

REVISTA

DA UNIVERSIDADE FEDERAL
DE MINAS GERAIS



#26

ISSN 2316-770X

A Revista da Universidade Federal de Minas Gerais é uma publicação semestral e tem o objetivo principal de abordar temáticas específicas, numa perspectiva interdisciplinar, podendo divulgar também resultados de pesquisas e de produções teóricas e artísticas diversas.

Gestão 2018-2022

Sandra Regina Goulart Almeida
REITORA

Alessandro Fernandes Moreira
VICE-REITOR

Rui Rothes-Neves
CHEFE DE GABINETE

Ricardo Hallal Fakury
PRÓ-REITOR DE ADMINISTRAÇÃO

Claudia Andréa Mayorga Borges
PRÓ-REITORA DE EXTENSÃO

Benigna Maria de Oliveira
PRÓ-REITORA DE GRADUAÇÃO

Mario Fernando Montenegro Campos
PRÓ-REITOR DE PESQUISA

Maurício Freire Garcia
PRÓ-REITOR DE PLANEJAMENTO E
DESENVOLVIMENTO

Fabio Alves da Silva Júnior
PRÓ-REITOR DE PÓS-GRADUAÇÃO

Maria Márcia Magela Machado
PRÓ-REITORA DE RECURSOS HUMANOS

Tarcísio Mauro Vago
PRÓ-REITOR DE ASSUNTOS ESTUDANTIS

Fábria Pereira Lima
DIRETORA DO CENTRO DE COMUNICAÇÃO
– CEDECOM

Estevam Barbosa de Las Casas
DIRETOR DO INSTITUTO DE ESTUDOS
AVANÇADOS TRANSDISCIPLINARES DA UFMG

EDITOR

João Antônio de Paula

EDITORA EXECUTIVA

Heloisa Soares de Moura Costa

APOIO TÉCNICO

Portal de Periódicos UFMG

TRADUÇÃO

Marie-Anne Henriette Jeanne Kremer

DIREÇÃO DE ARTE

Marcelo Lustosa

PROJETO GRÁFICO

Léo Ruas

DIAGRAMAÇÃO

Guilherme Martins

REVISÃO

Cecília Lima

Josiane Pádua

PRODUÇÃO EXECUTIVA DO CENTRO DE COMUNICAÇÃO – CEDECOM

Marcílio Lana

Tacyana Arce

FICHA CATALOGRÁFICA

R 454 Revista da Universidade Federal de Minas Gerais. –
vol.15, 1965- – Belo Horizonte : UFMG, 1965-
v. : il.
Anual de 1965-1969
A partir do v. 19, n. 1/2, 2012 passa a ser semestral
Título anterior: Revista da Universidade de Minas
Gerais, 1929-1964.
Inclui bibliografia.
ISSN: 2316-770X
1. Ensino superior- Periódicos. I. Universidade
Federal de Minas Gerais.

CDD: 378.405 CDU: 378

Revista da Universidade Federal de Minas Gerais
Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Presidente Antônio Carlos, nº 6.627, Campus Pampulha
IEAT - Unidade Administrativa III - Térreo
CEP: 31.270-901, Belo Horizonte – Minas Gerais – Brasil
Endereço eletrônico: <revistadaufmg@ufmg.br>
Telefones: 55 31 3409 4123 / 55 31 3409 5509

Conselho editorial

Carlos Antônio Leite Brandão • ESCOLA DE ARQUITETURA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL.

Eliana de Freitas Dutra • FACULDADE DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL.

Estevam Barbosa de Las Casas • ESCOLA DE ENGENHARIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL.

Heloisa Soares de Moura Costa • INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL.

Hugo Eduardo Araújo da Gama Cerqueira • CENTRO DE DESENVOLVIMENTO E PLANEJAMENTO REGIONAL E FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL.

Jacyntho Lins Brandão • FACULDADE DE LETRAS, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL.

João Antonio de Paula • CENTRO DE DESENVOLVIMENTO E PLANEJAMENTO REGIONAL E FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL.

Marília Andrés Ribeiro • INSTITUTO MARIA HELENA ANDRÉS, BRASIL.

Maurício Alves Loureiro • ESCOLA DE MÚSICA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL.

Maurício José Laguardia Campomori • ESCOLA DE ARQUITETURA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL.

Ricardo Hiroshi Caldeira Takahashi • INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL.

Comissão editorial desta edição

Estevam Barbosa de Las Casas • ESCOLA DE ENGENHARIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL.

Geraldo Brasileiro • FACULDADE DE MEDICINA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL.

Heloisa Soares de Moura Costa • INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL.

Maria do Carmo Freitas Veneroso • ESCOLA DE BELAS ARTES, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL.

Marília Andrés Ribeiro • INSTITUTO MARIA HELENA ANDRÉS, BRASIL.

Rogério Palhares Zschaber de Araújo • ESCOLA DE ARQUITETURA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL.

Pareceristas desta edição

Doralice Barros Pereira • INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL.

Edson Paulo Domingues • FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL.

Eduardo Romeiro Filho • ESCOLA DE ENGENHARIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL.

Elisângela de Almeida Chiquito Martins • ESCOLA DE ARQUITETURA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL.

Estevam Barbosa de Las Casas • ESCOLA DE ENGENHARIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL.

Francisco de Paula Antunes Lima • ESCOLA DE ENGENHARIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL.

Harley Silva • INSTITUTO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS, UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, BRASIL.

Heloisa Soares de Moura Costa • INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL.

José Osvaldo Saldanha Paulino • ESCOLA DE ENGENHARIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL.

Klaus Guimarães Dalgaard • FACULDADE DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL.

Klemens Augustinus Laschefski • INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL.

Márcio Benedito Baptista • ESCOLA DE ENGENHARIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL.

Nilo de Oliveira Nascimento • ESCOLA DE ENGENHARIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL.

Rainer Randolph • INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, BRASIL.

Ricardo Hiroshi Caldeira Takahashi • INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL.

Sidelmo Magalhães Silva • ESCOLA DE ENGENHARIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL.

Wagner Costa Ribeiro • FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, BRASIL.

Sumário

6

EDITORIAL

Energia

16

ANA CAROLINA MIRANDA LIMA NOGUEIRA
GEOVANA LORENA BERTUSSI

O setor de energia elétrica brasileiro e
a perspectiva de uma reforma setorial

The Brazilian electricity sector and the
perspective of a sectorial reform

46

PEDRO HENRIQUE MOREIRA DA SILVA

Gás de xisto no Brasil e no mundo:
perspectivas e paradoxos do
desenvolvimento energético

Shale gas in Brazil and in the world: perspectives
and paradoxes of energy development

