

# Energia Elétrica e Sustentabilidade

Jaqueline Oliveira Rezende  
(Organizadora)



**Atena**  
Editora

Ano 2018

**JAQUELINE OLIVEIRA REZENDE**

(Organizadora)

# **Energia Elétrica e Sustentabilidade**

Atena Editora  
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação e Edição de Arte:** Geraldo Alves e Natália Sandrini

**Revisão:** Os autores

#### **Conselho Editorial**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)</b> <b>(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
E56	Energia elétrica e sustentabilidade [recurso eletrônico] / Organizadora Jaqueline Oliveira Rezende. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018.  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-85107-45-1 DOI 10.22533/at.ed.451180110  1. Desenvolvimento energético – Aspectos ambientais. 2. Desenvolvimento sustentável. 3. Energia elétrica. I. Rezende, Jaqueline Oliveira.  CDD 338.4
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

O conteúdo do livro e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A sustentabilidade pode ser entendida como a capacidade de o ser humano utilizar os recursos naturais para satisfazer as suas necessidades sem comprometer esses recursos para atender as gerações futuras. Nesse contexto, a sustentabilidade está inter-relacionadas em diversos setores, sendo os principais o social, o ambiental e o econômico. Dessa forma, constitui um dos desafios da sociedade moderna o desenvolvimento sustentável que objetiva preservar o meio ambiente durante a realização de outras atividades.

A energia elétrica representa um dos principais pilares para o progresso econômico de uma nação e, conseqüentemente, para o atendimento de inúmeras necessidades da humanidade. Portanto, esse setor também tem se preocupado com a geração, a transmissão, a distribuição de energia elétrica e a construção de novos empreendimentos, como as usinas hidrelétricas, de maneira a preservar o meio ambiente. Logo, a Engenharia Elétrica tem apresentado significativas pesquisas e resultados de ações pautadas na sustentabilidade.

Neste ebook é possível notar que a relação da Engenharia Elétrica e a Sustentabilidade é de preocupação de diversos profissionais envolvidos nesse setor, sendo esses advindos da academia, das concessionárias de energia elétrica e do governo. Dessa forma, são apresentados trabalhos teóricos e resultados práticos de diferentes formas de aplicação da preservação do meio ambiente na engenharia elétrica.

Inicialmente são apresentados artigos que discorrem sobre o desenvolvimento sustentável e a sustentabilidade ambiental, custos ambientais em empreendimentos de geração de energia elétrica, recuperação ambiental, conservação da fauna, políticas administrativas e direcionamento de resíduos eletrônicos.

Em seguida, são descritos estudos sobre formas de geração de energia elétrica renováveis não convencionais, sendo apresentadas a energia eólica e a energia solar fotovoltaica. Essas formas de geração contribuem para o desenvolvimento sustentável, uma vez que geram energia elétrica utilizando recursos naturais não finitos, o vento na geração eólica e o sol na geração fotovoltaica.

Além disso, neste exemplar são expostos artigos que contemplam diversas áreas da engenharia elétrica, como redes smart grids, sistema de proteção, operação remota de usinas hidrelétricas, inteligência computacional aplicada a usina termelétrica, transformadores de potência, linhas de transmissão, tarifa horária, lâmpadas led, prevenção de acidentes em redes de média tensão e eficiência energética.

**Jaqueline Oliveira Rezende**

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
O PARADIGMA INTERDISCIPLINAR DO DESENVOLVIMENTO AMBIENTALMENTE SUSTENTÁVEL	
<i>Tiago Borga</i>	
<i>Rodrigo Regert</i>	
<i>Ludimar Pegoraro</i>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>15</b>
SUSTENTABILIDADE, RECICLAGEM E MEIO AMBIENTE: A RELEVÂNCIA DA LOGÍSTICA	
<i>Welleson Feitosa Gazel</i>	
<i>Wesley Gomes Feitosa</i>	
<i>Antônio Adriano Alves de Souza</i>	
<i>Jeremias Monteiro Vaillant Junior</i>	
<i>Maria de Nazaré Souza Nascimento</i>	
<i>Márcio Costa</i>	
<i>Marcos José Alves Pinto Junior</i>	
<i>Carlos Renato Montel</i>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>32</b>
A CONTRIBUIÇÃO DO SISTEMA DE CONTAS ECONÔMICAS E AMBIENTAIS PARA ESTIMAR OS CUSTOS AMBIENTAIS NOS EMPREENDIMENTOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	
<i>Adriana Maria Dassie</i>	
<i>José Eustáquio Diniz Alves</i>	
<i>David Montero Dias</i>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>42</b>
LEVANTAMENTO DOS IMPACTOS INERENTES À IMPLANTAÇÃO DE PCHS E IDENTIFICAÇÃO DO CUSTO DE OPORTUNIDADE NO RIO COXIM, MS, BRASIL	
<i>Thiago Oliveira Barbosa</i>	
<i>Poliana Ferreira da Costa</i>	
<i>Bruna Souza dos Santos</i>	
<i>Adriana Maria Güntzel</i>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>57</b>
MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A AMPLIAÇÃO DAS SÉRIES DE DADOS DISPONÍVEIS, E AS POSSÍVEIS ALTERAÇÕES NO DIMENSIONAMENTO DE VERTEDORES	
<i>Marcos Vinicius Andriolo</i>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>66</b>
RECUPERAÇÃO SUSTENTÁVEL DO ENTORNO DE RESERVATÓRIOS DE HIDRELÉTRICAS: UM ESTUDO NA UHE CORUMBÁ IV	
<i>Jorge Santos Ribas Jr.</i>	
<i>José Roberto Ribas</i>	
<i>Tatiana Maria Soeltl</i>	
<i>André Nicolau Brylynskyi</i>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>81</b>
LT 500 KV ARA-TAU: COMO O LICENCIAMENTO AMBIENTAL PODE PROPICIAR A CONSERVAÇÃO DA ESPÉCIE AMEAÇADA <i>CALLITHRIX AURITA</i> (SAGUI-DA-SERRA-ESCURO)	
<i>Jéssica Motta Luiz Bom</i>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>95</b>
NOVAS DIMENSÕES DA GOVERNANÇA DO SETOR ENERGÉTICO BRASILEIRO	
<i>Fernando Amaral de Almeida Prado Jr.</i>	
<i>Ana Lúcia Rodrigues da Silva</i>	

