 5.2 Fragilidades e resiliências do setor elétrico

### 5.2.1 Geração não renovável

- ✓ Quando se utilizam **ciclos térmicos de geração de energia**, por exemplo, em um ciclo Rankine com vapor d'água na pressão de 62 bar, superaquecido a 510 °C e com condensação a 0,1 bar absoluto, **observa-se que acréscimos da ordem de 1,5 °C na temperatura do ambiente resultam em perdas de até 5,7% nas eficiências globais desses ciclos**. Em ciclos com turbinas a gás essas perdas são ainda mais significativas, chegando a **reduções da ordem de 12%**
- ✓ Outro efeito que também pode ser negativo é que **a diminuição da disponibilidade de água para o transporte do calor rejeitado nesses ciclos térmicos** resulta em maiores diferenciais entre a temperatura do ambiente e da água de resfriamento
- ✓ O efeito combinado de aumento de temperatura e da redução da disponibilidade de água, **pode reduzir ainda mais a capacidade de geração termelétrica**
- ✓ **Enchentes e tempestades** também podem ser ameaças a plantas de geração termelétricas

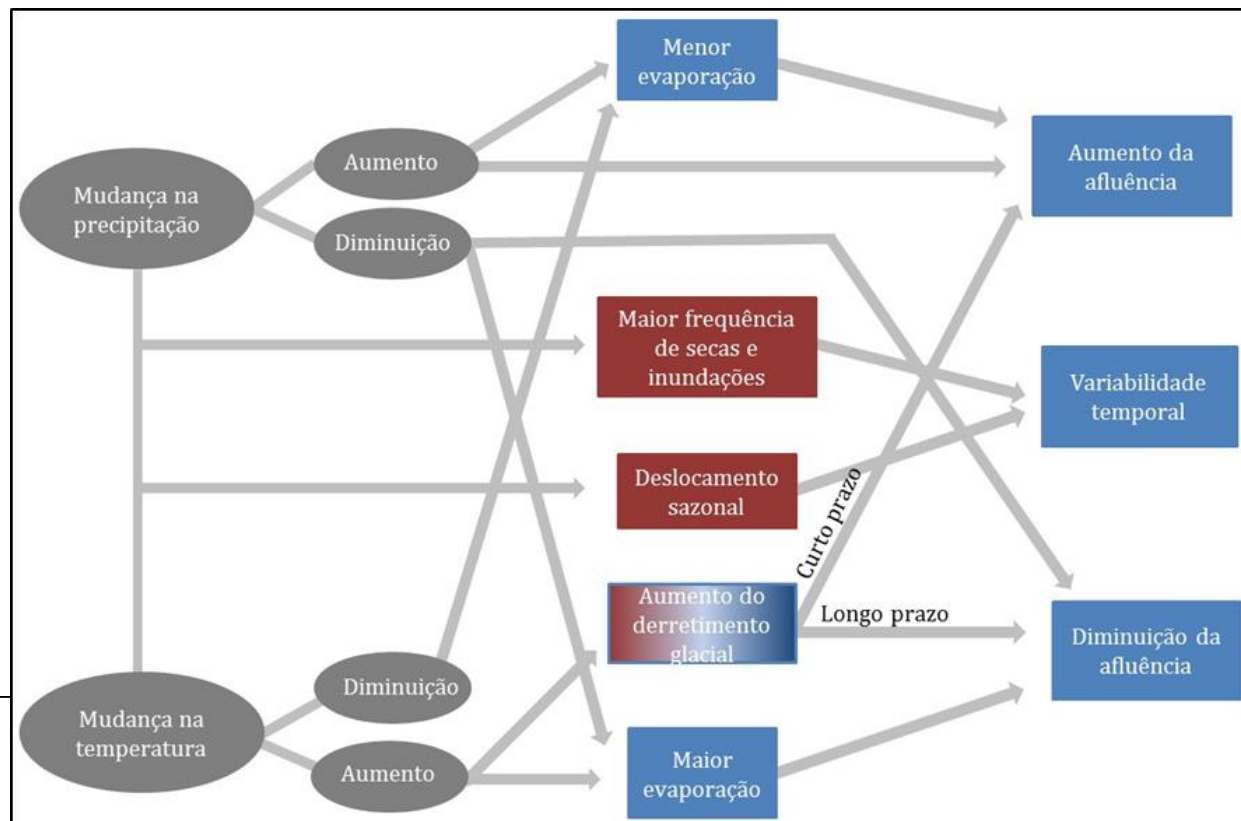
## 5.2 Fragilidades e resiliências do setor elétrico

### 5.2.2 Geração renovável

#### 5.2.2.1 Hidrelétrica

#### Efeitos das mudanças climáticas sobre o potencial de geração hidrelétrica

Fonte: Traduzido de Blackshear et al. (2011).



#### Efeitos de mudanças climáticas na geração hidrelétrica em função das características das usinas hidrelétricas

Fonte: Traduzido de Blackshear et al. (2011).

		Evaporação		Afluência		Variabilidade temporal			Derretimento glacial	
		Aumento	Diminuição	Aumento	Diminuição	Inundações	Secas	Deslocamento sazonal	Curto prazo	Longo prazo
Tipo	Reservatório									
	Fio d'água									
Relação área/volume	Alto									
	Baixo									
Tamanho do reservatório	Grande									
	Pequeno									

Mudanças relativas na capacidade de geração de eletricidade

Maior diminuição	Menor diminuição	Menor aumento	Maior aumento	N/A
------------------	------------------	---------------	---------------	-----



## 5.2 Fragilidades e resiliências do setor elétrico

### 5.2.2 Geração renovável

#### 5.2.2.1 Hidrelétrica

IMPACTO CLIMÁTICO	MEDIDA DE RESILIÊNCIA
Aumento de temperatura e velocidades de vento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construção ou ampliação dos reservatórios de armazenamento de água.</li> </ul>
Precipitação/seca	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desenvolvimento de técnicas aprimoradas de previsão hidrológica e regras de gestão operacional adaptativa;</li> <li>• Desenvolvimento de estratégias de gestão em toda a bacia que considere as restrições ambientais e o uso humano da água a jusante;</li> <li>• Restauração e aprimoramento da gestão da terra a montante, incluindo a florestação para reduzir as inundações, a erosão, o assoreamento e deslizamentos de terra;</li> <li>• Aumento da altura da barragem e/ou construção de pequenas barragens a montante visando o aumento do fluxo;</li> <li>• Construção ou ampliação dos reservatórios de armazenamento de água;</li> <li>• Modificação das capacidades do vertedouro e instalação de vertedouro controláveis nos reservatórios;</li> <li>• Modificação do número e o tipo de turbinas mais adequadas aos fluxos de água esperados;</li> <li>• Modificação dos canais ou túneis para lidar com mudanças esperadas nos fluxos de água;</li> <li>• Otimização da gestão do reservatórios e adaptação às mudanças de padrão das precipitações ou dos fluxos do rio.</li> </ul>
Eventos extremos (inundações, degelo)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projetar barragens e infraestrutura mais robustas para inundando eventos extremos e projetos para fluxos aumentados de derretimento de geleiras.</li> </ul>

## 5.2 Fragilidades e resiliências do setor elétrico

### 5.2.2 Geração renovável

#### 5.2.2.2 Biomassa

IMPACTO CLIMÁTICO	MEDIDA DE RESILIÊNCIA
Enchentes / precipitações	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicação de técnicas de manejo de solo e nutrientes;</li> <li>• Melhoraria da captação e uso de água;</li> <li>• Desenvolvimento de ecossistemas resilientes;</li> <li>• Realização de Pesquisas &amp; Desenvolvimento sobre resistência de matéria prima à enchente.</li> </ul>
Precipitação ou mudanças de temperatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Expansão das técnicas de captação de água da chuva, armazenamento e conservação, reutilização de água, dessalinização, eficiência no uso e irrigação, realização de ajustes nas datas de plantio; realocação de culturas e melhoria na gestão do uso da terra;</li> <li>• Utilização de plantas tolerantes ao sal ou culturas robustas com alta tolerância ao calor biológico e tolerância ao estresse hídrico;</li> <li>• Melhoraria das proteções contra inundações;</li> <li>• Expansão dos sistemas de irrigação e da eficiência;</li> <li>• Realização de Pesquisa &amp; Desenvolvimento sobre resistência da matéria prima à seca.</li> </ul>
Eventos extremos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da robustez das usinas de biomassa;</li> <li>• Utilização de medidas de adaptação comportamental, incluindo sistemas de aviso para chuva e anomalias de temperatura;</li> <li>• Apoio à colheita de emergência na iminência de eventos extremos e fornecimento de sistemas de seguro.</li> </ul>

## 5.2 Fragilidades e resiliências do setor elétrico

### 5.2.2 Geração renovável

#### 5.2.2.3 Solar

IMPACTO CLIMÁTICO	MEDIDA DE RESILIÊNCIA
Aumento de temperatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhoria do fluxo de ar sob a estrutura de montagem para reduzir o ganho de calor e ampliar as saídas;</li> <li>• Especificação das células fotovoltaicas resistentes ao calor e dos componentes do módulo para resistir a picos de temperaturas muito altos.</li> </ul>
Aumento da precipitação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleção do ângulo apropriado de inclinação para limpar a poeira do painel;</li> <li>• Seleção da superfície do módulo propício para a autolimpeza;</li> <li>• Escolha de locais com menor probabilidade de poeira, cascalho e neve se possível.</li> </ul>
Velocidade do vento e Turbidez	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projetos das estruturas para resistir a ventos mais altos;</li> <li>• Assegurar espaço livre (painel e montagem) para que a neve possa deslizar do painel.</li> </ul>

## 5.2 Fragilidades e resiliências do setor elétrico

### 5.2.2 Geração renovável

#### 5.2.2.4 Eólica

IMPACTO CLIMÁTICO	MEDIDA DE RESILIÊNCIA
Velocidade do vento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projeção de turbinas capazes de operar velocidades altas de vento, rajadas e mudanças de direção;</li> <li>• Instalação de torres mais altas para capturar ventos mais fortes em altitudes mais altas;</li> <li>• Escolha de lugares que levem em consideração alterações esperadas de velocidade do vento durante a vida útil das turbinas;</li> <li>• Consideração de turbinas eólicas de eixo (maior produção por m<sup>2</sup> de área de terra; podem operar em uma faixa mais ampla de velocidades de vento).</li> </ul>
Temperatura do ar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consideração dos efeitos de temperaturas extremas na turbina, na seleção das lâminas e na operação.</li> </ul>
Picos de tempestade	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projetos de estruturas mais robustos.</li> </ul>
Eventos Extremos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projetos de turbinas offshore para suportar os aumentos esperados de forças nas ondas de vento e mar.</li> </ul>

## 5.2 Fragilidades e resiliências do setor elétrico

### 5.2.3 Transmissão

- ✓ A revisão bibliográfica sobre **vulnerabilidade de linhas e sistemas de transmissão de energia elétrica** está praticamente reproduzindo o trabalho de **Panteli et al. (2016)**, dada sua amplitude, profundidade e ser propositivo e aplicado
- ✓ Apresenta uma metodologia abrangente para **avaliação da resistência multitemporal e multirregional de sistemas de transmissão** para condições climáticas extremas, bem como desenvolvimento de melhorias, aplicando modelagem de impacto de tempestades severas em redes de transmissão
- ✓ A abordagem é uma **extensão da modelagem CAT usada pela indústria de seguros** para obter as perdas esperadas para uma carteira de seguro para um determinado risco (por exemplo, terremoto, inundação, vento etc.)
- ✓ Estendeu-se o método para os impactos do sistema de transmissão de eletricidade devido a **fortes tempestades com vento**