66

ADRIANO CHAVES LISBOA

PEDRO VINÍCIUS ALMEIDA BORGES DE VENÂNCIO

ARLINDO FOLLADOR NETO

HERMES AGUIAR MACALHÃES

CARLOS ALEXANDRE MEIRELES NASCIMENTO

HANI CAMILLE YEHIA

Monitoramento de incêndios por meio de redes e
linhas aéreas de energia elétrica

Wildfire monitoring from electric networks and
transmission lines

82

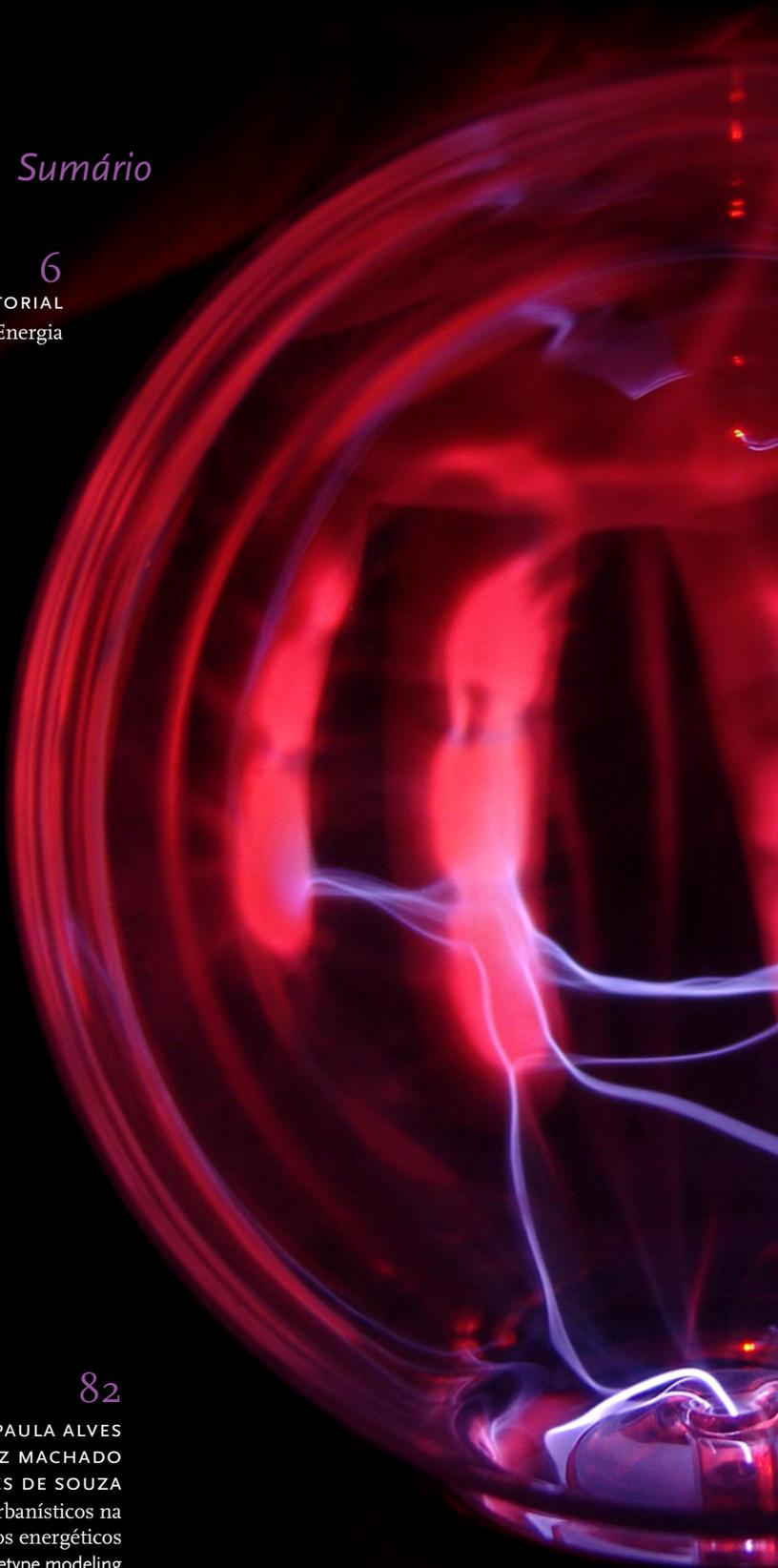
TATIANA PAULA ALVES

LUIZ MACHADO

ROBERTA VIEIRA GONÇALVES DE SOUZA

A importância da inserção de parâmetros urbanísticos na
definição de arquétipos energéticos

The importance of urban parameters in energy archetype modeling





108

BRUNO MELO BRENTAN

GUSTAVO MEIRELLES LIMA

Uso racional de energia em sistemas
de abastecimento de água

Energy efficiency in water distribution
networks

136

ENIO CARDILLO VIEIRA

Energia em biologia

Energy in biology

Artes

148

MARÍLIA ANDRÉS RIBEIRO

Energia em movimento
de Maria Helena Andrés

Energy in motion

152

MARILENE CARDOSO RIBEIRO

Rios-Desertos: constatações durante o processo de
construção do trabalho Água Morta

Deserted Rivers: findings along the work in progress of
the Dead Water project

Resenha

170

CAROLINA CARNEIRO LIMA

LUCAS EMANUEL GOECKING LIESNER DE SOUZA

Vozes de Tchernóbil: a história oral do desastre nuclear

Voices of Tchernóbil: the oral history of the nuclear disaster



DICKENSON V. ALLEY

Nikola Tesla, com seu equipamento
Fotografia de dupla exposição (1899)

*To my illustrations
of whom I always
letters I never a*

ENERGIA

No domínio da física, o termo energia se refere a uma entidade física fundamental, que, juntamente com a matéria, compõe o universo conforme o entendemos. Nessa chave, a energia se encontra regida por equações de balanço, nas quais a quantidade total de energia em um sistema é finita, e o aumento ou a diminuição da energia nesse sistema implicam a troca de energia com o meio exterior. A maioria das transformações relevantes nos estados de um sistema só é possível mediante trocas energéticas. Essas transformações têm uma direção preferencial, que resulta no chamado aumento da entropia. O tempo passa na direção em que a entropia aumenta, e a existência da vida corresponde a um esforço contra esse aumento.

Esse balanço, uma complexa teia de relacionamentos entre espécies, assim como entre elas e os recursos naturais – o chamado equilíbrio ecológico –, significa que, passados alguns intervalos de tempo, os estados desse sistema aproximadamente retornam a estados anteriores, embora desequilíbrios temporários levem a novos pontos de equilíbrio diferentes dos anteriores. Eis um desafio para a espécie humana: será ela capaz de optar por não promover o consumo imediato dos recursos à disposição, deixando de satisfazer tanto à voracidade dos indivíduos para se alimentarem imediatamente quanto à gana de seus investidores para a obtenção de lucros imediatos, em prol da longevidade do ecossistema terrestre?

Energia é a capacidade de realizar trabalho. Episódios recentes como os apagões de eletricidade e combustível, lembram-nos, de forma contundente, a que sua falta pode conduzir. Limpa ou suja, de diversas origens, a energia condiciona o desenvolvimento. Sempre ligada ao movimento, à transformação, à mudança. Fogo, átomo, sol, vento, ela se autorregula com os limites da termodinâmica. Energia para mudança do estado das coisas, para se sair da inércia, criar alternativas – um recurso que requer critérios em seu uso, em nome do qual se fazem guerras, perfuram o solo e explodem suas entranhas, alagam cidades e derrubam governos.

No universo das humanidades, energia remete a múltiplas dimensões da vida, da natureza, dos corpos e da saúde, convoca a história e a memória, é elemento constituinte dos processos criativos, das artes: a dança, o teatro, a música, a literatura, entre muitas outras formas de expressão. A energia se encontra na ação humana, no amor e

na política, na luta e na resistência dos povos e movimentos sociais, nos processos de construção de autonomia e na busca de utopias que estimulam o avanço da sociedade.

Este volume da Revista UFMG traz algumas dessas abordagens. Os três primeiros textos trazem diferentes dimensões da relação entre energia e políticas públicas. O primeiro, intitulado "O setor de energia elétrica brasileiro e a perspectiva de uma reforma setorial", de Ana Carolina Miranda Lima Nogueira e Geovana Lorena Bertussi, explora as relações público-privadas no setor de energia elétrica, numa perspectiva histórica, desde o governo Fernando Henrique Cardoso, fazendo alusão a marcos da década de 1990, como a MP 579 e as privatizações das distribuidoras da Eletrobras, até o momento atual em que ganha força uma pauta mais liberal. Para a autora, a expansão do mercado livre de energia a todos os consumidores brasileiros tem ganhado mais adeptos, e os principais afetados seriam os consumidores residenciais. O artigo explora a história do setor e discute possíveis consequências e vantagens da expansão do mercado livre de energia elétrica, trazendo questões relativas à segurança energética, às dimensões territoriais do país e aos desafios para o consumidor em um mercado competitivo.

O artigo de Pedro Henrique Moreira da Silva, intitulado "Gás de xisto no Brasil e no mundo: perspectivas e paradoxos do desenvolvimento energético", discute o gás de xisto como um recurso responsável por promover uma revolução energética no cenário global. Para tanto, apresenta panoramas gerais acerca do direito de energia e do gás não convencional, estabelecendo características técnicas relacionadas à atividade de exploração. O artigo apresenta casos de países que recorrem ao gás como forma de satisfação do princípio da eficiência da emancipação energética, bem como os impactos ambientais que a exploração de gás não convencional pode causar. Por fim, o trabalho se propõe a questionar se a revolução energética por *shale gas* é compatível com os paradigmas da sustentabilidade e da dignidade da pessoa humana e quais os caminhos para solução do entrave que se delineia em escala global.