<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>107</b>
A GOVERNANÇA COMO INSTRUMENTO DE POLÍTICA PÚBLICA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL	
<i>Denise Pereira Barros</i>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>120</b>
O ACORDO DE PARIS E OS NOVOS CAMINHOS PARA A GESTÃO SOCIOAMBIENTAL: DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA AS EMPRESAS DO SETOR ELÉTRICO	
<i>Gustavo André Santana de Sá</i> <i>Pedro Magalhães Sobrinho</i>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>133</b>
OS CRITÉRIOS ENERGÉTICO-ECONÔMICOS UTILIZADOS NO PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: REFLEXÕES SOBRE ALGUNS MITOS E A NECESSIDADE DE UMA NOVA AGENDA	
<i>Luiz Claudio Gutierrez Duarte</i>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>151</b>
MITIGAÇÃO DO RISCO HIDROLÓGICO- LEILÃO DE COMPRA E VENDA DE ENERGIA NA MODALIDADE SWAP DA ELETRONORTE	
<i>Ivan Rezende</i> <i>Virginia Fernandes Feitosa</i> <i>João David Resende</i> <i>Dante de Castro Simplicio</i> <i>Rafael Capistrano dos Santos Stanzani</i> <i>Gervásio Nery De Albuquerque</i>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>159</b>
A INOVAÇÃO TECNOLÓGICA COMO RESULTADO DO APROVEITAMENTO DO CAPITAL INTELECTUAL PROTEGIDO PELO DIREITO DA PROPIEDADE INTELECTUAL – UM VETOR DE AUMENTO DE RECEITA EM POTENCIAL	
<i>Fernando da Silva Jansen</i>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>174</b>
O CUSTO E A ESTRUTURA DE CAPITAL PARA A INDÚSTRIA DE ENERGIA ELÉTRICA BRASILEIRA: ASPECTOS METODOLÓGICOS E APLICAÇÕES	
<i>Luiz Claudio Gutierrez Duarte</i> <i>Washington Blanco</i>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>188</b>
GESTÃO DE CUSTOS EMPRESARIAIS NO NEGÓCIO TRANSMISSÃO	
<i>Ana Rita Xavier Haj Mussi</i> <i>Marcos Paulo Boaventura Severino Rezende</i>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>202</b>
GESTÃO E GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS PROVENIENTES DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS EM GARANHUNS-PE	
<i>Rosalva Raimundo da Silva</i> <i>José Romenik de Almeida</i> <i>Marcela Caroline S F Azevedo</i> <i>Maria Claudjane J. L. Alves</i>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>213</b>
METODOLOGIA PARA O PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO CONSIDERANDO A INSERÇÃO DE GERAÇÃO EÓLICA EM LARGA ESCALA NA MATRIZ ELÉTRICA NACIONAL	
<i>Sérgio Pinheiro dos Santos</i> <i>Fernando Rodrigues Alves</i>	

*Antônio Roseval Ferreira Freire  
Ronaldo Ribeiro Barbosa de Aquino  
Otoni Nóbrega Neto  
Pedro Alves de Melo*

**CAPÍTULO 18 ..... 225**

GRUPO GPT, GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS  
COMPARAÇÃO DE CÁLCULO DE PRODUÇÃO EÓLICA UTILIZANDO WASP, OPENWIND E WINDSIM EM  
TERRENO COMPLEXO NA BAHIA, BRASIL

*Daniel Agnese Ramos  
Vanessa Gonçalves Guedes  
Angelo Alberto Mustto Cabrera  
Sérgio Roberto Ferreira Cordeiro de Melo  
Wady Abrahão Cury Netto  
Tulio Anselmo dos Santos Valentim*

**CAPÍTULO 19 ..... 235**

A INFLUÊNCIA, SOB O ASPECTO DE CURTO-CIRCUITO, DE GERADORES EÓLICOS NO SISTEMA  
ELÉTRICO DE POTÊNCIA.