## 5.2 Fragilidades e resiliências do setor elétrico

### 5.2.3 Transmissão

- ✓ Um **modelo de simulação probabilística de séries temporais** é apresentado, de forma que, estocasticamente, modele e avalie o impacto espaço-temporal de frentes meteorológicas
- ✓ Um **modelo de fragilidade de componentes do sistema de potência** é desenvolvido para caracterizar sua probabilidade de falha como uma função das condições climáticas que eles estejam submetidos a cada momento
- ✓ Propõe-se um **Índice de Valoração da Resiliência** (em inglês, **Resilience Achievement Worth – RAW**) de corredores de individuais de transmissão
- ✓ A maneira de se calcular o **RAW** é baseado, na verdade, em um processo indireto, em que se estima o dano produzido pela falha (ou seja, a **vulnerabilidade**)
- ✓ Esta é mensurada pelo número de **linhas caídas**, ou pela potência de **carga cortada**, ou pela **energia não suprida**, durante um período relativamente longo, que dura a tempestade

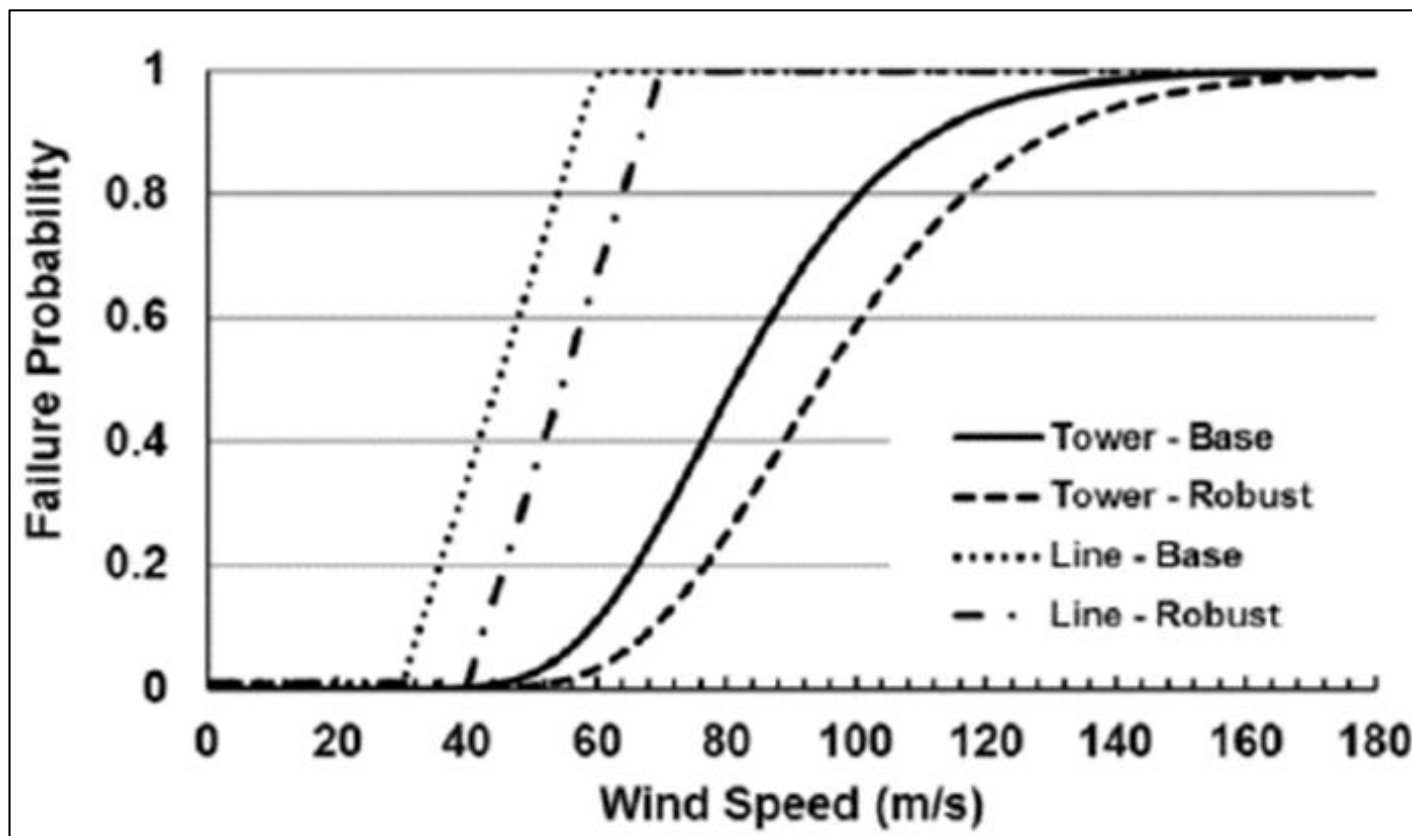
## 5.2 Fragilidades e resiliências do setor elétrico

### 5.2.3 Transmissão

- ✓ O **RAW** para um corredor de transmissão é a diferença entre duas medidas de vulnerabilidade **sistêmica**: a **primeira** (de referência), que considera todos elementos frágeis e a **segunda**, que considera a situação anterior, salvo para o corredor focado, que é considerado disponível 100% do tempo, independentemente das condições climáticas
- ✓ **Método de avaliação de fragilidade de torres de transmissão**: as Curvas de Fragilidade podem ser derivadas:
  - i. empiricamente da análise estatística de um grande conjunto de falhas observadas;
  - ii. experimentalmente, por ensaios destrutivos de torres;
  - iii. analiticamente, usando um modelo estrutural de simulação;
  - iv. usando julgamento de especialistas; ou
  - v. por meio de uma combinação destes métodos

## 5.2 Fragilidades e resiliências do setor elétrico

### 5.2.3 Transmissão



**Curvas de fragilidade do vento de linhas de transmissão e torres (estudo de caso base e robusto)**

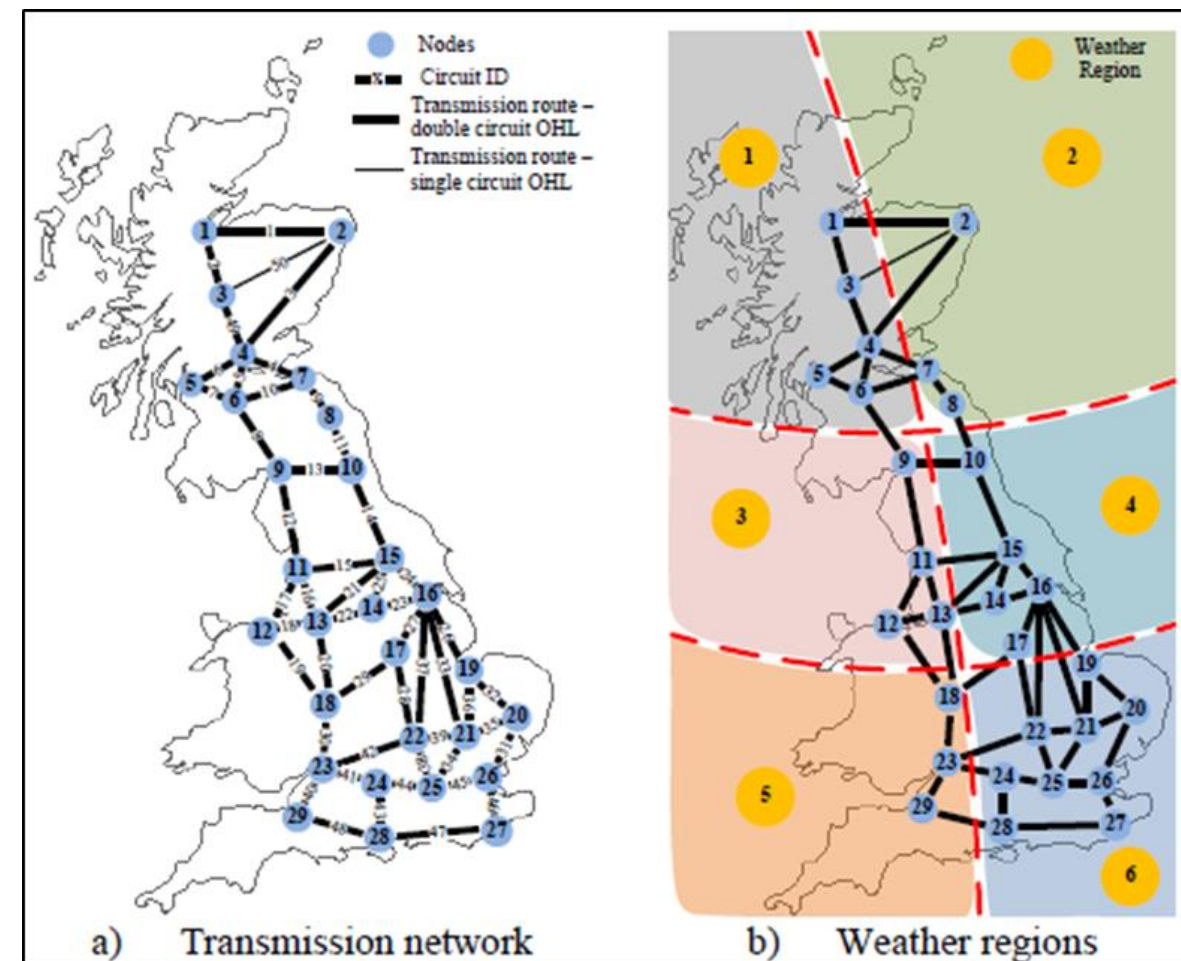
Fonte: Panteli et al. (2016).



## 5.2 Fragilidades e resiliências do setor elétrico

### 5.2.3 Transmissão

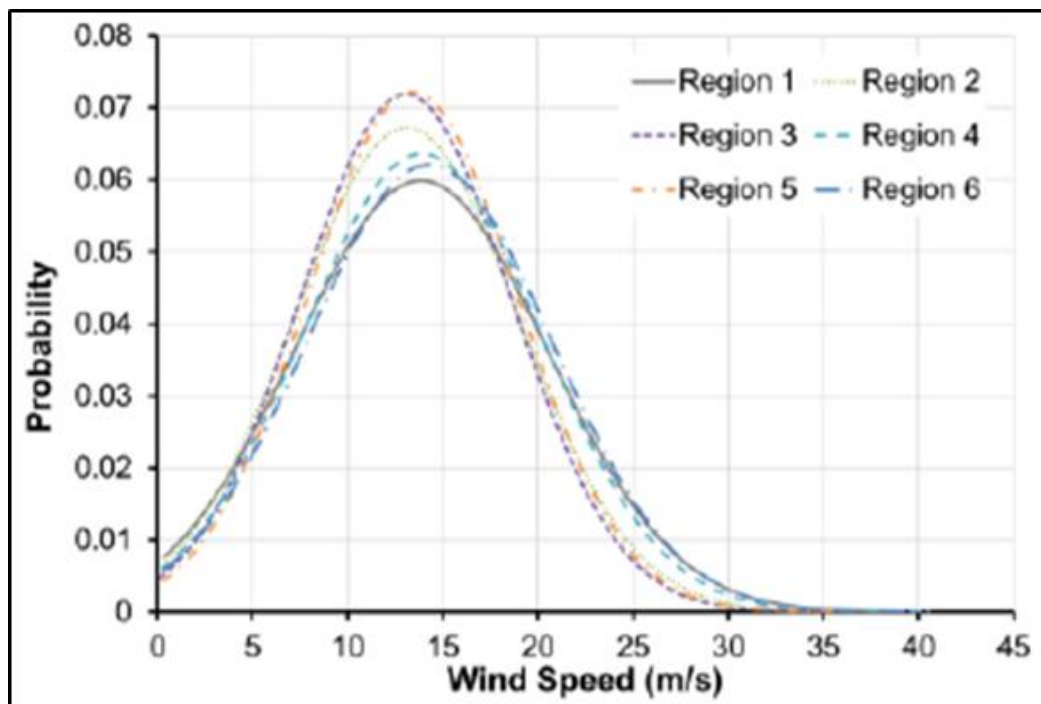
- ✓ Além da modelagem da fragilidade das torres de transmissão, a metodologia proposta incorpora, ainda, **taxas de falhas das linhas, com base em dados estatísticos**, expurgando as relativas à queda de torre, adotando-se também tempos médios de recuperação das mesmas
- ✓ Aplicou-se o modelo proposto ao **sistema elétrico britânico**, simplificando-o e dividindo-o em georregiões, em que as condições de vento são homogêneas