"Monitoramento de incêndios por meio de redes e linhas aéreas de energia elétrica", de autoria de Adriano Chaves Lisboa, Pedro Vinícius Almeida Borges de Venâncio, Arlindo Follador Neto, Hermes Aguiar Magalhães, Carlos Alexandre Meireles Nascimento e Hani Camille Yehia, é um artigo que se propõe a discutir o monitoramento ambiental de redes e linhas de energia, muitas vezes vistas como algo danoso ao ambiente. Os autores mostram como é possível verificar, pela internet, o que está ocorrendo numa região de redes e linhas aéreas de energia – possibilidade que acaba

promovendo uma aproximação entre a sociedade e as empresas que instalam essa infraestrutura vital para o desenvolvimento econômico e social. No artigo, o monitoramento ambiental está relacionado à detecção de incêndios, evento que traz estragos não só para as redes e linhas aéreas de energia, mas também para todas as populações – humana, animal e vegetal – ao seu redor.

Os dois artigos seguintes tratam de diferentes dimensões do debate sobre eficiência energética. No artigo intitulado "A importância da inserção de parâmetros urbanísticos na definição de arquétipos energéticos", Tatiana Paula Alves, Luiz Machado e Roberta Vieira Gonçalves de Souza desenvolvem uma metodologia para identificar e estimar padrões de consumo de energia de edifícios, com base em investigação das regulações urbanísticas, dados do Imposto Territorial Urbano e pesquisas de campo em Belo Horizonte, Brasil. Três tipologias representativas de edifícios comerciais foram identificadas, para as quais foram realizadas modelagens e estimadas as intensidades de consumo energético. O trabalho identifica diferenças significativas das escolhas técnicas no consumo de energia, evidenciando uma tendência de crescimento desse consumo nos novos edifícios.

Gustavo Meirelles Lima e Bruno Melo Brentan, no artigo intitulado "Uso racional de energia em sistemas de abastecimento de água", analisam medidas recentes de eficiência energética em sistemas de abastecimento de água nas cidades, como a operação de estações elevatórias e a recuperação de energia em válvulas, e apresentam os principais desafios científicos e tecnológicos para sua ampla aplicação. Os autores argumentam que, durante muito tempo, o planejamento e a operação dos serviços de abastecimento de água eram focados no atendimento da demanda, mas que essa prática não atende às necessidades atuais de uso racional dos recursos naturais, tornando o problema mais complexo, em razão da adição de restrições, como o consumo de energia e o índice de vazamentos, o que resultaria na adoção das medidas de eficiência energética analisadas no texto.

Propondo uma outra perspectiva para o debate, agora relacionada à manutenção da vida, o artigo "Energia em biologia", de Enio Cardillo Vieira, explora a importância dos carboidratos, dos lipídeos, das proteínas e do álcool como os principais fornecedores de energia. O artigo enfatiza que a manutenção do peso ideal é importante para prevenção de certas doenças que podem surgir em decorrência da falta ou do excesso de energia ingerida. A deficiência de energia, por exemplo, causa marasmo na criança e,

no adulto, desencadeia a caquexia. Sob outra perspectiva, a ingestão excessiva de energia promove obesidade, uma doença grave que predispõe a inúmeras outras doenças.

A seção Artes se inicia com um painel e um poema, ambos intitulados "Energia em movimento", da artista plástica Maria Helena Andrés. A trajetória e os depoimentos da artista são aqui apresentados por Marília Andrés Ribeiro. O painel foi criado em 1984 para a sede da Companhia Energética de Minas Gerais – Cemig – integrando uma série de painéis realizados para instituições.

A contribuição seguinte constitui um instigante ensaio fotográfico e textual intitulado "Rios-Desertos: constatações durante o processo de construção do trabalho Água Morta", de autoria de Marilene Cardoso Ribeiro, que busca apresentar, como diz a própria autora, uma resposta ao que considera o "clamor" dos últimos anos pela construção de grandes barragens hidrelétricas como solução para a geração de energia e pelo chamado crescimento econômico sustentável em vários países. Trata-se de uma reflexão feita com base nas vivências em campo da autora e nas interlocuções com os participantes do trabalho documental "Água Morta", que trata das transformações nos rios, nos indivíduos e nas comunidades ribeirinhas em decorrência da construção de barragens para hidrelétricas. O diálogo entre imagem e texto culmina com a concepção de rios-desertos, baseada no que é observado e interpretado durante o processo de trabalho mencionado. O texto se define como uma narrativa, construída em parceria por fotógrafa e fotografados, sobre os impactos da energia hidrelétrica.

Fecha este número da Revista a resenha escrita por Carolina Carneiro Lima e Lucas Emanuel Goecking Liesner de Souza do livro "Vozes de Tchernóbil: a história oral do desastre nuclear", livro que resultou de uma pesquisa realizada por Svetlana Aleksievitch com os sobreviventes do acidente nuclear ocorrido na Ucrânia em 1986. Utilizando recursos da história oral, a obra descreve o comportamento da população, do governo e dos envolvidos. Em sua análise crítica, a resenha traz questões objetivas e subjetivas para uma reflexão, em particular sobre os caminhos futuros frente à necessidade social de produção de energia. Além das denúncias contidas na obra em questão, a resenha propõe uma importante discussão sobre o direito à informação, sobre as falhas humanas e o respeito ao Estado de Direito. Constitui-se uma permanente indagação sobre os benefícios e riscos de adoção da própria energia nuclear como alternativa energética.

Que este número propicie uma interessante leitura de trabalhos dedicados ao tema Energia.

ENERGY

In the field of physics, the term *energy* refers to a fundamental physical entity that, together with *matter*, forms the universe as we understand it. In that sense, energy is ruled by equations of balance in which the total amount of energy in a system is finite, and the increase or decrease of energy in this system leads to an exchange of energy with the external environment. The major part of the relevant transformations in the states of a system is only possible with energetic exchanges. Such transformations have a preferred direction resulting in the so-called increase in entropy. Time passes in the direction in which entropy increases, and the existence of life stands for an effort against such increase.

This balance, a complex network of relationships among species, as well as between species and the natural resources – the so-called ecological equilibrium – means that, when intervals of time pass, the states of this system approximately return to the previous states, although temporary unbalances lead to new points of equilibrium different from the previous ones. Thus, a challenge to the human species lies in the following question: would it be able to choose not to further the immediate consumption of the available resources, not only refraining from immediately feeding its voracious individuals, but also its investors' greed for immediate profit, on behalf of the terrestrial ecosystem longevity?

Energy is the capacity to carry out work. Recent events, such as the electricity blackouts and fuel shortage, dramatically remind us what its lack may trigger. Clean or dirty energy from several sources conditions development, and it is always connected to movement, transformation, change. Fire, atom, sun, wind are self-regulated within the limits of thermodynamics. Energy is needed to change the state of things, to overcome inertia, to create alternatives, but it is a resource that requires utilization criteria. In its name, wars are made, soils are drilled and their depths are blown up, cities are flooded, and governments are brought down.

In the universe of humanities, energy refers to manifold dimensions of life, nature, bodies and health, calls for history and memory, is an integral part of the creative processes, of the arts such as dance, drama, music, literature to mention just a few of the many forms of expression. Energy can be found in the human action, in love and in politics, in the fight and in the resistance of the peoples and social movements, in the autonomy building processes, and in the search for utopias that move society forward.

This volume of Revista da UFMG brings some of these approaches. The next three texts give us different dimensions of the relations between energy and public policies. The first one entitled *The Sector of the Brazilian Electric Power and the Perspective of a Sector Reform* by Ana Carolina Miranda Lima Nogueira and Geovana Lorena Bertussi explores the public-private relations in the electric power sector from a historical perspective since the administration of Fernando Henrique Cardoso, encompassing the milestones of this decade such as MP 579 (Provisional Presidential Decree) and the privatizations of the distributing companies of Eletrobras, until the present day when a more liberal agenda is gaining force. According to the author, the expansion of the free market of electric power to all Brazilian consumers has attracted more supporters, and the most affected would be residential consumers. The article explores the history of the sector and discusses possible consequences and advantages of the free market expansion of electric power, bringing up issues related to energy safety, the country's land dimensions, or the challenges posed to the consumer in a competitive market.