*Eloi Rufato Junior  
Lucas Marino Bianchessi Sganzeta  
William Da Veiga*

**CAPÍTULO 20 ..... 247**

PLATAFORMA DE AQUISIÇÃO E CONTROLE IOT INTEGRADO A SISTEMA DE GERAÇÃO  
FOTOVOLTAICA

*Caio Castro Rodrigues  
Joice Machado Martins  
Layse Pereira do Nascimento  
João Vitor Natal Silva Quincó Maciel  
Otávio Andre Chase  
José Felipe Souza de Almeida*

**CAPÍTULO 21 ..... 258**

DETERMINAÇÃO DE PROCESSOS PARA LEVANTAMENTO PRÁTICO DAS CURVAS  
CARACTERÍSTICAS DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

*Jaqueline Oliveira Rezende  
Sebastião Camargo Guimarães Júnior*

**CAPÍTULO 22 ..... 272**

ANÁLISE DO PAYBACK DE UM GERADOR FOTOVOLTAICO EM UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR  
NO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

*Samara Iasmim Schardong  
Andréia Balz  
Fábio Augusto Henkes Huppés  
Mauro Fonseca Rodrigues*

**SOBRE A ORGANIZADORA ..... 283**

## MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A AMPLIAÇÃO DAS SÉRIES DE DADOS DISPONÍVEIS, E AS POSSÍVEIS ALTERAÇÕES NO DIMENSIONAMENTO DE VERTEDORES

**Marcos Vinicius Andriolo**  
COPEL GeT

**RESUMO:** Nos últimos anos uma série de trabalhos científicos apresentam o impacto que as possíveis mudanças climáticas podem provocar no meio terrestre. Entre vários fatores o IPCC alerta em seu relatório o possível impacto destas variações nos eventos extremos, estes podendo ser: temperaturas mínimas e máximas, precipitações máximas, secas, entre outros.

O sistema elétrico brasileiro conta como principal fonte de suprimento o sistema hidroenergético, que podem ser diretamente afetado por alterações na dinâmica dos eventos extremos. Quando se avalia a segurança hídrica dos reservatórios, a capacidade dos vertedores e o amortecimento das ondas de cheia nos mesmos são de suma importância.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mudanças Climáticas, vazões de dimensionamento de vertedores.

**ABSTRACT:** In the last years, many scientific works show the impact that the possible climatic changes can provoke in the terrestrial environment. Among several types of impacts, the IPCC warns in your report the possible impact on extreme events, such as: minimum and maximum temperatures, maximum precipitation, droughts, among others.

The hydraulic plants are the most part of electricity supply in Brazil, which can be directly affected by changes in the dynamics of extreme events. When evaluating the water safety of the reservoirs, the capacity of the spillways and the reservoir flood routing are of extreme importance.

**KEYWORDS:** Climate Change, Design Flow.

### 1 | INTRODUÇÃO

Nos últimos anos uma série de trabalhos científicos vem apresentando o impacto que as possíveis mudanças climáticas podem provocar no meio terrestre. Entre vários fatores o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) alerta em seu relatório publicado em 2013 o possível impacto destas variações nos eventos extremos, estes podendo ser: temperaturas mínimas e máximas, precipitações máximas, secas, entre outros.

O sistema elétrico brasileiro conta como principal fonte de suprimento o sistema hidroenergético, que podem ser diretamente afetado por alterações na dinâmica dos eventos extremos. Quando se avalia a segurança hídrica dos reservatórios, a capacidade dos vertedores e o amortecimento das ondas de cheia nos mesmos são de suma importância.

Estudos que consideram como dado de

entrada o aumento de precipitação indicado pelo IPCC em determinadas regiões, demonstram um aumento na vazão extrema (Adam K., et al. (2015), Wu et al. (2015)), vazões estas utilizadas no dimensionamento de vertedores.

## 2 | VAZÃO DE DIMENSIONAMENTO DE VERTEDORES

O Critério de Projeto Civil da Eletrobras (2003) recomenda a utilização da cheia máxima provável para o dimensionamento de vertedores de barragens maiores que 30 m ou cujo colapso envolva risco de perdas de vidas humanas (existência de habitações permanentes a jusante), sendo esta metodologia empregada nos mais recentes projetos de usinas hidroelétricas.

Outro método muito utilizado é o método direto, adotando como critério o tempo de recorrência de 10.000 anos (Eletrobras, 1987). Entre os métodos de análise de frequência de cheias, dois métodos muito utilizados são a distribuição exponencial e a distribuição de Gumbel, sendo o critério de escolha a assimetria da população. Normalmente para assimetria inferior a 1,5 se escolhe a distribuição de Gumbel e superior a exponencial.

As séries de vazões diárias, utilizadas no cálculo de vazões para determinado tempo de recorrência, são constantemente atualizadas, aumentando assim o tamanho da amostra. Entretanto, séries com 30, 40, 50 anos de dados, são relativamente curtas para se estimar uma vazão com recorrência de 10.000 anos (Da Costa et al., 1981). Quando se incorpora novos dados e se recalcula a vazão decamilenar a mesma sofre alterações, em alguns casos alterações relevantes.

Para avaliar a influência da incorporação de novos dados as séries de vazões máximas diárias existentes até determinada data, utilizou-se a série de vazões máximas diárias naturalizadas disponibilizadas pelo Operador Nacional do Sistema (ONS), em aproximadamente 150 locais.

Simulando a vazão decamilenar conforme os critérios normalmente utilizados (Eletrobras, 2003) e adotando como critério de cálculo séries com no mínimo 30 anos de dados, calculou-se a vazão decamilenar utilizando os dados entre os anos de 1931 até 1970 (40 anos), 1931 até 1980 (50 anos), e assim sucessivamente até os anos 1990, 2000, 2010 e 2014.