## 5.2 Fragilidades e resiliências do setor elétrico

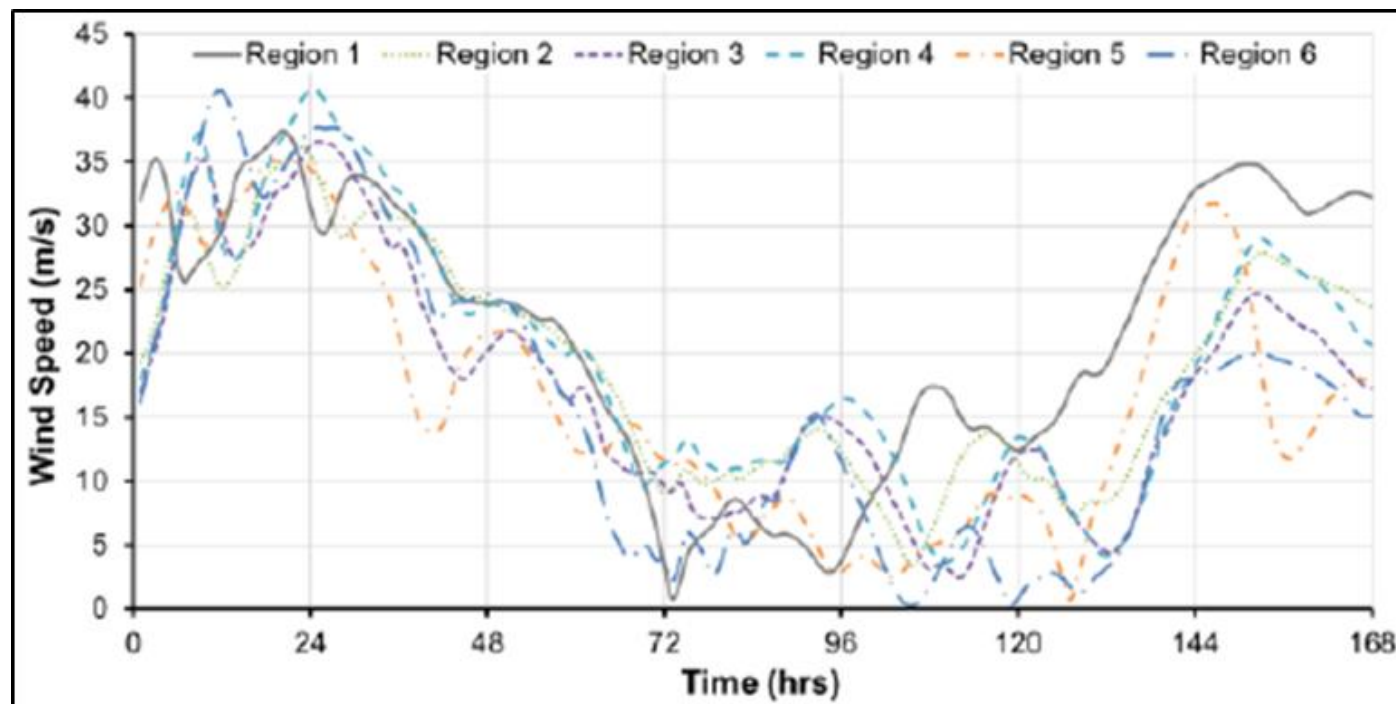
### 5.2.3 Transmissão

- ✓ A construção das séries temporais dos perfis de vento regionais é feita usando a reanálise do **Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications (MERRA)**



Função de densidade de probabilidade dos perfis de vento regionais com  $w_{max} = 40\text{m/s}$

Fonte: Panteli et al. (2016).



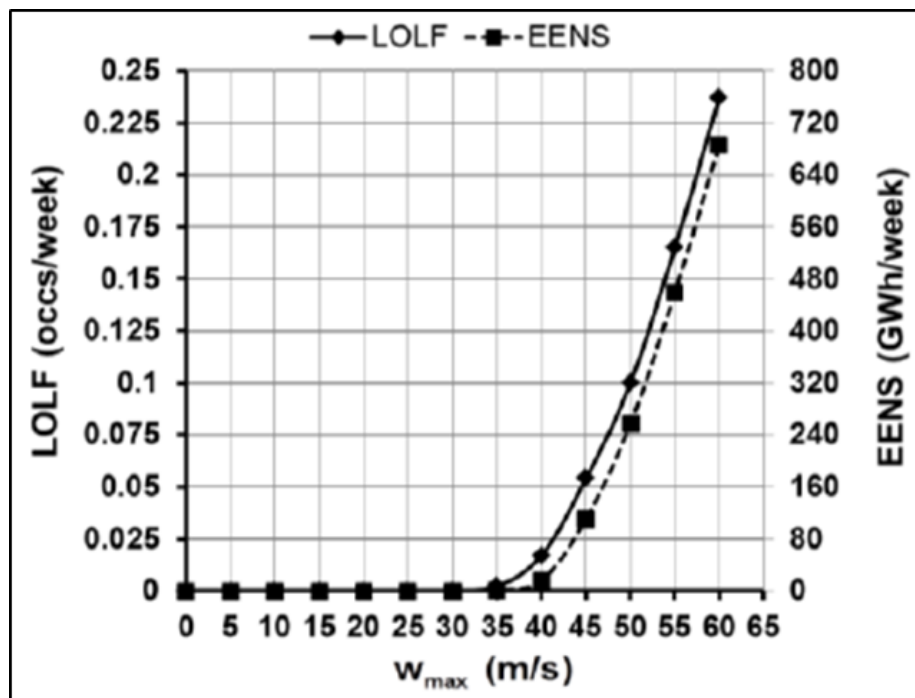
Exemplo dos perfis de vento regionais horários com  $w_{max} = 40\text{m/s}$

Fonte: Panteli et al. (2016).

## 5.2 Fragilidades e resiliências do setor elétrico

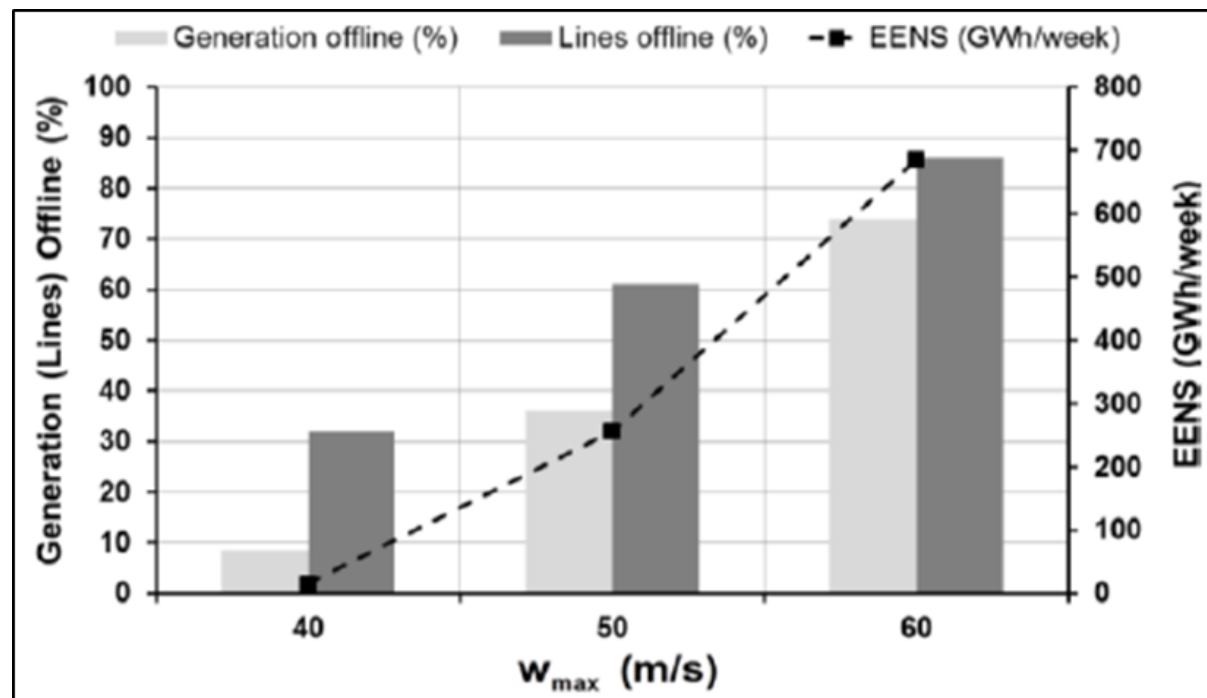
### 5.2.3 Transmissão

- ✓ Então, simula-se a tempestade, os efeitos sobre o sistema e as consequências, sejam elas o número de linhas que saem de serviço por queda de torres, a potência interrompida ou a energia não suprida, para **ventos máximos de 40, 50 e 60 m/s**



Influência do vento no LOLF e EENS em função do  $w_{max}$  de cada perfil de vento para o caso base

Fonte: Panteli et al. (2016).



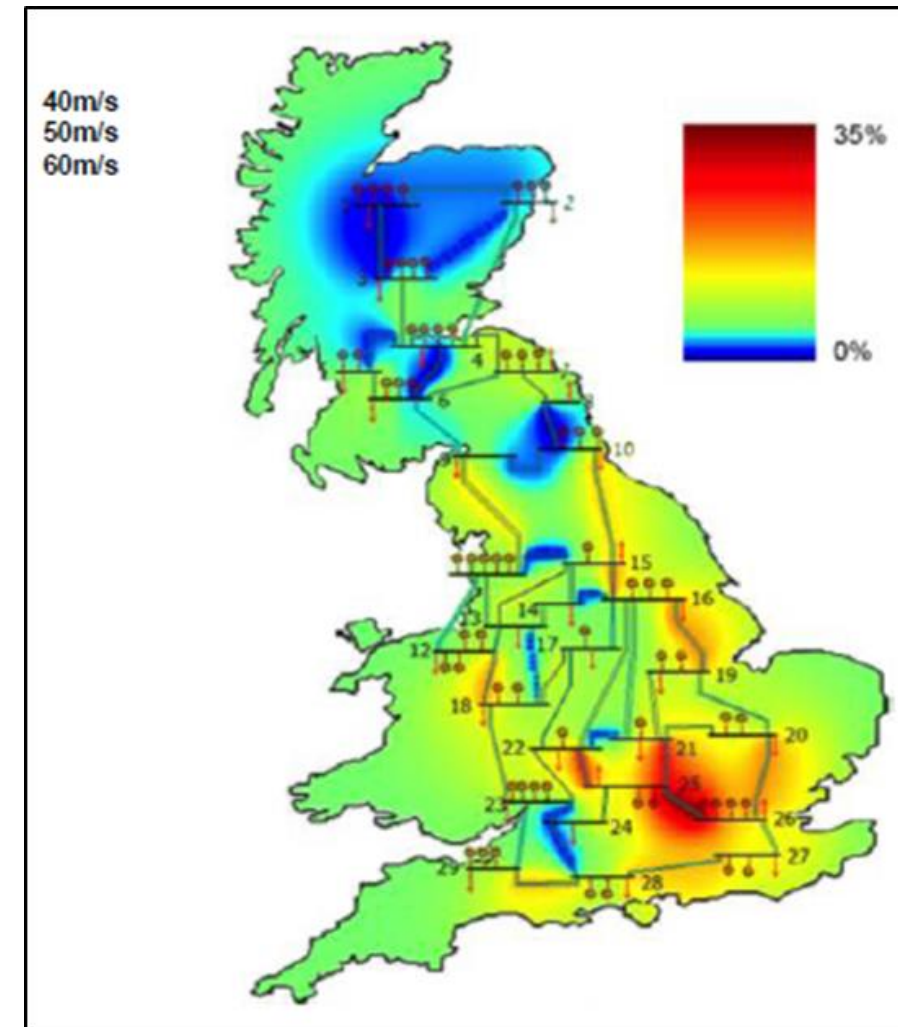
Geração e linhas de transmissão que foram desligadas durante tempestades com velocidades máximas de vento de 40, 50 e 60 m/s, respectivamente

Fonte: Panteli et al. (2016).