The article by Pedro Henrique Moreira da Silva entitled *Shale Gas in Brazil and in the world: perspectives and paradoxes of the energetic development* approaches shale gas as a resource liable to foster an energetic revolution in the global scenery. Therefore general views on the legal aspects of power and the non-conventional gas setting forth technical

features related to the exploration activities are introduced. The author reports cases of countries that use the gas as a way of complying with the principle of efficiency of the energetic emancipation, and the environmental impacts that the exploration of the non-conventional gas may cause. At last, the energetic revolution by shale gas is questioned as to its compatibility with the paradigms of sustainability and dignity of the human being, and which would be the ways to counter the obstacles found worldwide.

Now the article *Wildfire monitoring from electric networks and transmission lines* by Adriano Chaves Lisboa, Pedro Vinícius Almeida Borges de Venâncio, Arlindo Follador Neto, Hermes Aguiar Magalhães, Carlos Alexandre Meireles Nascimento and Hani Camille Yehia discusses the environmental monitoring of power grids and lines which are often seen as harmful to the environment. The authors show how it is possible to check by internet what is going on in the region of power grids and overhead lines, thus furthering a closer relationship between society and the companies that install this vital infrastructure for the economic and social development. In this article, environmental monitoring is related to the fire detection, an event that causes damages not only to power grids and overhead lines but also to the populations in general – human, animal, and the plants – in the surrounding areas.

The next two articles consider the different dimensions of the debate on energetic efficiency: the first one is in the field of architecture and urbanism and evaluates the improvement of the energetic performance in buildings. In the article entitled *The importance of including urban parameters in the definition of energetic archetypes*, Tatiana Paula Alves, Luiz Machado and Roberta Veira Gonçalves de Souza develop a methodology to identify and estimate patterns of power consumption in buildings. Their starting point was the investigation of the urban regulations, the data of the Urban Real Estate Tax, besides field researches in the city of Belo Horizonte, Brazil. Three typologies representing commercial buildings were identified, for which modelings were carried out, and the intensity of the power consumption was estimated. The work identifies significant differences in the technical decisions regarding power consumption stressing a trending increase of such consumption in the new buildings.

In *The Rational use of energy in water supply systems*, Gustavo Meirelles Lima and Bruno Melo Brentan analyze the recent measures of energetic efficiency in urban water supply systems, *i.e.*, the operation of the pumping stations and the energy retrieval in

valves, pointing out the main scientific and technological challenges for their broad implementation. The authors argue that for a long time the planning and the operation of the water supply services focused the fulfillment of the demand, but this practice does not comply with the present needs of rational use of the natural resources making the issue more complex due to added restrictions such as the power consumption and the leaking rates, which would result in the adoption of energetic efficiency measures analyzed in the text.

Another perspective is brought to light in the debate, now related to the maintenance of life. *Energy in Biology* by Enio Cardillo Vieira explores the importance of foodstuff as carbohydrates, lipids, proteins and alcohol as the main energy providers. The author emphasizes that keeping the ideal weight is important to prevent some diseases that may be caused by the lack or excess of ingested energy. Thus, the energy deficiency in childhood and adulthood causes stagnation and cachexia respectively, while the excessive ingestion of energy furthers obesity, a serious disease that leads to many other diseases.

The Art section begins with a panel and a poem both entitled *Energy in motion* by the visual artist Maria Helena Andrés, whose trajectory and reports are presented by Marília Andrés Ribeiro. The panel was created in 1984 to be exhibited at CEMIG's (Electric Power Company of Minas Gerais) headquarters as part of a series of panels made for institutions.

The next contribution, now by Marilene Cardoso Ribeiro, is a stimulating photographic and textual essay entitled *Desert Rivers: observations during the building process of the work Dead Water*, that seeks to present, in the author's words, an answer to what she defines the "plead" in the last years for the building of huge hydroelectric dams as a solution to the power production, and for the so-called sustainable economic growth in many countries. This is a pondering based on the author's field experiences and on the conversations with the participants in the documentary work *Dead Water (Água Morta)* about the transformations in the rivers, in the individuals and in the riverside populations due to the building of dams for hydroelectric plants. The dialogue between image and text peaks with the conception of desert-rivers from what is observed and interpreted during the work process mentioned above. The text is defined as a narrative on the impacts of the hydroelectric power brought together by the photographer and photographed.

Closing this issue is the review by Carolina Carneiro Lima and Lucas Emanuel Goecking Liesner de Souza of the book *Chernobyl Voices: the oral history of the nuclear*

disaster, a research made by Svetlana Aleksievitch with the survivors of the nuclear accident that took place in Ukraine in 1986. Making use of oral history resources, the work describes the population's behavior, the government's and that of the involved. In its critical analysis, the review brings objective and subjective questions to think over, particularly on the future ways to confront the social necessity of energy production. Besides the denunciations found in the book, the review proposes an important discussion on the right to information, the human failures and the respect to the Rule of Law. It is also a permanent questioning about the benefits and risks involved in the adoption of the nuclear energy itself as an energetic alternative.

May this issue provide an interesting reading on works dedicated to Energy.



DOUGLAS ASSIS

O SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA BRASILEIRO E A PERSPECTIVA DE UMA REFORMA SETORIAL

ANA CAROLINA MIRANDA LIMA NOGUEIRA*

GEOVANA LORENA BERTUSSI**

RESUMO Desde o governo Fernando Henrique Cardoso, a relação público-privado do setor de energia elétrica nunca saiu totalmente das discussões do Planalto. A MP 579/2012 e a privatização das distribuidoras da Eletrobras foram marcos que, aliados a um governo herdeiro de instabilidade política, fizeram ganhar força uma pauta mais liberal. A expansão do mercado livre de energia acessível a todos os consumidores brasileiros tem ganhado mais adeptos, e os principais afetados por essa possível mudança são os consumidores residenciais. Por isso, este estudo, explorando a história do setor, visa apresentar possíveis vantagens da expansão do mercado livre de energia elétrica, assim como suas consequências. Como será garantida a segurança energética? O consumidor está pronto para lidar com um mercado livre de energia? Os benefícios de um mercado competitivo são possíveis em um país de grande dimensão como o Brasil?

PALAVRAS-CHAVE Energia elétrica. Mercado livre.

THE BRAZILIAN ELECTRICITY SECTOR AND THE PERSPECTIVE OF A SECTORIAL REFORM

ABSTRACT Since the Fernando Henrique Cardoso's office, the public-private relationship of the Brazilian electricity sector has never been fully outside from the federal government's discussion. With the milestones of this decade, such as MP 579 and the privatization of Eletrobras distributors, and now government that is heir of political instability, a more liberal agenda gained strength. The expansion of the energy free market for all Brazilian consumers has gained more supporters, and the main ones affected by this possible change are residential ones. Thus, sets its purpose in exploring the history of the sector and possible outcomes and advantages of the electricity free market expansion. How will energy safety going to be guaranteed? Is the consumer ready to deal with an energy free market? Are the benefits of a competitive market possible in a country of size such as Brazil?

KEYWORDS Electric energy. Free market.

* graduada em Economia pela Universidade de Brasília (UnB) - acmlnogueira@gmail.com

** doutora em Economia pela Universidade de Brasília (UnB) - geovanalorena@gmail.com

Introdução

O setor de energia elétrica brasileiro começou a se assemelhar com o que temos hoje após o choque do petróleo em 1973. A desestabilização mundial causada pelo protagonismo do petróleo como fonte de energia incentivou o Estado brasileiro, na época, ditatorial, a preconceber a hidroelétrica, geradora de energia renovável, como principal fonte de energia elétrica. Na busca por energias alternativas ao petróleo, em 1975, o Programa Nacional do Álcool, ou “Pró-álcool”, promoveu o uso do álcool como substituto à gasolina, inovando, assim, o mercado automobilístico brasileiro. Em 1977, o primeiro Plano Nacional de Energia Elétrica, chamado “Plano 92”, foi elaborado projetando metas para 1992. Nesse período, a Eletrobras, fundada em 1961 e que ganhou força até 1974, quando era encarregada da operação, do planejamento e engenharia do setor, começou a descentralizar suas funções (MERCEDES; RICO; POZZO, 2015).