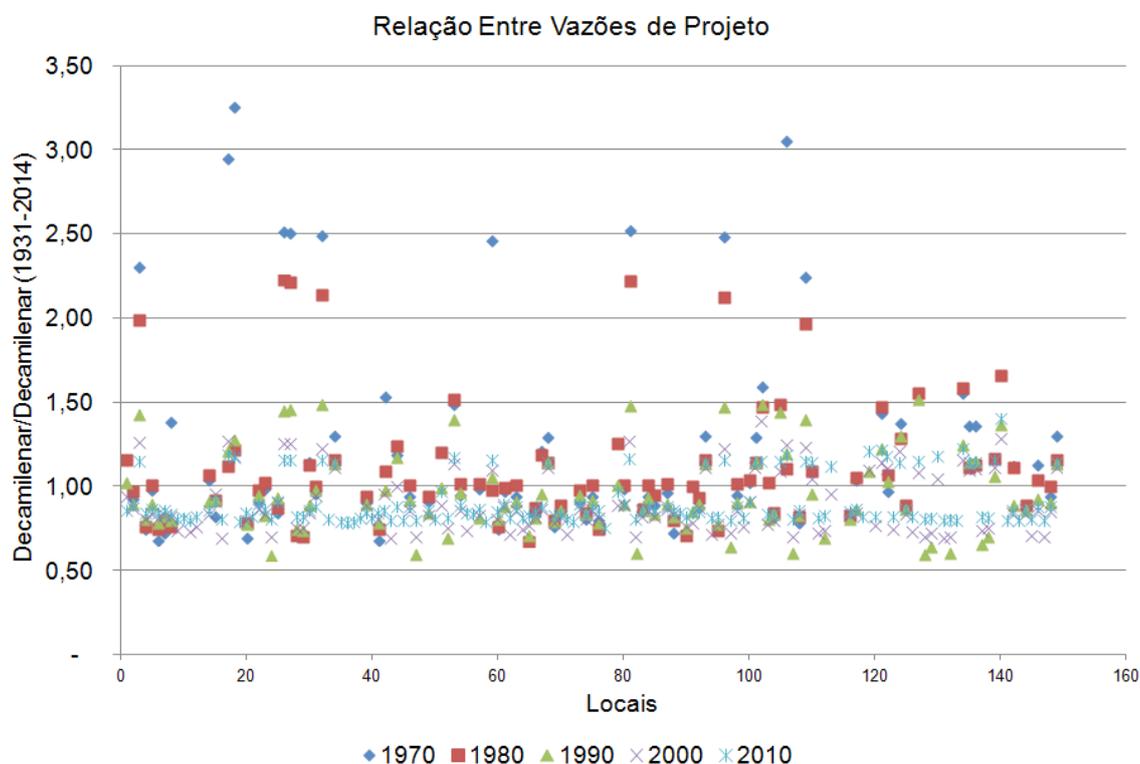
Com a vazão decamilenar calculada para cada período parcial (1931-1970, 1931-1980, e assim sucessivamente), comparou-se esta vazão decamilenar (série parcial) com a vazão decamilenar utilizando todos os dados disponíveis, ou seja, desde o ano de 1931 até o ano de 2014. A Tabela 1 apresenta o número de locais que foi possível calcular a vazão decamilenar conforme a disponibilidade de dados, sendo verificado se esta vazão decamilenar resultante da série parcial era maior ou menor que a vazão decamilenar calculada utilizando a série completa (1931-2014). Sendo: “aumentou” significa que a decamilenar calculada com a série completa (1931-2014) é maior

que a decamilenar calculada com a série parcial e “diminuiu” significa que a vazão decamilenar calculada com a série completa é menor que a decamilenar calculada com a série parcial de dados.

Período de cálculo da vazão decamilenar	Número total de locais	nº onde aumentou	nº onde diminuiu
1931 até 1970	76	34	42
1931 até 1980	90	55	35
1931 até 1990	103	32	71
1931 até 2000	123	32	91
1931 até 2010	143	32	111
1931 até 2014	147	-	-

**Tabela 1** – Número de locais disponíveis para cálculo da vazão decamilenar

A Figura 1 apresenta a relação entre a vazão decamilenar calculada utilizando a série parcial, e a vazão decamilenar utilizando a série completa. É possível verificar uma grande variabilidade entre esta relação, sendo verificadas relações mínimas entre 0,59 e máxima de 3,25. Ou seja, em determinado local a vazão decamilenar é 225% maior (3,25) quando se compara a vazão decamilenar calculada utilizando os dados de 1931 até 1970 e com os dados de 1931 até 2014.



**Figura 1** – Relação entre vazões decamilenar parcial (1931 – x) e completa (1931-2014)

Considerando séries com no mínimo 30 anos de dados, verificou-se que a vazão decamilenar aumentou em 34 locais e reduziu em 42 locais, quando se compara a vazão decamilenar calculada utilizando dados de 1931 até 1970 (parcial) e 1931 até 2014 (completa).

Considerando vazão decamilenar calculada utilizando dados de 1931 até 1980, 1931 até 1990, 1931 até 2000 e comparando os resultados com a série completa (1931 até 2014), verifica-se que a vazão decamilenar aumentou em 55 locais e reduziu em 35 locais; aumentou em 32 locais e reduziu em 71 locais; aumentou em 32 locais e reduziu em 91 locais, respectivamente.

A Figura 2 apresenta a localização dos locais que se verificou aumento ou redução da vazão decamilenar calculada, comparando-se a vazão decamilenar calculada com série parcial com a vazão decamilenar calculada com a série completa (1931 até 2014).