## 5.2 Fragilidades e resiliências do setor elétrico

### 5.2.3 Transmissão

- ✓ Nesse contexto, a **energia não suprida pode ser uma boa métrica para cálculo do RAW** e que poderá ser usado para apoiar as estratégias de aprimoramento de resiliência do sistema como um todo
- ✓ O artigo destaca ainda que há uma mudança significativa de **RAW** entre os corredores, dependendo do vento máximo adotado
- ✓ **Quanto maior a rajada, mais ficam destacados os pontos onde se necessitam investimentos**, enquanto, para rajadas menores, o tempo de reparo é o item mais sensível



Mapeamento de RAWEEENS para  $w_{max} = 40m/s$   
Fonte: Panteli et al. (2016).



## 5.2 Fragilidades e resiliências do setor elétrico

### 5.2.4 Distribuição

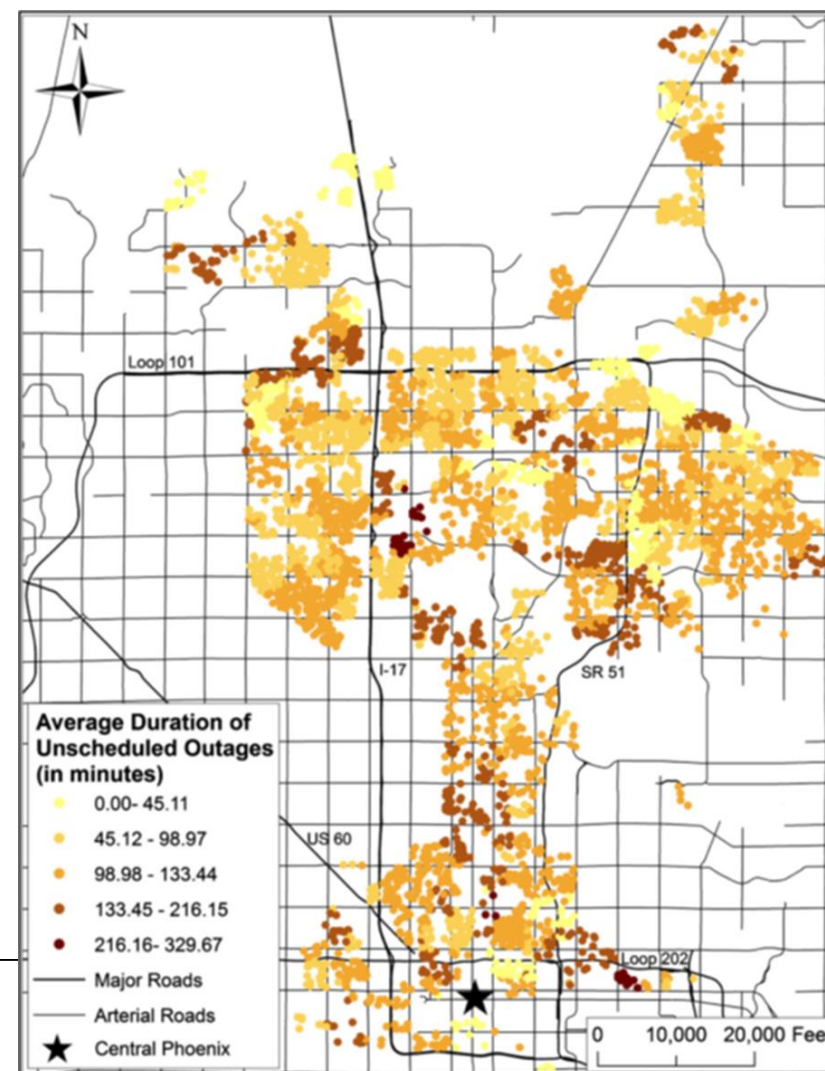
- ✓ De acordo com Maliszewski e Perrings (2012), a **resiliência em um sistema de distribuição** pode ser medida pela velocidade com que o sistema retorna às suas condições normais após uma falha, aproximada pela duração da interrupção, dependendo tanto das **características físicas da rede quanto da eficácia de seu gerenciamento**
- ✓ Nas **características físicas** foram consideradas: (i) A natureza das ameaças externas; (ii) Condições ambientais predominantes; (iii) Uso do solo; (iv) Características infraestruturais
- ✓ Já o **gerenciamento da rede** foi avaliado segundo características de triagem: (i) O número de clientes afetados; (ii) Tipo de clientes afetados; (iii) Acesso dos caminhões de reparo da concessionária ao local da interrupção
- ✓ As **condições de infraestrutura** incluíram o tipo de rede (aérea ou subterrânea), idade e localização. As **condições ambientais** incluíram temperatura, vegetação, abundância de aves e proximidade com o deserto
- ✓ Teste do método proposto foi aplicado para o **histórico de interrupções no sistema residencial de parte da cidade de Phoenix**, Arizona, entre 2002 e 2005

## 5.2 Fragilidades e resiliências do setor elétrico

### 5.2.4 Distribuição

- ✓ O método aplicado considerou um **modelo de regressão da duração das interrupções**, em que  $y$  corresponde ao vetor de observações sobre a variável dependente,  $X$  é uma matriz de observações sobre as variáveis independentes,  $\beta$  é o vetor de coeficientes de regressão a serem estimados,  $u$  é o vetor de termos de erro espacialmente autocorrelacionados,  $\lambda$  é o coeficiente para ser estimado e  $e$  é o vetor de termos de erro. A matriz de ponderações espaciais  $W$  contém elementos binários que caracterizam a vizinhança dos pontos de consumo modelados

$$y = X\beta + \lambda Wu + e$$



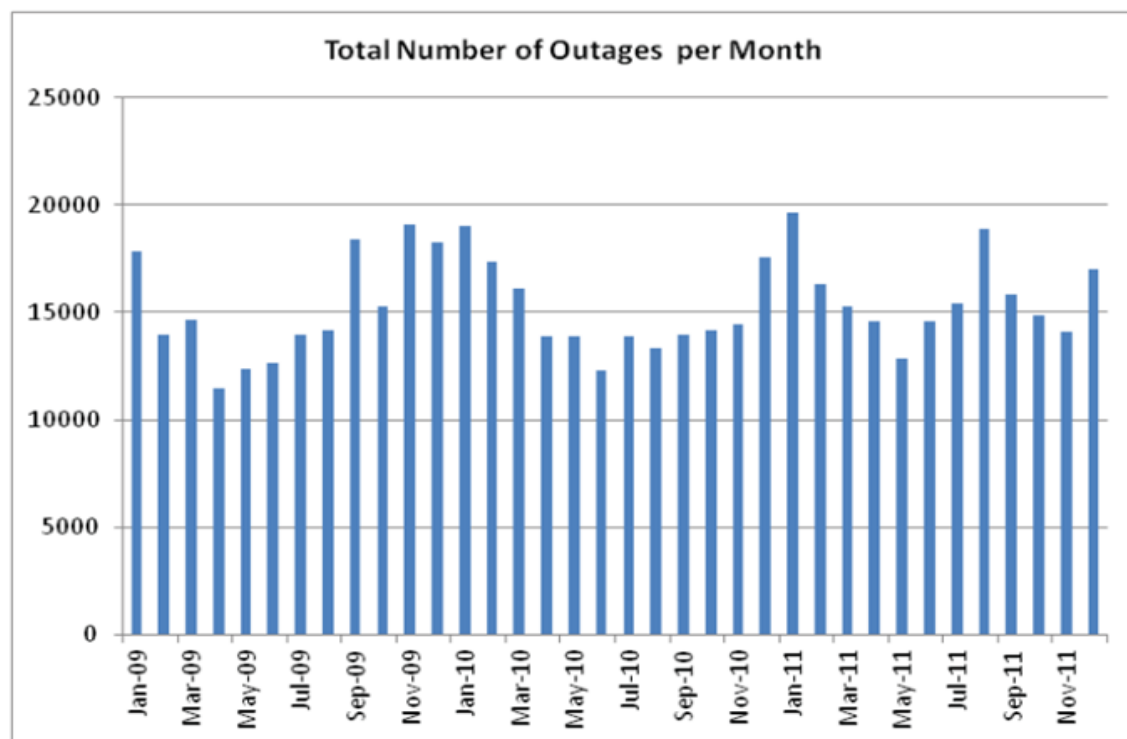
**Mapa dos tempos médios de duração da interrupção em minutos (2002 a 2005)**

Fonte: Maliszewski e Perrings (2012).

## 5.2 Fragilidades e resiliências do setor elétrico

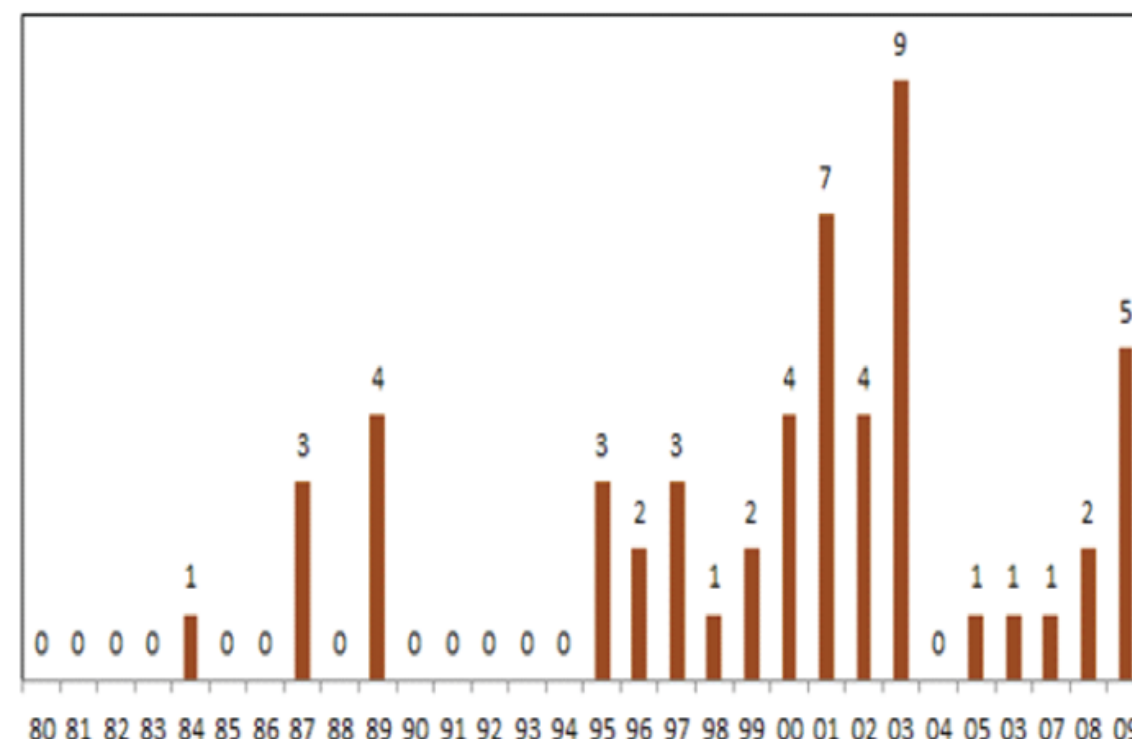
### 5.2.4 Distribuição

- ✓ Molina et al. (2013) avalia a **evolução histórica de ocorrências nas redes aéreas de distribuição das Centrais Elétricas de Santa Catarina (Celesc)** face ao aumento de eventos climáticos extremos no estado



Número total de interrupções na Celesc por mês (2009 - 2011)

Fonte: Molina et al. (2013).