Avançando no tempo, passada a onda de investimentos públicos gigantescos e a turbulência econômica da transição para a democracia, o setor elétrico estabelece outro marco de sua história, a lei da privatização (BRASIL, 1990), introduzida durante o governo de Fernando Collor. Dando continuidade à abertura de mercados iniciada pelo governo anterior, Fernando Henrique Cardoso (FHC) impulsiona o Programa Nacional de Desestatização e implementa uma reforma no setor energético. As mudanças no setor de energia elétrica instauradas pela lei das concessões incluem, de forma geral, licitações, competição na geração e livre acesso à rede de transmissão. Tudo isso durante um período com indícios de crise de abastecimento energético devido à hidrologia desfavorável e à baixa de investimentos (MERCEDES; RICO; POZZO, 2015).

Depois de quedas de energia, os chamados “apagões”, a credibilidade do governo e do setor foi abalada e, em 2004, tudo isso serviu de fomentação para os objetivos do Novo Modelo Elétrico, que visavam à segurança energética, à modicidade e à universalização (WALVIS; GONÇALVES, 2016).

Esse novo modelo dividiu o mercado de energia elétrica em dois ambientes: Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e Ambiente de Contratação Livre (ACL). No ACR, são realizadas compras e vendas de energia elétrica mediante licitações adquiridas por meio de leilões e participam os geradores (venda) e os agentes de distribuição (compra). No ACL, são celebradas negociações livres e bilaterais de contratos, e participam “agentes concessionários, permissionários e autorizados de geração, comercializadores, importadores, exportadores de energia elétrica e consumidores livres” (BRASIL, 2004a).

Eram categorizados como “consumidores livres” os agentes econômicos com carga igual ou superior a 3.000 kW (BRASIL, 1995) ou com carga maior ou igual a 500 kW que compram de “empreendimentos com potência igual ou inferior a 5.000 kW, com base em fontes solar, eólica e biomassa cuja potência injetada nos sistemas de transmissão ou distribuição seja menor ou igual a 50.000 kW” (BRASIL, 1996). Desde 1º de julho de 2019, a Portaria 514/2018 do MME reduziu a carga para 2.500 kW, em qualquer nível de tensão. E, a partir de 1º de janeiro de 2020, consumidores com demanda contratada de fonte convencional igual ou superior a 2000 kW poderão ter acesso ao mercado livre de energia. Não preenchendo os requisitos para ser um consumidor livre, o consumidor é chamado cativo, ou seja, aquele que fica sujeito aos preços e regulamentos da distribuidora da sua região.

No formato de projeto de lei (no Senado Federal, PL 232/2016; na Câmara dos Deputados, PL 1.917/2015), existe uma intenção se movimentando no mercado de expandir os privilégios de negociação livre a todos os consumidores. Se essa intenção se concretizar e virar lei, haverá grandes consequências não só para quem compra, mas também para quem gera e distribui, visto que, segundo dados de 2017, os consumidores cativos representam 68,5% de todo o consumo de energia elétrica no Brasil (BRASIL, 2018).

A discussão sobre essa reforma no setor de energia elétrica torna-se ainda mais essencial depois da crise energética iniciada com a Medida Provisória 579/2012, que cancelou leilões, sujeitou as distribuidoras aos preços duros do mercado de curto prazo e ameaçou a segurança de fornecimento do sistema elétrico, desestabilizando profundamente a confiança dos fornecedores e investidores e afetando também os consumidores de menores cargas (CNI, 2014). Toda a insatisfação dentro do setor nessa

década culminou na recente intenção de privatizar distribuidoras da Eletrobras. Com a importância que o setor tem para o desenvolvimento de outros setores estratégicos, como indústria e comércio, a reforma que será discutida de forma analítica com auxílio de dados neste artigo tem potencial-chave para corroborar com a retomada do crescimento econômico do Brasil.

Essencialmente, o debate promovido neste trabalho é conduzido em três partes: a primeira parte trata da experiência histórica do setor de energia elétrica para auxiliar a compreensão de como ele começou e como está atualmente. Na conclusão da primeira parte, são destacados os pontos fortes do setor e também os pontos fracos do modelo adotado no período de 2004 até a atualidade e que devem ser levados em conta pelo governo quando for executada uma reestruturação, entendida como necessária. A segunda parte explora os pontos mais apelativos das propostas de expansão das regras da ACL a todos os agentes econômicos do Brasil, não somente mostrando as vantagens de uma mudança liberal no setor, mas também questionando certos aspectos críticos e historicamente difíceis das abordagens sugeridas que devem ser analisados com cautela. A última parte sumariza e conclui o trabalho com otimismo em relação a mudanças no setor, entendendo que, sendo aplicada a expansão do mercado livre a todos os consumidores de forma gradual e cuidadosa, os benefícios podem ultrapassar os possíveis prejuízos, e a defasagem tecnológica que o Brasil tem em relação a outros países pode ser reduzida.

1 Evolução histórica

O Sistema de energia brasileiro começou a se formar a partir do Código de Águas (BRASIL, 1934), um Decreto Federal estabelecido em 1934, na era Vargas. Esse decreto tornou as águas da federação públicas, o que passou a permissão da União para sua utilização: navegar, irrigar, instalar portos, caçar, pescar, gerar energia, entre outros. Dessa forma, a fonte de energia mais abundante do país, e atualmente a responsável pela geração da maior parcela da energia brasileira, tornou-se regulada pelo governo conforme o seguinte artigo do Código:

Art. 139. O aproveitamento industrial das quedas de águas e outras fontes de energia hidráulica, quer do domínio público, quer do domínio particular, far-se-á pelo regime de autorizações e concessões instituído neste Código (BRASIL, 1934).

No período de 1940 a 1960, a população brasileira cresceu de forma bastante significativa por uma série de motivos. O fim da Segunda Guerra Mundial aumentou a migração para o Brasil, e os avanços da medicina, assim como as melhorias no saneamento básico diminuíram a taxa de mortalidade. Tudo isso, juntamente com o crescimento simultâneo da migração rural-urbana, fez a demanda por energia expandir largamente. Esse cenário fez a concorrência no setor acirrar. O próprio governo aumentou o número de empreendimentos como Furnas e a Hidroelétrica do Vale do Paraíba para concorrer com empresas privadas, como a Light de São Paulo e do Rio de Janeiro (LIMA JUNIOR, 2017). Em 1954, a Eletrobras é idealizada por Getúlio Vargas e criada em 1961 por Jânio Quadros recebendo “a atribuição de promover estudos, projetos de construção e operação de usinas geradoras, linhas de transmissão e subestações destinadas ao suprimento de energia elétrica do país” (CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A., 2019).

Em 1964, ocorreu o golpe militar e, então, iniciou-se o processo de estatização de muitas empresas no setor elétrico graças à Lei nº 4.428 de 1964, que passa a autorizar a aquisição de empresas estrangeiras pelo governo. Essa mesma lei confere ao Ministério de Minas e Energia (MME) a responsabilidade pela política elétrica do país, cabendo à Eletrobras a realização dessa política (LIMA JUNIOR, 2017).

Durante a ditadura militar, muitas iniciativas marcaram o setor. Para enumerar algumas, em 1973, dos planos do I Plano Nacional de Desenvolvimento (I PND) para a infraestrutura do país nasceu a parceria Paraguai-Brasil, que construiu uma das maiores usinas do mundo, a Itaipu. Isso foi instituído pela Lei nº 5.899 do mesmo ano, conhecida como “Lei de Itaipu”, que dá às subsidiárias da Eletrobras maiores poderes sobre as atividades da usina Itaipu (MERCEDES; RICO; POZZO, 2015).