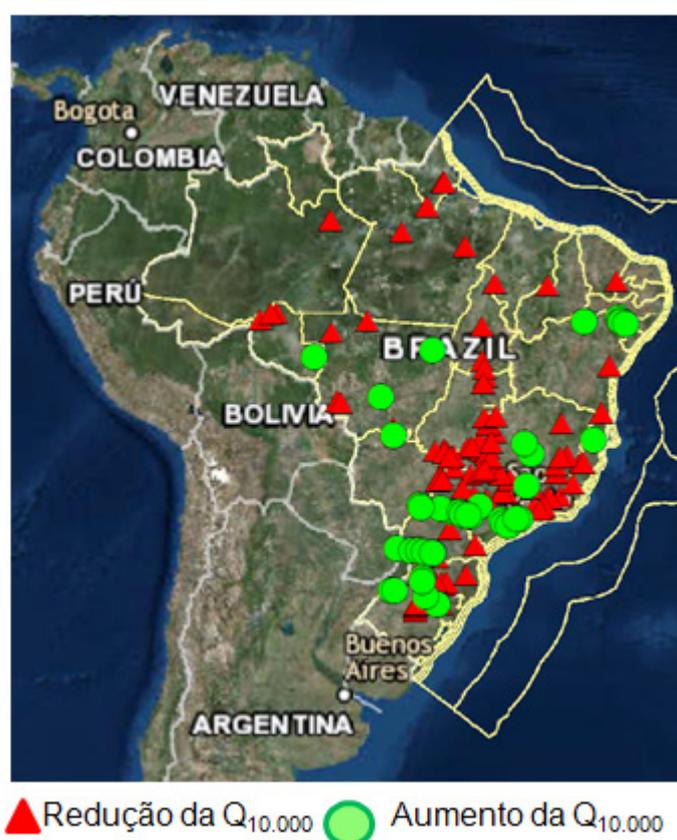
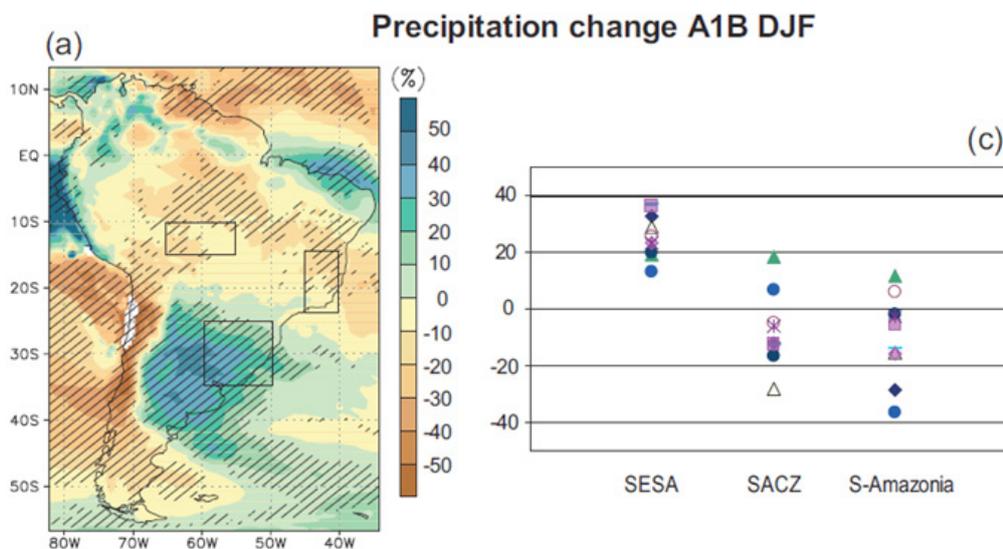


Figura 2 - Locais com Aumento ou Redução da  $Q_{10.000}$  ( $Q_{\text{completo}}/Q_{\text{inicial}}$ )

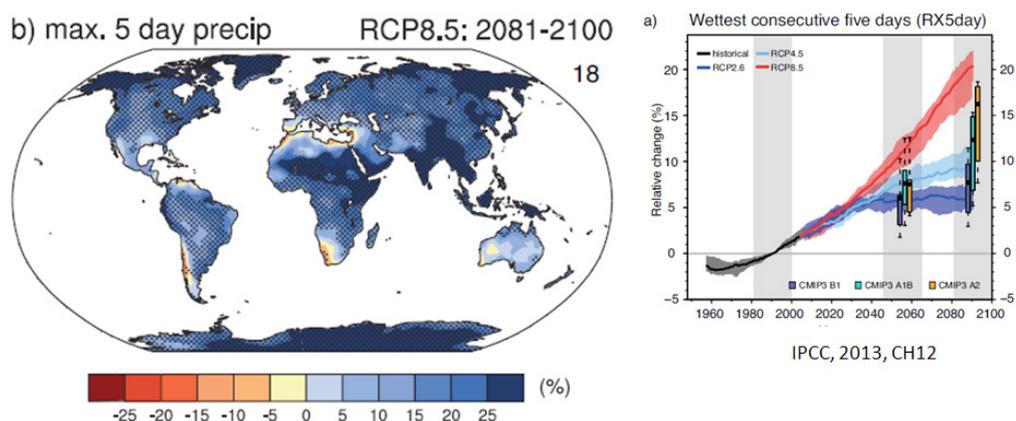
A Figura 3 apresenta o cenário CH14 do IPCC (2013), para alterações estimadas da precipitação máxima acumulada em 5 dias, para os meses de dezembro a fevereiro, na América do Sul, comparando-se as alterações médias relativa aos período de 1961 a 1990 e 2071 a 2100.