Frequência anual de tornados em Santa Catarina (1980 - 2009)

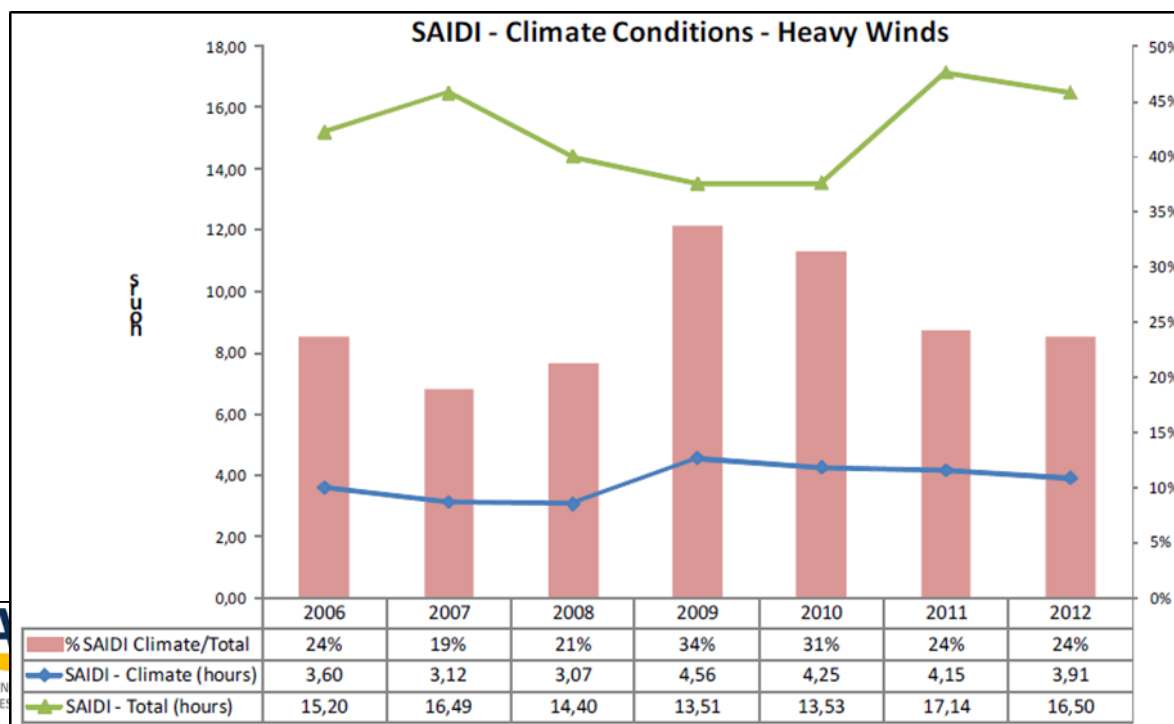
Fonte: Molina et al. (2013).



## 5.2 Fragilidades e resiliências do setor elétrico

### 5.2.4 Distribuição

- ✓ O trabalho mostra, ainda, o aumento das interrupções na rede da concessionária relacionados a fenômenos climáticos, com uma média anual de **mais de 30.000 eventos nos anos de 2009 a 2012**, em que a maioria está relacionada à **vegetação** ou a **objetos** lançados na rede de distribuição
- ✓ Relação entre o **indicador SAIDI** (*System Average Interruption Duration Index*) de duração da interrupção total e aquele causado por eventos climáticos:



Fonte: Molina et al. (2013).

## 5.2 Fragilidades e resiliências do setor elétrico

### 5.2.4 Distribuição

- ✓ **Exemplo de adoção de padrões mais elevados para projetos de infraestrutura** que estão sendo implementados: no rastro do furacão Sandy que atingiu a Costa Leste dos EUA e paralisou o sistema de energia de várias cidades, foi adotada a **elevação de subestações** acima dos níveis de inundação realizados

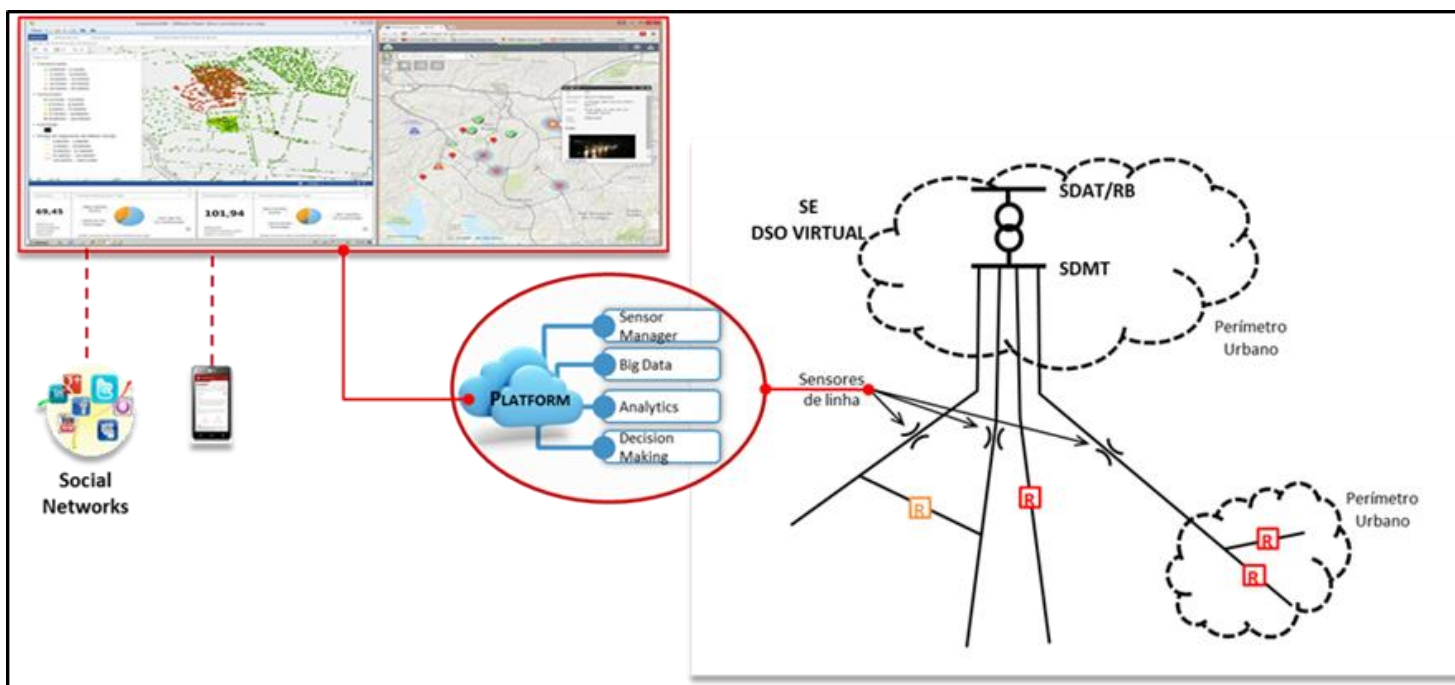


Fonte: APEC (2017).

## 5.2 Fragilidades e resiliências do setor elétrico

### 5.2.4 Distribuição

- ✓ A rápida introdução da geração distribuída associada à disponibilidade de novas tecnologias de acesso à informação e análise de dados tem mudado o conceito tradicional da atividade de distribuição, surgindo novos conceitos como **Distribution System Operator (DSO)**



## 5.2 Fragilidades e resiliências do setor elétrico

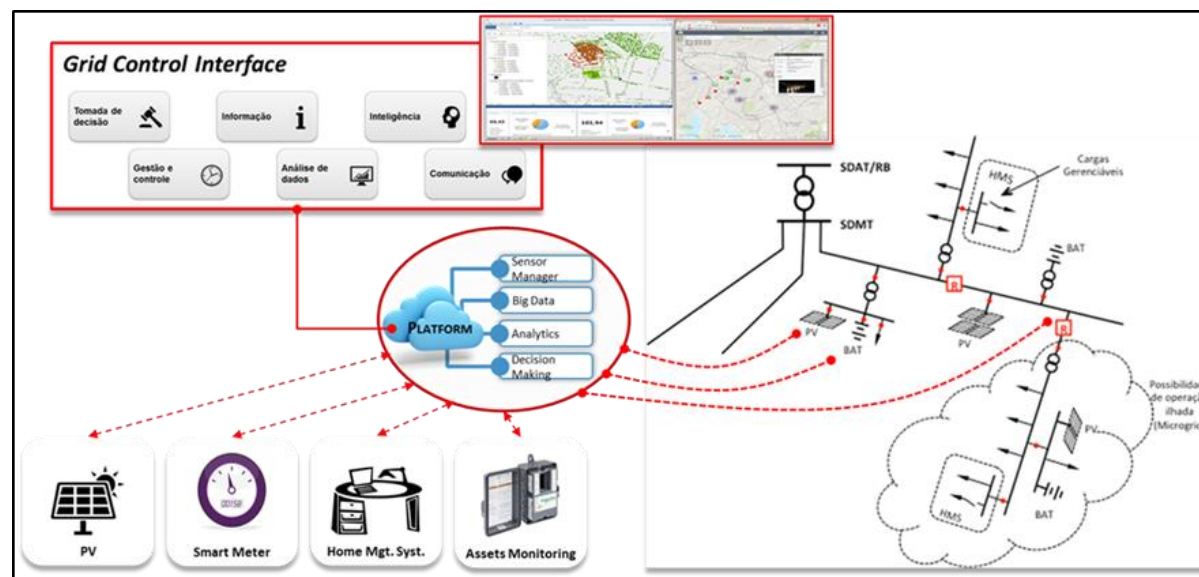
### 5.2.5 Demanda

- ✓ Os **efeitos das mudanças climáticas** afetam o comportamento da demanda de eletricidade, que é utilizada para os sistemas de controle térmico em ar condicionado (conforto) e em ambientes industriais, e na demanda usada pelos sistemas frigoríficos para o resfriamento e armazenamento dos mais variados produtos
- ✓ Considerando as condições usuais brasileiras e adotando um cenário com **um acréscimo de 1,5°C na temperatura do ambiente**, estima-se um **aumento na demanda de aproximadamente 14%** para os equipamentos de ar condicionado e **em torno de 3%** para os sistemas frigoríficos
- ✓ Além do impacto do aumento de temperatura sobre a demanda, é importante considerar **o efeito combinado de dinâmicas populacionais** (crescimento e migrações)
- ✓ A **evolução tecnológica** permitirá, no curto para médio prazos, a **melhoria da resiliência do consumidor**, dada a capacidade de modular seu consumo, produção e armazenamento de forma inteligente

## 5.2 Fragilidades e resiliências do setor elétrico

### 5.2.5 Demanda

- ✓ Síntese de uma **nova situação vislumbrada para o setor elétrico**, em que existe uma interação entre o DSO e os agentes (consumidores, geradores, armazenadores, prosumers):



- ✓ Uma evolução vislumbrada para a interação entre a rede e os consumidores/usuários, que daria maior resiliência ao sistema elétrico, é os **sistemas transativos de energia**