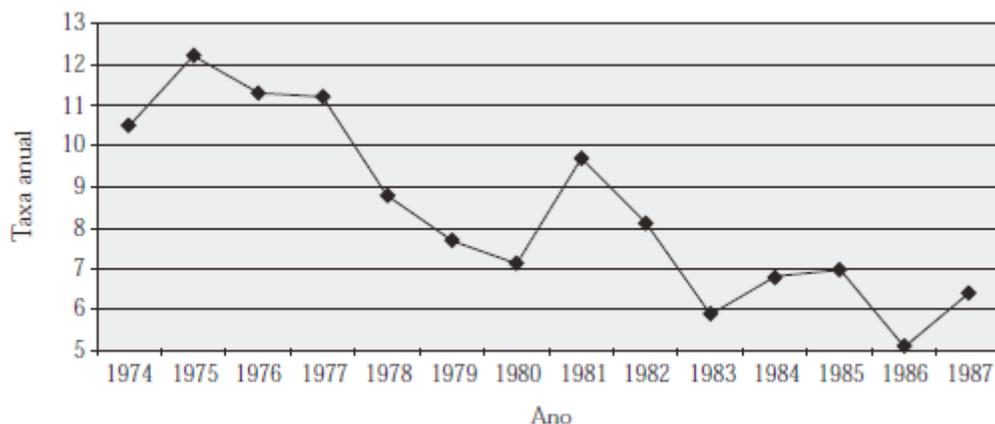
Em 1975, surge o II Plano Nacional de Desenvolvimento (II PND). O choque do petróleo força o governo a diversificar sua matriz energética e cria o Programa Nacional do Álcool (Pró-Álcool), estimulando a substituição de derivados do petróleo por álcool. Além disso, reforça programas de energia nuclear (Angra I), energia termelétrica e dá preferência a gerar energia via hidrelétricas. Entre 1976 e 1984, foi construída a Usina

de Tucuruí. O ano 1977 foi marcado pela elaboração do “Plano 92”, primeiro plano nacional de energia elétrica que estabelecia um roteiro a ser seguido até 1992. O II PND é responsável pelo crescimento econômico entre 1975 e 1979, justificando o aumento da demanda de energia e a realização de muitos investimentos de infraestrutura na tentativa de garantir uma autossuficiência para o Brasil (MERCEDDES; RICO; POZZO, 2015).

A “década perdida”, como ficou conhecida a década de 1980, foi marcada por intensa estagnação econômica com inúmeras tentativas de controle da inflação inercial exorbitante que se aprofundou no final da ditadura. Nesse período, a relação dívida pública-PIB ficou insustentável, e houve um esgotamento dos financiamentos ao longo dos anos graças à construção da binacional Itaipu e do programa nuclear. Os investimentos no setor elétrico, assim como em outros setores da infraestrutura, deixaram de ser prioridade e levaram o setor de energia elétrica à estagnação (PINTO JUNIOR et al., 2016).

Em 1988, a constituição da nova república é promulgada, e com ela vieram algumas mudanças na forma de capitalização do setor, incluindo corte de imposto e empréstimos, quebrando a dinâmica antiga de reinvestimento. A corrida ávida para tentar controlar a situação fiscal do governo fez a remuneração real do setor quase que só diminuir no período de quase 20 anos, como podemos ver nos dados do Gráfico 1 (GOLDENBERG; PRADO, 2003).

Gráfico 1 - Taxas anuais de remuneração do setor elétrico (1974-1987)



Fonte: Goldenberg e Prado, 2003.

O ano de 1990 – governo do presidente Fernando Collor – foi marcado pela “lei da privatização”, que funda o Programa Nacional de Desestatização, levantando questionamento em relação ao planejamento centralizado do governo (MERCEDES; RICO; POZZO, 2015). Com a criação da lei, intencionava-se conseguir, entre outros: transferência de atividades mal exploradas do governo para a iniciativa privada por questão estratégica econômica; diminuição da dívida pública; oportunidade de prosseguir investimentos via iniciativa privada; aumento da competição para auxiliar na modernização industrial; foco das forças governamentais em atividades de administração públicas mais prioritárias; fortalecimento do mercado de capitais por meio de ofertas de valores mobiliários (BRASIL, 1990). Ainda durante o governo de Itamar Franco, foi lançada a Lei nº 8.631, de 4 de março de 1993, que foi considerada também uma manobra de cunho mais liberal no sentido de tornar as tarifas mais enxutas e descomplicadas, aproximando o setor do livre mercado.

Somente no governo de Fernando Henrique Cardoso é que o programa de privatização foi reforçado e acelerado. Visando à estabilização da moeda e fortificação fiscal, foi dada continuidade ao regime de âncora cambial e de ajustes fiscais, seguindo, assim, as premissas do Consenso de Washington e mostrando ainda mais o alinhamento com as reformas liberais no Estado (MERCEDES; RICO; POZZO, 2015). O modelo energético do governo FHC foi concebido no projeto Reforma de Setor Elétrico Brasileiro (Re-seb) de 1997, que tinha a finalidade ambiciosa de dar ao setor uma eficiência similar à de livre mercado e, ao mesmo tempo, de expandi-lo. Para auxiliar nesse processo de reestruturação, uma consultoria internacional da Coopers & Lybrand foi contratada (COOPERS E LYBRAND, 1997). Entre as ações implementadas para se alcançar esses objetivos, destaca-se a separação do controle das regulamentações da execução das políticas públicas em si, o que foi concretizado por meio da criação de instituições de peso que até hoje existem. A Lei nº 9.427, de 1996, e o Decreto nº 2.335, de 1997, resultou na criação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) cujas principais funções são:

[...] regular e fiscalizar geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica; implantar políticas do governo no setor e energia elétrica; instituir tarifas que remunerem o serviço da agência; sanar descordos administrativos entre os agentes econômicos participantes do setor; realizar atividades de outorgas de autorização, permissão e concessão de empreendimentos e serviços de energia elétrica (BRASIL, 1996).

Além da ANEEL, foi instituído, em 1997, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) (Brasil, 1997b), e, em 1998, foi criado o Operador Nacional Elétrico (ONS), que coordena e controla as operações de energia elétrica dentro do Sistema Interligado Nacional (SIN) (BRASIL, 1998, 2004b).

Em suma, a Re-seb tinha em si quatro pilares: a reestruturação, feita com consultoria estrangeira; a regulamentação mínima, via criação da ANEEL, a prorrogação de concessões juntamente com o cancelamento de concessões de projetos não iniciados, os mecanismos de diminuição da inadimplência; a expansão na transição e as privatizações para ampliar competitividade (MERCEDES; RICO; POZZO, 2015). Desse modo, Goldenberg e Prado (2003) trazem duas críticas a essa reforma que valem ser destacadas para o enriquecimento do debate neste trabalho: a primeira é o risco entrinçado à volatilidade dos custos marginais de curto prazo que podem causar grandes estragos à balança de pagamento das empresas; a segunda é contar com uma empresa estrangeira para consultar um caso brasileiro, que, teoricamente, os funcionários do sistema saberiam melhorar. Essas são questões válidas também para a expansão do mercado livre, como será debatido.

O primeiro mandato do ex-presidente FHC foi bem promissor, em razão do controle fiscal, que trouxe um sopro de vida após uma redemocratização economicamente conturbada. Entretanto, o fim do seu segundo mandato foi bem fragilizado. Os esforços realizados para manter o equilíbrio fiscal, a crise asiática e russa de 1997, a queda de investimentos e, conseqüentemente, o aumento de juros e de câmbio, somados a uma série de fatores desfavoráveis, custaram as reservas brasileiras e um empréstimo bilionário do Fundo Monetário Internacional.

Enquanto isso, havia fortes evidências de uma crise hídrica se aproximando, trazendo sérias preocupações, uma vez que a base energética já era majoritariamente hidráulica. A carência de coordenação da reforma do setor ficou totalmente evidente, quando, apesar de anos de matriz energética ser predominantemente de hidrelétricas, não havia preparo para lidar com a escassez de água. Além disso, os planos de crescimento do parque energético – fundamental para garantir insumo de crescimento que demanda consumo de energia – eram fracos, e a implantação, pouco eficaz, acarretando o acúmulo de dívidas por parte das empresas privadas que haviam apostado no setor. À medida que a remuneração dos investimentos não conseguia custear o reinves-

timento, as parcelas de investimento iam caindo, e uma estagnação geral foi instalada.