**Figura 3** - Dez, Jan, Fev, mudança na precipitação média 2071-2100 x1961-1990. IPCC, 2013 CH.14

Se compararmos os locais com redução ou aumento da vazão decamilenar calculada e apresentados na Figura 2, com o cenário do IPCC, apresentado na Figura 3, não se consegue concluir com os dados disponíveis até o momento, que existe uma tendência de aumento ou redução das vazões extremas (decamilenares) nas últimas décadas. Entretanto, é possível verificar que a extensão da disponibilidade de dados influencia no cálculo das vazões extremas.

A Figura 4 apresenta o cenário CH12 do IPCC (2013) que mostra as alterações esperadas na precipitação máxima acumulada de 5 dias, considerando o cenário RCP 8.5 para o período de 2081 a 2100.



**Figura 4** - IPCC – Alterações Estimadas na Precipitação acumuladas máxima de 5 dias

Também comparando-se os resultados apresentados na Figura 2, com o cenário do IPCC (2013) apresentado na Figura 4 não se verifica até o momento o aumento generalizado nas vazões decamilenar calculadas com os dados disponíveis. Ressalta-se que continua sendo possível verificar que a extensão da disponibilidade de dados influencia muito no cálculo das vazões extremas.

Quando se compara usinas localizadas no sul do país, utilizando este critério, se verifica que a vazão decamilenar aumentou em 7 locais e reduziu em 10 locais.

Quando se avalia as 5 maiores cheias registradas nos aproximadamente 150 locais com dados disponíveis, verifica-se que o maior número de vazões máximas ocorreram entre os anos de 1981 a 1990 e 1991 a 2000, como é apresentado na Tabela 2.

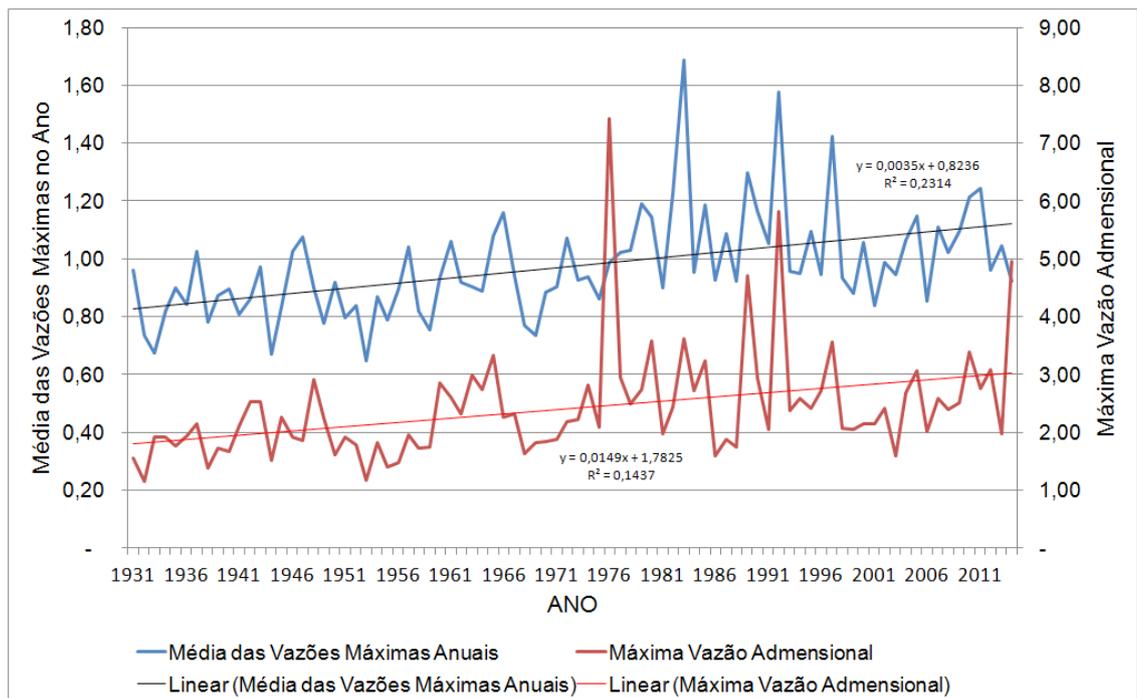
Ano	Número de vazões máximas	Locais com dados	Percentual	Ano	Número de vazões máximas	Locais com dados	Percentual
1931 até 1940	11	55	4%	1971 até 1980	97	134	14%
1941 até 1950	48	81	11%	1981 até 1990	190	145	25%
1951 até 1960	14	92	3%	1991 até 2000	162	146	21%
1961 até 1970	51	107	9%	2001 até 2010	102	146	13%

**Tabela 2** – Distribuição das vazões máximas

A Figura 5 ilustra o comportamento da média relativa das vazões máximas anuais com dados disponíveis entre os anos de 1931 a 2014, utilizando a seguinte equação:

$$Q_i = \sum_{j=1}^n \frac{V_{i,j}}{\bar{V}}$$

Sendo  $Q_i$  = Média das vazões absolutas disponíveis no ano  $i$ ;  $j$  – usina com vazão máxima anual disponível;  $\bar{V}$  = Média das vazões máximas anuais da usina  $j$ ;  $V_{i,j}$  = Vazão máxima anual no ano  $i$  da usina  $j$ .