1. INTRODUÇÃO

2. FUNDAMENTOS GERAIS

3. ESTADO DA ARTE SOBRE VULNERABILIDADE EM DIFERENTES SETORES

4. VULNERABILIDADE ENERGÉTICA

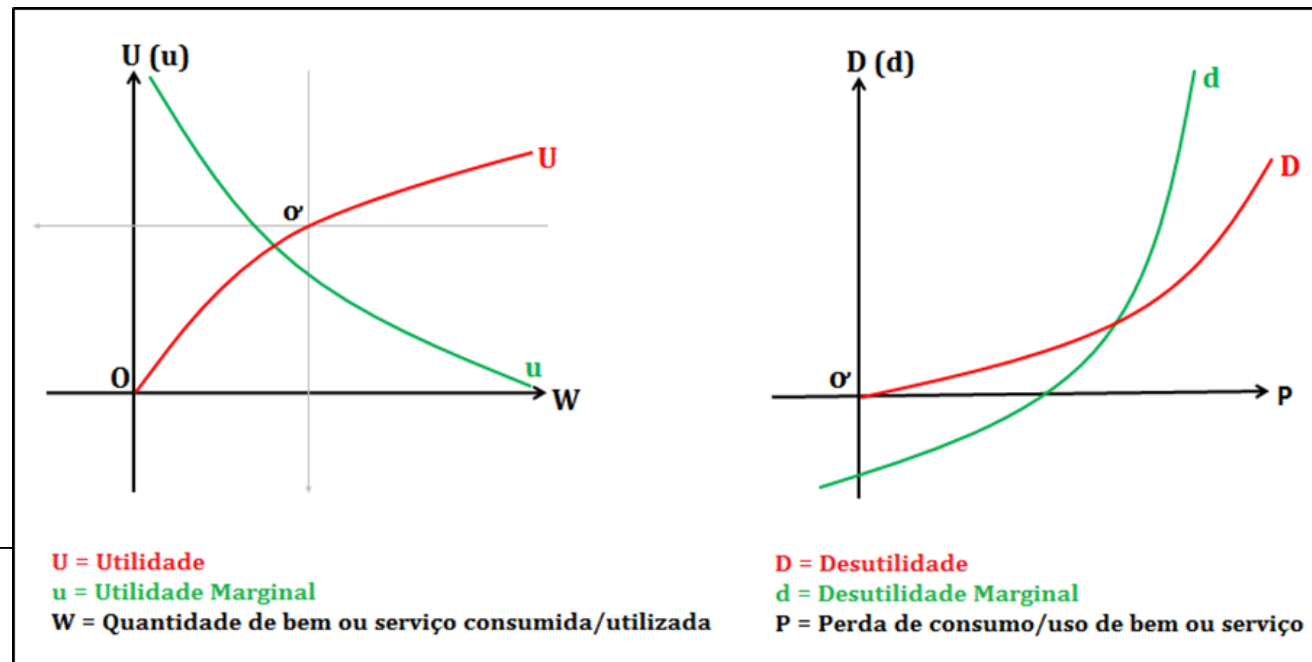
5. VULNERABILIDADE APLICADA AO SETOR ELÉTRICO

**6. VULNERABILIDADE INCORPORANDO O LADO DA DEMANDA (DA SOCIEDADE)**

7. PROPOSIÇÕES E OBSERVAÇÕES FINAIS

## 6.1 Fragilidades e resiliências da sociedade

- ✓ Para fins deste trabalho, denomina-se **sociedade** o conjunto de consumidores e usuários de energia elétrica, sejam eles famílias ou unidades de produção, que reflitam o caráter de satisfação e de preferência nas curvas de utilidade e de indiferença conceituadas na microeconomia
- ✓ Santos et al. (2014) apresenta uma proposta para incluir esta aversão da sociedade (que pode ser entendida como uma avaliação da fragilidade da sociedade), nos estudos elétricos, que utiliza um conceito relativamente novo e de uso mais comum na economia ambiental, que é a **Desutilidade**

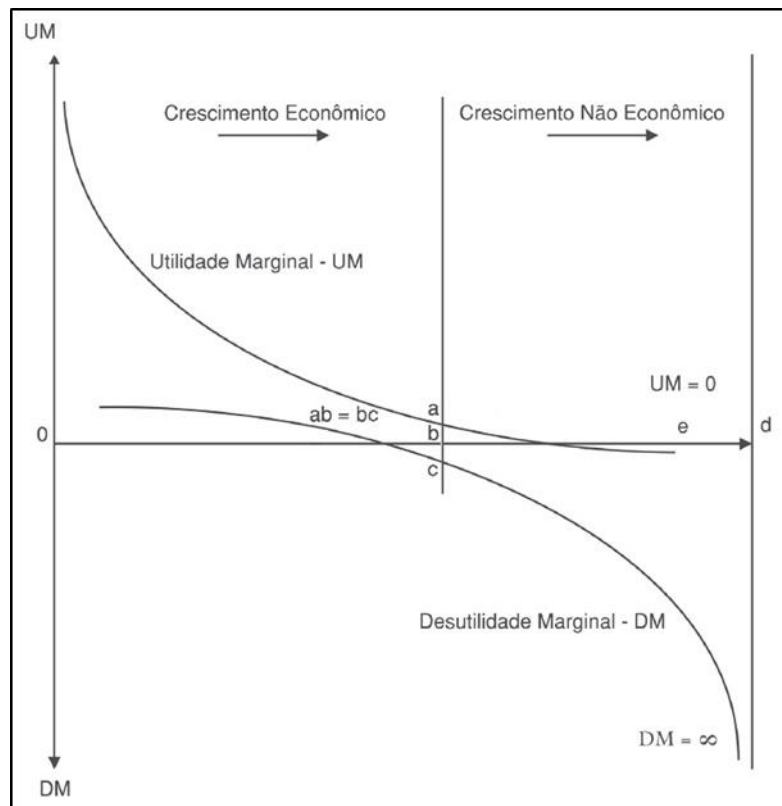


Santos et al. (2014).



## 6.1 Fragilidades e resiliências da sociedade

- ✓ Romeiro (2012) comenta sobre crescimento não econômico, em que o aumento da satisfação (utilidade) trazido pelo crescimento econômico é menor do que o aumento da insatisfação (desutilidade)



**Curvas de utilidade marginal e desutilidade marginal**

Fonte: Romeiro (2012).

## 6.1 Fragilidades e resiliências da sociedade

- ✓ Santos et al. (2014) propôs uma medida de resiliência do usuário/consumidor face a reduções de consumo em condições de incerteza, utilizando também o conceito de **desutilidade**, sendo  $L$  a perda do serviço e  $P$  a probabilidade associada a essa perda, tem-se a função desutilidade de um usuário/consumidor ou sociedade. Nesta figura,  $L_1$  representa o pleno atendimento, associado a uma probabilidade  $P_1$ , e  $L_2$  é a redução da carga face ao aumento de preço ou a uma interrupção, e  $P_2$  a probabilidade associada a essa redução

$$P_1 + P_2 = 1$$

Perda esperada do serviço:  $E(L) = P_1 \cdot L_1 + P_2 \cdot L_2 = L_3$

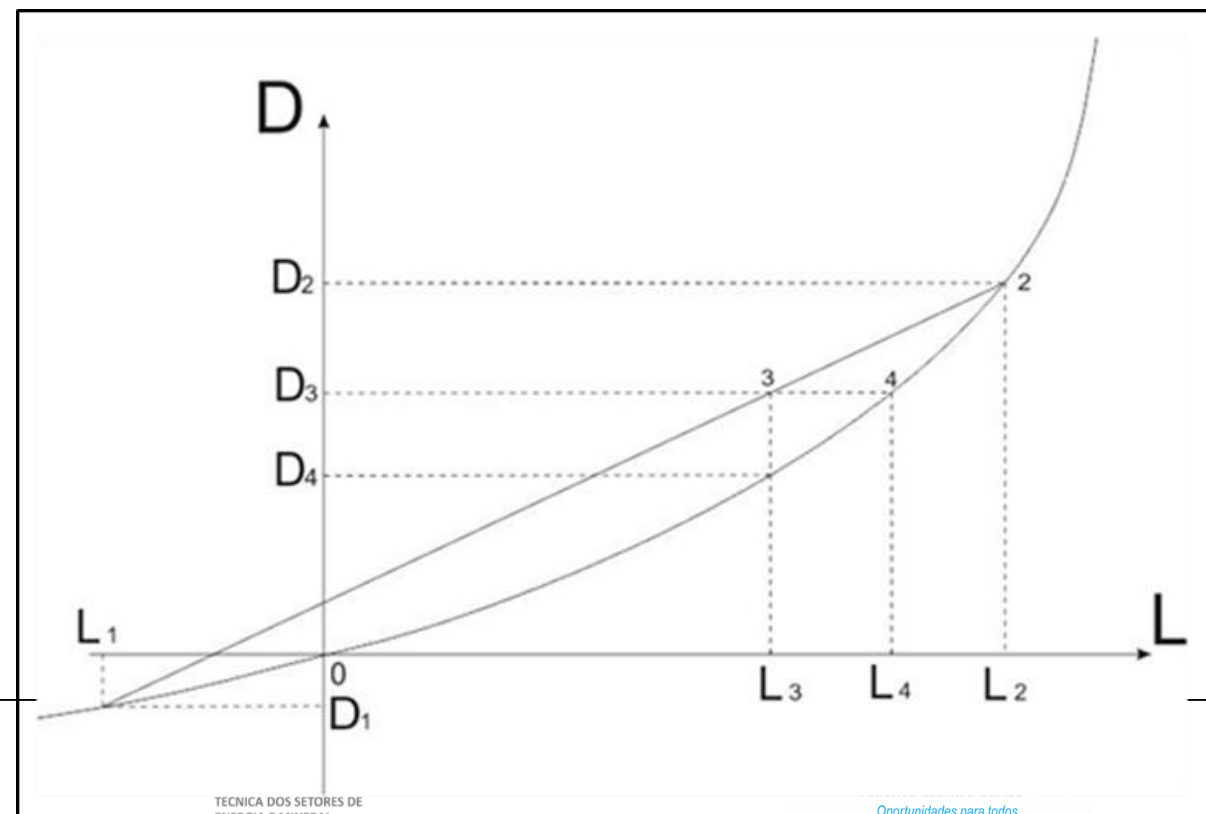
Desutilidade esperada  $D_3$ :  $E(D) = P_1 \cdot D_1 + P_2 \cdot D_2 = D_3$

Pela figura:  $D_3 = D(L_4) = E(D)$

Diferença desses valores pode ser utilizada como uma medida da fragilidade da sociedade, face a uma probabilidade  $P_1$

$$\Delta L = L_4 - L_3$$

Assim, uma avaliação de **vulnerabilidade** de um serviço de eletricidade com base na potência interrompida ou energia não suprida deveria incorporar um valor adicional  $\Delta L$  que reflita a **desutilidade** daquela sociedade atingida pelo dano