Para conter o eminente colapso do setor, foi estabelecido regime de racionamento de energia entre 2001 e 2002, que tentava forçar a diminuição do consumo de energia em 20%. O governo fez crer que as frequentes quedas de luz, os chamados “apagões”, aconteceram em razão da não concretização das obras de alargamento do parque. Tudo isso ocorrendo há pouco tempo das eleições deixou a reforma liberal do setor infame, ao final do governo FHC, e abriu uma oportunidade para o crescimento da popularidade do, então carismático, candidato Luís Inácio Lula da Silva, que vence as eleições e assume a presidência em 2003.

1.1 Setor de energia elétrica atualmente

A segunda fase da liberalização do setor elétrico começou no governo do presidente Lula, que herdou da antiga presidência a tarefa de garantir segurança energética, modicidade de tarifas e inclusão social, feita principalmente pelo programa “Luz Para Todos”. O modelo atual continua essencialmente o mesmo desde 2004, tendo havido apenas algumas mudanças substanciais. Ao longo das explicações desse modelo, serão pontuadas algumas falhas e vantagens que foram evidenciadas na última década. A ANEEL tem papel protagonista nesse modelo, definindo regras, convenções e procedimentos de comercialização em todo o sistema.

Primeiramente, é válido reforçar algumas definições de uso do serviço público (BRASIL, 1988) de importância-chave para o entendimento do modelo brasileiro de sistema de energia elétrica:

- **Autorização:** um ato unilateral da administração pública que autoriza a exploração de um bem ou prestação de serviço público que não garante direito de permanência ao autorizado (ato precário). Dessa forma, é prerrogativa da administração pública decidir revogar a autorização como bem entender, sem prazo determinado.

- **Permissão:** um ato unilateral da administração pública que, por meio de um contrato de adesão que estabelece regras feitas pelo poder público, com prazos, possibilita a exploração de bens e/ou serviços públicos.

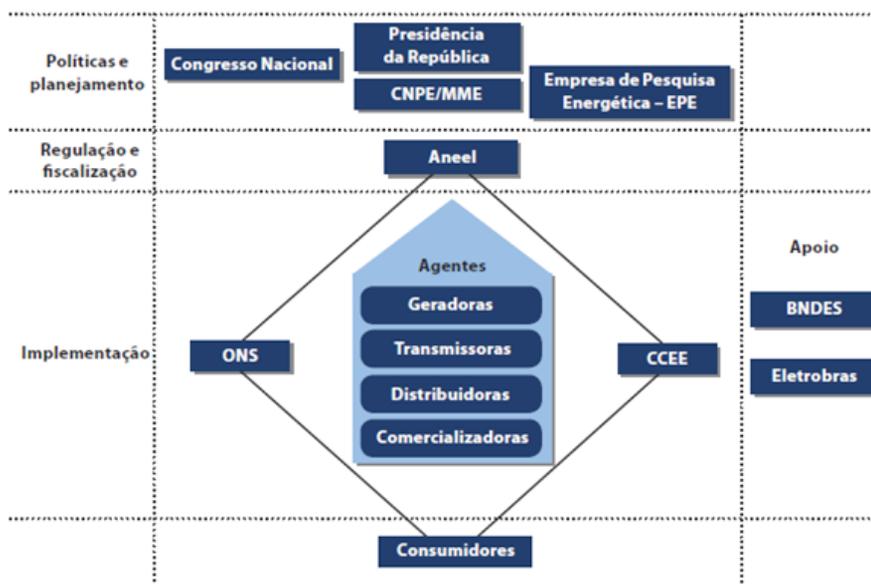
- **Concessão:** contrato administrativo com obrigações e também direitos para utilização exclusiva de bens e/ou serviços públicos, bem como regras e prazos de exploração, reservando maior garantia para o titular da concessão (LIMA JUNIOR, 2017).

- Agente vendedor: aquele que tem concessão, permissão ou autorização do poder concedente para gerar, importar ou comercializar energia elétrica.
- Agente de distribuição: aquele que tem concessão, permissão ou autorização de serviços e instalações de distribuição para fornecer energia elétrica a consumidor final exclusivamente de forma regulada.
- Agente autoprodutor: aquele que tem concessão, permissão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo (BRASIL, 2004a).

O modelo de 2004 instituiu dois ambientes de negociação: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR), em que são celebrados contratos a preço de leilões realizados pelo poder concedente, e o Ambiente de Contratação Livre (ACL), que celebra contratações livres à luz das regras da ANEEL. Além da separação dos dois ambientes, iniciou-se o processo de segmentação das companhias de cada etapa da produção de energia elétrica (geração, transmissão e distribuição), tornando o sistema elétrico mais horizontal. Dessa forma, as geradoras ganharam maior liberdade para participar do mercado de curto prazo (PINTO JR et al. 2016).

A estrutura do sistema elétrico brasileiro tem início no planejamento e criação de políticas a cargo da Presidência da República juntamente com o Congresso Nacional, auxiliados pela CNPE e pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), que

Figura 1 - Estrutura Institucional do Setor Elétrico



Fonte: Mercedes, 2015.

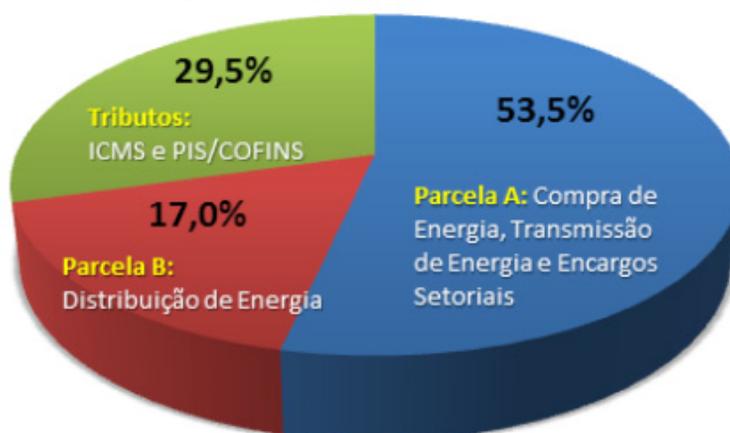
subsídia informações para a tomada de decisões do MME. À ANEEL cabe a fiscalização e regulação de todo o sistema. A estrutura fica mais clara na Figura 1.

No governo anterior, foi criado o Mercado Atacadista de Energia (MAE), que o governo Lula aproveitou, mudando seu nome para Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), com a função de determinar preços de curto prazo no ACL, complementando as ações da ANEEL. A ONS constitui outro apoio e segue na função de garantir o funcionamento do SIN.

Neste trabalho, não vamos analisar tarifas de transmissão, mas é válido explicar que parte das tarifas que são cobradas do consumidor final constitui repasses de uso do sistema de transmissão e de distribuição, que, em conceito simples, é a estrutura que torna possível a chegada da energia ao consumidor. O valor cobrado pela transmissão de energia é determinado por um monopólio natural. Para o consumidor de baixa tensão, que é o foco deste artigo, essa tarifa de transmissão compõe, junto com a compra de energia e os encargos setoriais, a maior parte do preço cobrado (53,5%), como mostra o Gráfico 2 a seguir. Desde 2002, existe a separação da Tarifa de Energia (TE) da Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) que são cobradas por MWh, ou seja, a distância de onde é gerada a energia não entra diretamente no cálculo do preço cobrado ao consumidor final.

Gráfico 2 - Composição do valor final de energia elétrica

Valor Final da Energia Elétrica



Fonte: ANEEL, 2017.

1.1.1 O Ambiente de Contratação Regulada (ACR)

O Ambiente de Contratação Regulada é o ambiente de acordos que contém maior parcela da energia contratada e consumida, 68,5% em 2017, segundo dados da Empresa de Pesquisas Energéticas (BRASIL, 2018), compilados na Tabela 1. Isso se dá principalmente por ele suprir a demanda de consumidores cativos.