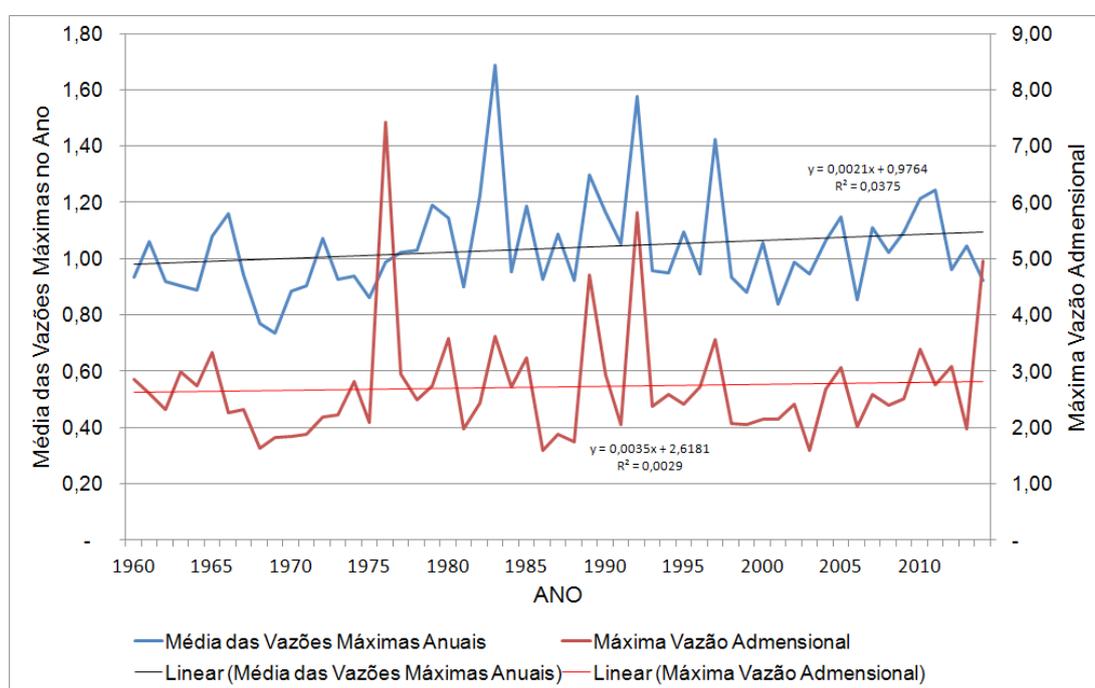


**Figura 5** – Vazões médias e máximas adimensionalizadas (1931-2014)

Quando se insere uma linha de tendência nos dados da Figura 5 é possível visualizar um incremento ao longo do tempo, entretanto, o coeficiente de correlação desta suposta acendência é pequeno e fortemente influenciada pelas cheias dos anos de 1983, 1992 e 1997, quando se analisa a média das vazões admensionais.

Quando se analisa a máxima vazão admensionalizada, maior vazão admenisonal de uma usina em relação a todas as outras usinas daquele ano, também se observa uma ligeira tendência de aumento. Entretanto, esta linha de tendência é influenciada pelas menores vazões máximas das décadas de 1930 a 1960, e também apresenta uma pequena correlação.

A Figura 6 apresenta a mesma série admensionalizada que a contida na Figura 5 excluindo-se os anos de 1931 a 1959. A mesma linha de tendência inserida apresenta uma ascensão muito inferior daquelas linhas de tendência apresentadas na Figura 5. Isso, em princípio, demonstra que a suposta tendência é muito mais influenciada pela extensão da série do que pela série propriamente dita.



**Figura 6** – Vazões médias e máximas admensionalizadas (1931-2014)

Quando se estima as vazões decamilenares, ou extremas, a disponibilidade de dados (inferior a 100 anos) impõe uma incerteza muito grande na estimativa, visto que se tenta com as diversas técnicas “extender” a série em 100 vezes. Por exemplo, Kelman e Damázio (1985) propõe um coeficiente de segurança para a estimativa da vazão decamilenar conforme a disponibilidade dos dados.

## 2.1 Estacionariedade da série e teste de hipótese

O termo “estacionariedade” refere-se ao fato que, excluídas as flutuações aleatórias, as observações são invariantes, com relação à cronologia de suas ocorrências. Uma tendência temporal, eventualmente presente em uma série hidrológica  $X_t$ , ao longo do tempo  $t$ , pode ser detectada pela correlação entre série e o índice de tempo. Essa é a

ideia essencial do teste não-paramétrico de Spearman (Naghettini, 2007).

O coeficiente de correlação de Spearman obtém a estatística correspondente do teste trabalhando com toda a amostra. Para se verificar se uma série é estacionária ou não, é possível fazer um teste de hipótese.

Os testes de hipóteses são procedimentos usuais da inferência estatística, úteis na tomada de decisões que concernem à forma, ou ao valor de certo parâmetro, de uma distribuição de probabilidades, da qual se conhece apenas uma amostra de observações. Por tratar-se de uma inferência a respeito de uma variável aleatória, a decisão de rejeitar ou não uma hipótese, é tomada com base em certa probabilidade ou nível de significância  $\alpha$  (Naghettini, 2007).

### 2.1.1 Teste de Spearman

A estatística do teste de Spearman tem, como base, o seguinte coeficiente:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{t=1}^N (m_t - T_t)^2}{N^3 - N}$$

Sendo:  $m_t$ =ordem de classificação;  $T_t$ =índice de tempo;  $N$ =número de elementos.