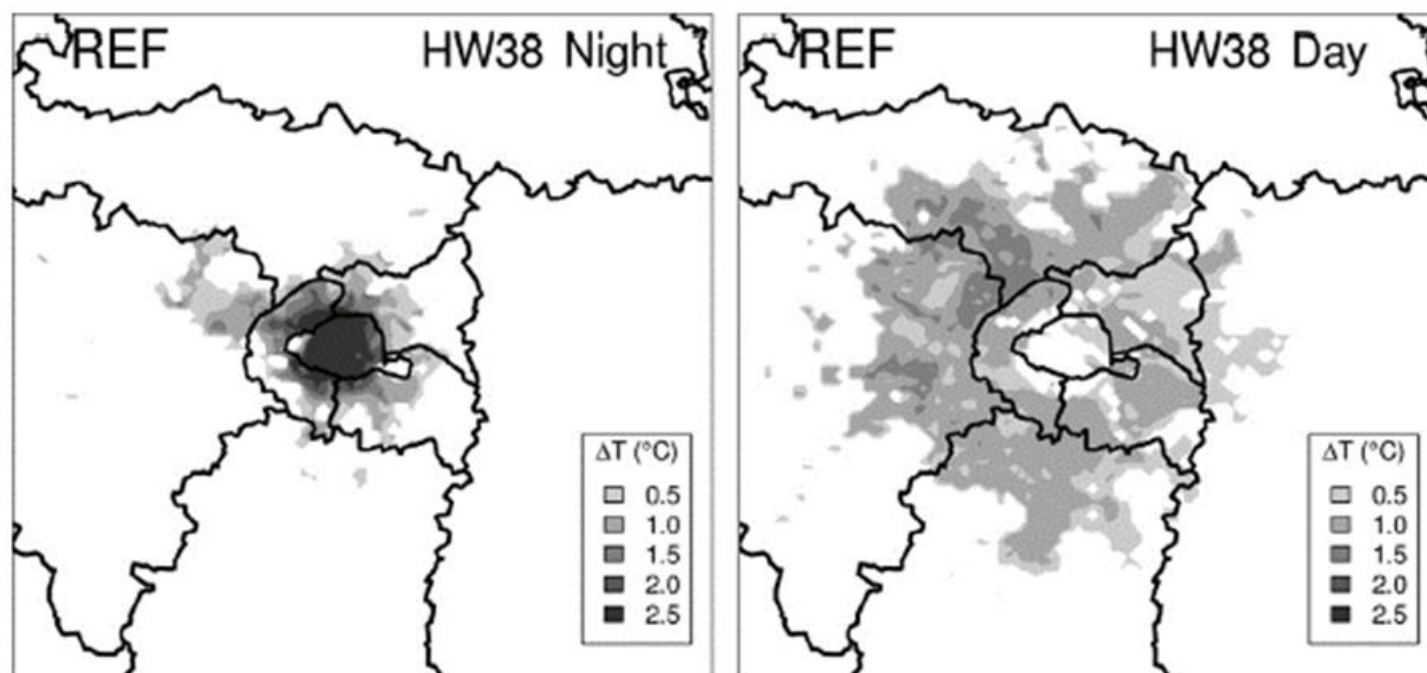


## 6.2 Análise espacial das vulnerabilidades sociais

- ✓ Os parâmetros utilizados para caracterizar as fragilidades da sociedade e que são considerados como variáveis para cálculo da vulnerabilidade, como densidade populacional, características de consumo (comercial, industrial, hospitalar), trânsito, segurança, **possuem forte dependência espacial**
- ✓ Entre 60 a 80% do consumo global de energia **é consumida em áreas urbanas** e esse número tende a ser ainda maior considerando as projeções de aumento da população urbana
- ✓ A morfologia (tipos de ocupação, densidade de ocupação e configuração das redes viárias) e geometria (tamanho e aos arranjos dos prédios) urbana refletem diretamente na resiliência energética, o que pode também indicar a distribuição das fragilidades no espaço urbano

## 6.2 Análise espacial das vulnerabilidades sociais

- ✓ Um **baixo nível de verticalização**, o que implica em maior número de residências unifamiliares e maior área ocupada, **implica em uma menor resiliência energética**; já uma **morfologia urbana com alto índice de verticalização implica em redução em consumo de energia** para transporte (menores distâncias percorridas) e rede de distribuição mais compacta
- ✓ Lemonsu et al. (2015) **avalia o impacto da expansão urbana** em eventos de ondas e ilhas de calor em Paris

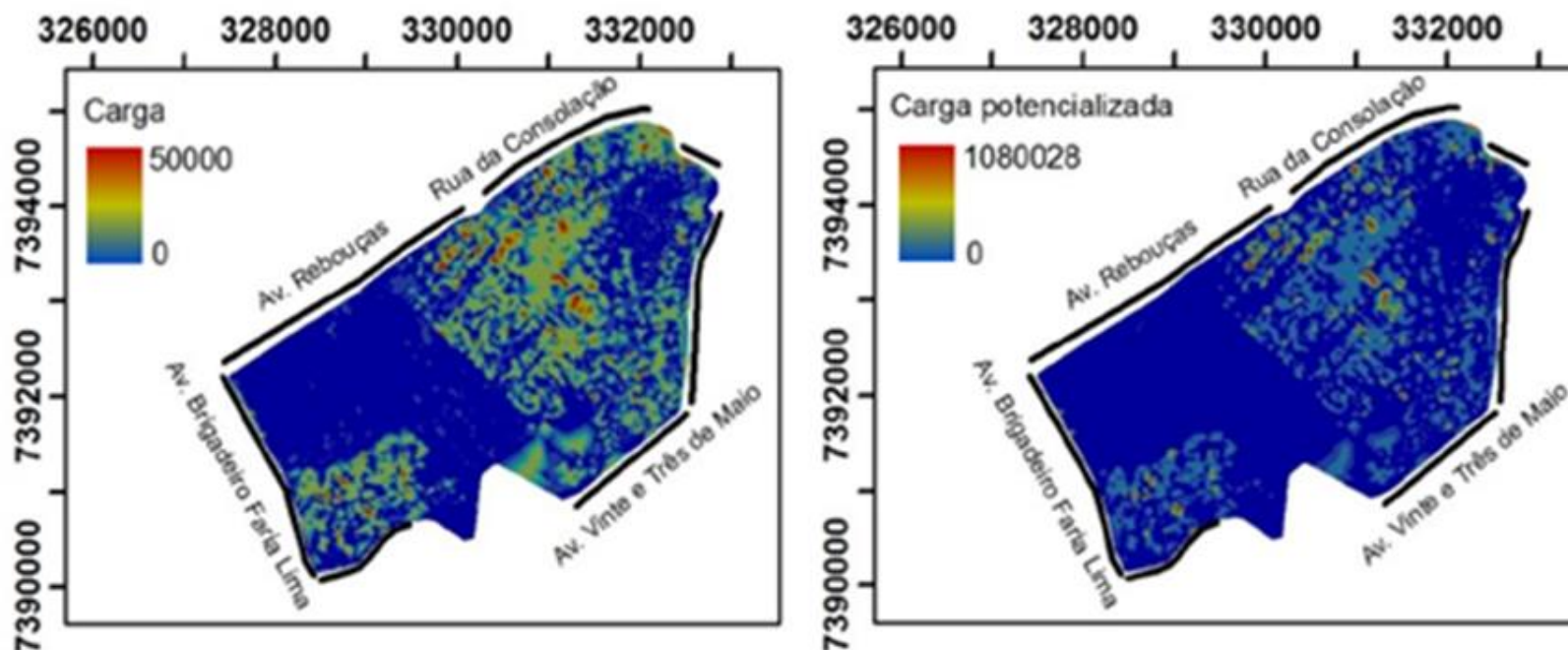


Representação espacial de anomalia de temperatura em um evento de onda de calor sobre cenário atual de ocupação urbana da cidade de Paris

Fonte: (LEMONSU et al., 2015).

## 6.2 Análise espacial das vulnerabilidades sociais

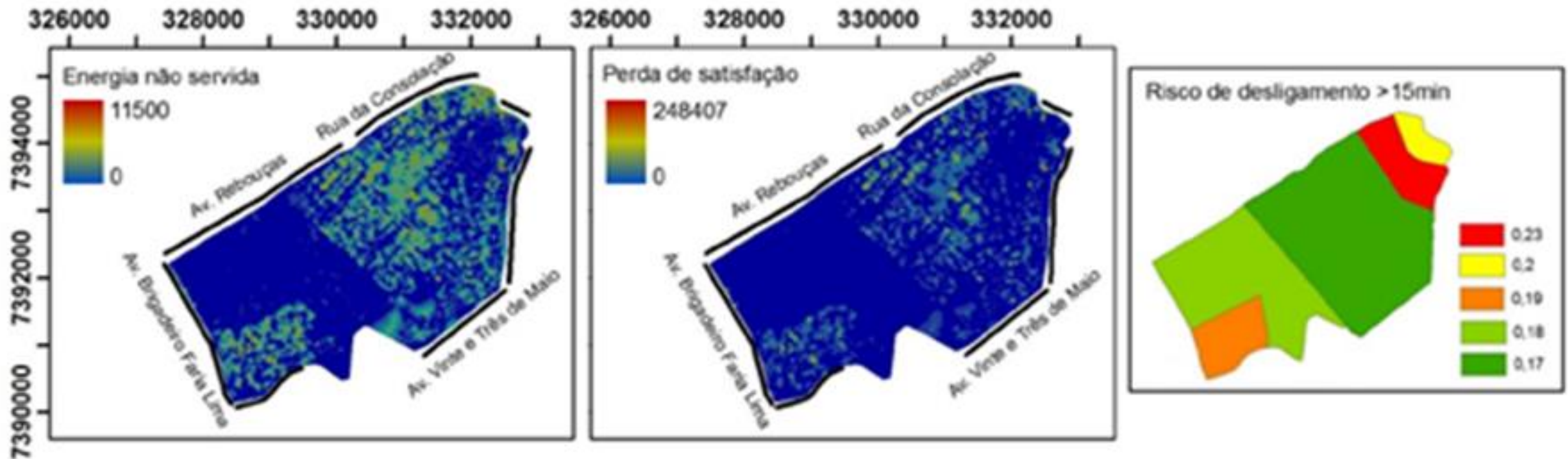
- ✓ A **distribuição geográfica de serviços essenciais** como hospitais, escolas, bancos, redes e estruturas de **utilities** (água, energia e drenagem urbana) também são essenciais para a avaliação da vulnerabilidade da sociedade, e o nível de insatisfação da sociedade à falta de cada um desses serviços essenciais, pode ser interpretada como **fragilidade da própria sociedade** à falta de energia
- ✓ Exemplo de **mapeamento de consumo** para a **região central de São Paulo**, em que a fragilidade é representada pela carga potencializada:





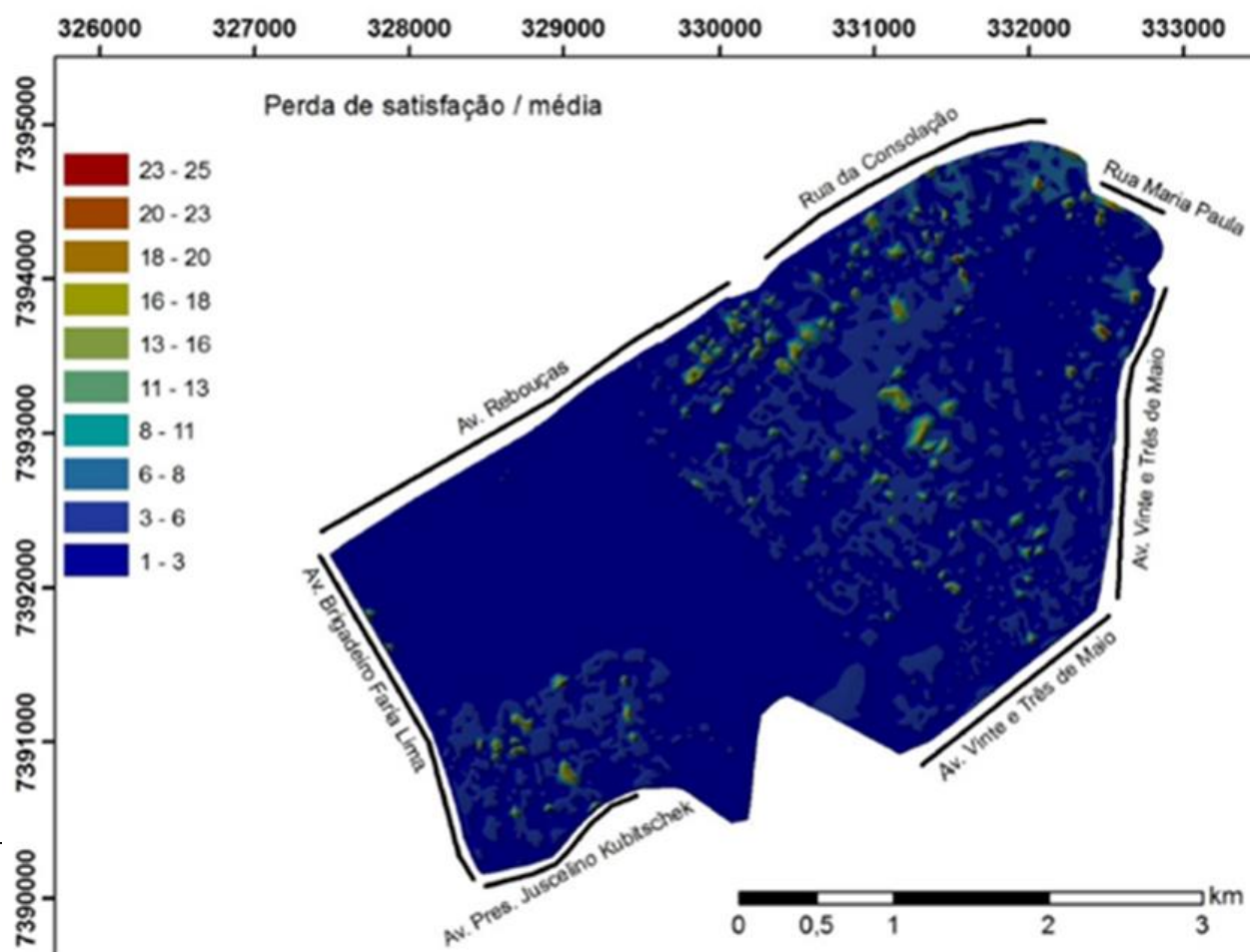
### 6.2 Análise espacial das vulnerabilidades sociais

- ✓ Considerando uma distribuição espacial hipotética para o risco de desligamento nessa região, é possível avaliar a energia não servida e a perda de satisfação:



## 6.2 Análise espacial das vulnerabilidades sociais

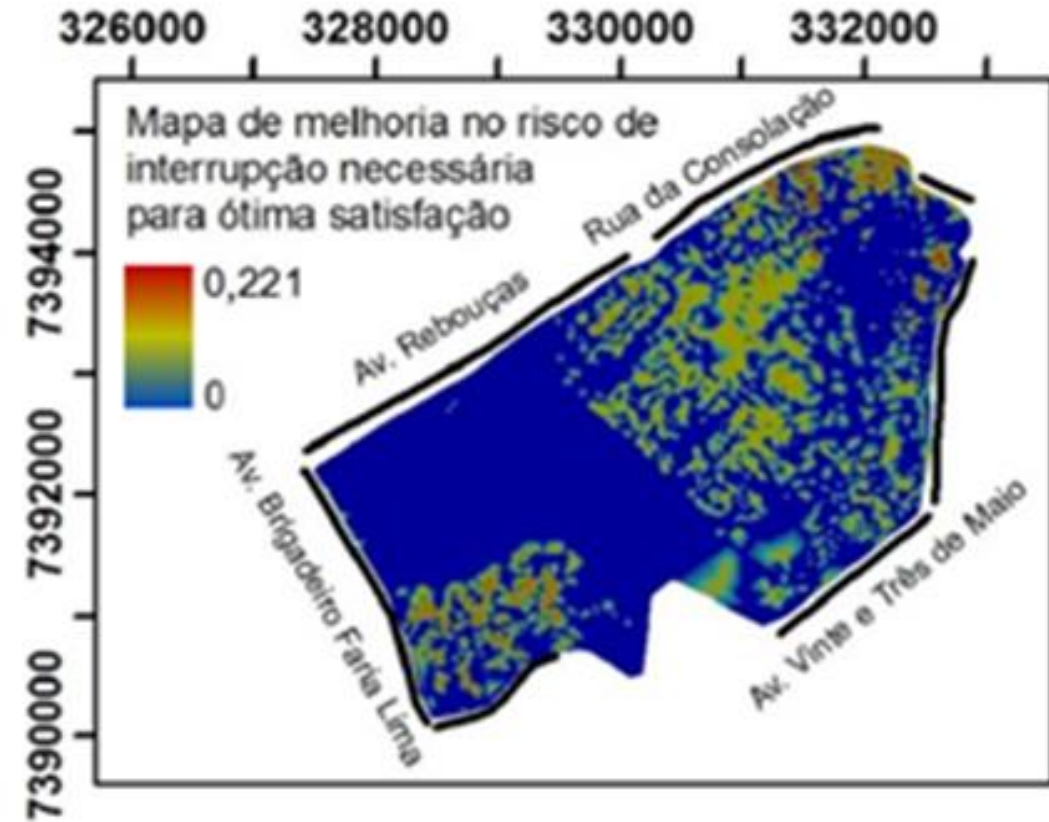
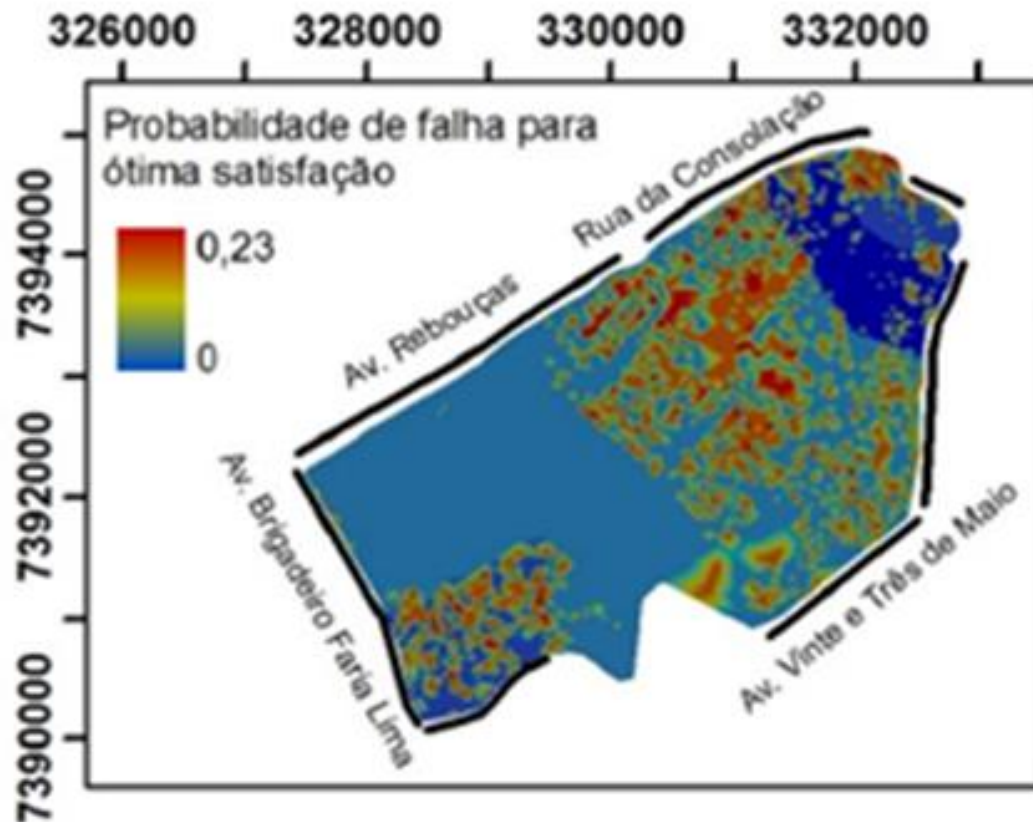
- ✓ A partir da perda de satisfação, a **vulnerabilidade média** foi calculada como sendo a divisão da perda de satisfação pelo consumo médio da região:





## 6.2 Análise espacial das vulnerabilidades sociais

- ✓ A partir da análise das perdas de satisfação, ainda é possível **encontrar os valores para a probabilidade de falha que resultem em uma satisfação ótima**, bem como a **distribuição espacial das melhorias necessárias** em relação ao risco de interrupção do fornecimento de energia para essa satisfação ótima



1. INTRODUÇÃO

2. FUNDAMENTOS GERAIS

3. ESTADO DA ARTE SOBRE VULNERABILIDADE EM DIFERENTES SETORES

4. VULNERABILIDADE ENERGÉTICA

5. VULNERABILIDADE APLICADA AO SETOR ELÉTRICO

6. VULNERABILIDADE INCORPORANDO O LADO DA DEMANDA (DA SOCIEDADE)

**7. PROPOSIÇÕES E OBSERVAÇÕES FINAIS**

- **Diferença clara** entre os estudos correntes de **confiabilidade** do setor elétrico e os de **vulnerabilidade**
- Com base no que se levantou, emanou uma **proposição clara** em relação a algumas definições, a saber:
  - **Vulnerabilidade** é a operação binária entre uma ameaça e a fragilidade estrutural;
  - A **ameaça** é um evento de grande impacto, possível, mas de rara ocorrência;
  - A **fragilidade** é uma característica física, associada à resistência de uma infraestrutura;
  - **Dano** é a consequência da ocorrência de uma ameaça sobre uma infraestrutura, visto na ótica do usuário;
  - **Resiliência sistêmica** é a capacidade de o sistema suportar ou se recuperar de uma ameaça, considerando a fragilidade da infraestrutura, os procedimentos de predição, adaptação, absorção e de recuperação, incluindo as próprias ações dos usuários;
  - Assim, a **vulnerabilidade** pode ser considerada como uma medida do impacto de um evento extremo sobre uma infraestrutura, considerando a capacidade intrínseca da infraestrutura de suportar esse impacto ou de se recompor e a percepção da sociedade frente a falha associada.
- Direcionou-se todo o trabalho para a **compreensão das ameaças climáticas** sobre o setor elétrico, bem como a conceituação e modelagem das **fragilidades**, estendendo este conceito para a **resiliência**
- O trabalho realizado indica a **necessidade de se evoluir o planejamento do setor elétrico**, de forma a incorporar os estudos de vulnerabilidade, notadamente aqueles ligados às mudanças climáticas

- Apresentou-se dois índices bastantes úteis para o planejamento incorporando a **vulnerabilidade: índice Shanon-Weaver** e o **RAW** (denominado aqui como índice de valoração da resiliência)
- A **evolução tecnológica** tem permitido avançar na melhoria da resiliência sistêmica, tornando-se cada dia mais factível com a introdução de uma **camada cibernética associada à infraestrutura física**. Associe-se a isso um **procedimento de aprendizado (cognitivo)** e uma **mobilização social** para aumentar a eficácia das ações setoriais
- Os **Planos Nacionais de Adaptação** (PNAs) têm sugerido (notadamente para países desenvolvidos) a melhoria das redes elétricas no sentido da descentralização e da implementação de redes inteligentes
- Face a essas mudanças, o setor elétrico precisa incorporar, também, **uma visão espacial** (em que as ameaças ambientais e as fragilidades das infraestruturas estejam bem representadas), bem como **conceitos microeconômicos de utilidade do consumidor** (dada a sua importância na resposta a sinais de preço e qualidade do produto/serviço)
- Em outras palavras: **o setor elétrico não pode limitar seu estudo a parâmetros exclusivamente técnicos**, como potência interrompida e energia não suprida, necessitando estendê-lo às consequências de tais falhas de suprimento na sociedade
- O **desafio** está em propor modelos e processos de planejamento do setor elétrico que sejam capazes de levar em conta tais fatores

# OBRIGADO!