Se a hipótese nula é  $H_0$ : (a amostra não apresenta tendência temporal), a estatística do teste não paramétrico de Spearman pode ser formulado como:

$$T = \frac{r_s}{\sqrt{Var[r_s]}}$$

A qual segue uma distribuição normal padrão. Por tratar-se de um teste bilateral, a um nível de significância  $\alpha$ , a decisão deve ser a de rejeitar a hipótese nula se  $|T| > z_{1-\alpha/2}$ .

Aplicando o teste de estacionariedade de Spearman nos dados disponíveis das séries de máxima vazão média diária, entre os anos de 1931 até 2014, se verifica que em 95 locais a série pode ser considerada estacionária e em 53 locais não.

## 3 | CONCLUSÃO

Os dados analisados compreendem as vazões máximas diárias anuais, entre os anos de 1931 até 2014, em 149 locais com dados disponíveis, totalizando aproximadamente 10.000 valores de vazões máximas diárias anuais disponíveis nestes locais.

Os resultados obtidos indicam que até o presente não se pode afirmar que houve impacto das mudanças climáticas no cálculo das vazões decamilenares (eventos extremos), sendo que as diferenças encontradas de aumento ou redução das vazões extremas (decamilenar) podem ter origem na pequena série de dados disponíveis e, com a incorporação de novos dados a estimativa da vazão decamilenar se altera. Cabe destacar, que o período crítico do sistema hidroelétrico brasileiro, compreendido entre

junho de 1949 a novembro de 1956, caracterizado por menores médias de vazões, influencia o cálculo das vazões decamilenares principalmente quando se calcula a vazão decamilenar utilizando os dados até os anos de 1980, visto que as séries até então eram muito reduzidas, com no máximo 50 anos de dados disponíveis.

O IPCC (2013) cita que após o ano de 1950 o número de eventos com precipitações extremas sobre a superfície terrestre, aumentou em um número maior de regiões do que diminuiu em outras regiões. Os diversos trabalhos técnicos que estudam o efeito das mudanças climáticas nas vazões extremas, aplicados no território brasileiro, adotam um modelo chuva-vazão utilizando como premissa o aumento das precipitações extremas, sendo que o resultado de aumento das vazões extremas em função da adoção deste conceito é natural.

Entretanto, quando se utiliza os dados estatísticos disponíveis até o momento e se calcula a vazão decamilenar, não é possível confirmar o possível impacto das variações climáticas na estimativa das vazões extremas (decamilenar). Por outro lado, analisando a série de máxima vazão diária no ano (desde 1931 até 2014), e aplicando o teste de Hipótese de Estacionariedade de Spearman, se observa que em 95 locais pode-se considerar a série estacionária e em 53 locais não.

Com estes resultados, que no presente não demonstram claramente se existe impacto das variações climáticas nas vazões de dimensionamento dos vertedores, conclui-se que talvez, mais importante que considerar os possíveis impactos do aumento das precipitações extremas no dimensionamento, seja o de considerar o impacto do aumento da série de vazões máximas disponíveis na revisão da vazão de dimensionamento, principalmente quando os vertedores foram dimensionados com séries muito reduzidas.

## REFERÊNCIAS

- ADAM, K. N., FAN, F. M., PONTES, P. R., 2015 – **Mudanças climáticas e vazões extremas na Bacia do Rio Paraná**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, RBRH, vol. 20 nº4, Porto Alegre, out/dez. 2015.
- DA COSTA, J. P., DAMAZIO, J. M., PEREIRA, M. V. F., KELMAN, J. - **Confiabilidade na Estimação de Vazões Extremas**. IV Simpósio Brasileiro de Hidrologia, Fortaleza/CE. Anais do IV Simpósio Brasileiro de Hidrologia. Vol. 1. 1981.
- ELETROBRÁS, 2003 – **Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidroelétricas**.
- ELETROBRÁS, 1987 – **Guia para Cálculo de Cheia de Projetos de Vertedores**.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) – **Climate Change 2013, The Physical Science Basis**.
- KELMAN, J., DAMÁZIO, J. M. **Fator de Segurança para Cheia Decamilenar**. In: VI Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos e Simpósio Internacional de Recursos Hídricos em Regiões Metropolitanas. São Paulo, ABRH, 1985.
- NAGHETTINI, M., PINTO, E. J. A. (2007). **Hidrologia Estatística**. CPRM.
- WU, C. H., HUANG, G. R., YU, H. J., 2015 – **Prediction os extrema floods based on CMIP5 climate models: a case study in the Beijiang River basin, South China**. Hydrology and Earth System Sciences, 19.

## **SOBRE A ORGANIZADORA**

**Jaqueline Oliveira Rezende** Possui graduação em Engenharia Elétrica, com certificado de estudos em Engenharia de Sistemas de Energia Elétrica e mestrado em Engenharia Elétrica, ambos pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Atualmente é aluna de doutorado em Engenharia Elétrica, no Núcleo de Dinâmica de Sistemas Elétricos, pela Universidade Federal de Uberlândia. Atuou como professora nos cursos de Engenharia Elétrica e Engenharia de Controle e Automação. Tem realizado pesquisas em Sistemas de Energia Elétrica, dedicando-se principalmente às seguintes áreas: Energia Solar Fotovoltaica; Curvas Características de Painéis Fotovoltaicos; Dinâmica de Sistemas Elétricos; Geração Distribuída; Simulação Computacional; Algoritmo Genético.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-85107-45-1