Tabela 1 - Consumo de energia elétrica por tipo de consumidor em GWh

Consumo por tipo de consumidor (GWh)							
Brasil	2013	2014	2015	2016	2017	Variação % (2017/2016)	Participação (2017)
Total	463.142	474.823	465.708	461.780	467.161	1,2	100,0%
Cativo	336.740	354.164	349.867	337.323	319.958	-5,1	68,5%
Livre	126.403	120.660	115.842	124.457	147.204	18,3	31,5%

Fonte: EPE. Elaboração do autor.

Dentro do ACR, os agentes vendedores fecham a comercialização via leilões organizados pela ANEEL. O contrato celebrado nesse ambiente é chamado de Contrato de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado (CCEAR). Essa forma de comercialização tem o objetivo de aumentar a competição, transparência e previsibilidade, dando certa continuidade ao processo de “liberalização” do setor que se iniciou nos anos 1990, sem deixar o governo perder sua centralidade. Por meio dos leilões, o governo tenta garantir menores preços, menores prazos para fornecimento de energia e de construção de instalações (aumento do parque energético) e segurança energética. Esse sistema de contratação possibilita também a renovação de contratos para ajustar os termos às condições do mercado, realizando, assim, a manutenção da concorrência que torna possível a modicidade de tarifas. É interessante enfatizar que os leilões geram uma competição na tentativa de se aproximar da concorrência de mercado (INSTITUTO ACENDE BRASIL, 2012).

Os leilões de energia elétrica do ACR são divididos em leilões de empreendimentos de geração existente, que são os de energia de geração já operante, e novos empreendimentos de geração, que são os empreendimentos que não têm permissão, concessão ou autorização de geração de energia, ou que são empreendimentos existentes, mas estão passando por alguma ampliação de capacidade instalada. Os empreendimentos de energia de fonte alternativa recebem classificação igual à de outras fontes (empre-

endimentos existentes ou novos) (BRASIL, 2004). Outra definição importante é a de “ano-base”, que informa a estimativa do início dos serviços tratados nos leilões. A nomenclatura se dá da seguinte forma: “leilões A-5” são leilões com previsão de fornecimento para cinco anos após o leilão. A EPE fica responsável por calcular e enviar ao MME os custos dos novos empreendimentos que participarão dos leilões e determinar quais estão aptos a participar dos leilões segundo os regulamentos.

O êxito do sistema de leilões está intimamente relacionado à eficácia das normas e suas aplicações. Seguem as principais normas que possibilitam o funcionamento do ACR (INSTITUTO ACENDE BRASIL, 2012).

- Mecanismo de Realocação de Energia (MRE): conjunto de ferramentas regulatórias que possibilita a participação de uma diversidade de fontes de geração na matriz energética que complementam as hidrelétricas. Trata-se de um mecanismo que compartilha o risco hidrológico do sistema, de modo centralizado. Esses instrumentos são de fundamental importância, já que o parque gerador brasileiro é predominantemente hidrelétrico (63,1%), segundo a Empresa de Pesquisas Energéticas (BRASIL, 2018), como é visto na Tabela 2, e, por definição, sensível a condições adversas de tempo, como grandes períodos de seca. Para mitigar o risco de geração individual de cada

Tabela 2 - Geração elétrica por fonte no Brasil em GWh

	2013	2014	2015	2016	2017	Δ% (2017/2016)	Part. % (2017)
Total	570.835	590.542	581.228	578.898	587.962	1,6	100,0
Hidráulica (i)	390.992	373.439	359.743	380.911	370.906	-2,6	63,1
Gás Natural	69.003	81.073	79.490	56.485	65.593	16,1	11,2
Derivados de Petróleo (ii)	22.090	31.529	25.657	12.103	12.733	5,2	2,2
Carvão	14.801	18.385	18.856	17.001	16.257	-4,4	2,8
Nuclear	15.450	15.378	14.734	15.864	15.739	-0,8	2,7
Biomassa (iii)	39.679	44.987	47.394	49.236	49.385	0,3	8,4
Eólica	6.578	12.210	21.626	33.489	42.373	26,5	7,2
Outras (iv)	12.241	13.540	13.728	13.809	14.976	8,5	2,5

Fonte: Balanço Energético Nacional 2018; Elaboração: EPE

Notas:

- i) Inclui autoprodução
- ii) Derivados de petróleo: óleo diesel e óleo combustível
- iii) Biomassa: lenha, bagaço de cana e lixívia
- iv) Outras: gás de coqueria, outras secundárias, outras não renováveis, outras renováveis e solar

Fonte: EPE, 2018.

usina hidrelétrica, foi criado um sistema que compartilha a energia total produzida por todas as hidrelétricas participantes, de forma a mitigar o risco individual. A grande cobertura territorial do Brasil torna menos provável que todas as usinas fiquem sem chuva de uma vez. Quando uma tem menor geração, outra pode complementar a oferta de energia.

- Lastro de venda: mecanismo que força os vendedores do comércio de energia a comprovar que tem total capacidade de arcar com os contratos feitos. Vale mencionar que essa norma também é válida para o ACL e é uma medida de prevenção de racionamento para anos de dificuldade de geração;

- Reajuste de preços dos contratos de acordo com o Índice de Preços ao Consumidor Acumulado (IPCA): regimento que protege os agentes, já que os contratos fechados nos leilões tendem a ser de longo prazo.

O modelo instaurado em 2004 garante suprimento de energia aos consumidores cativos, de forma que, se as distribuidoras (agentes compradores) não tiverem energia suficiente para repassar aos consumidores, elas sofrem sanções, tornando a compra de energia no ACL, em contratos de curto prazo, o melhor dos piores custos com que as distribuidoras poderiam arcar.

Participam do ACR:

- Consumidores potencialmente livres que, mesmo atendendo às condições necessárias para participar do ACL, optam pela compra de energia elétrica no ambiente regulado

- Distribuidoras, geradoras e comercializadores.

1.1.2 O Ambiente de Contratação Livre

Como vimos, no Ambiente de Contratação Livre, são feitas negociações bilaterais entre agentes vendedores e consumidores livres. Diferentemente dos consumidores cativos do ACR, nesse ambiente, os consumidores têm poder de escolha dos seus fornecedores de energia elétrica, podendo negociar os termos do contrato com os agentes geradores e comercializadores.

Participam do ACL, segundo a Lei nº 9.074 de 1995,

- consumidores livres, que são aqueles com carga maior ou igual a 3.000 kW, atendidos em tensão maior ou igual a 69 kV. A lei previa também que, a partir de janeiro

de 2019, seriam atendidos consumidores com tensão menor que 69 kV, o que de fato ocorreu, conforme portaria 514/2018 do MME, que instituiu que, desde 1º de julho de 2019, consumidores livres seriam aqueles com demanda igual ou maior que 2.500 kW, em qualquer nível de tensão. E, a partir de 1º de janeiro de 2020, consumidores com demanda contratada de fonte convencional igual ou superior a 2000 kW poderão ter acesso ao mercado livre de energia;

- consumidores especiais, que são consumidores ou conjunto de consumidores, cuja carga, juntos, seja maior ou igual a 500 kW e que contratam energia provenientes de fontes solar, eólica e biomassa, cuja potência injetada nos sistemas de transmissão ou distribuição seja menor ou igual a 50.000 kW (BRASIL, 1995);

- qualquer concessionário, permissionário ou autorizado de energia elétrica do mesmo sistema interligado (BRASIL, 1995).

Em 2017, segundo a Empresa de Pesquisas Energéticas (BRASIL, 2018), como pode ser visto na Tabela 3, 76,1% do consumo livre de energia é feito no Sudoeste e no Sul combinados, seguido do Nordeste ,com 9,7%. Isso se deve principalmente à concentração de indústrias das regiões, o que nos leva a outro dado do anuário.

Tabela 3 - Consumo livre por região geográfica em GWh

	2013	2014	2015	2016	2017	Δ% (2017/2016)	Part. % (2017)
Brasil	126.403	120.660	115.842	124.457	147.204	18,3	100,0
Norte	10.296	10.841	11.124	12.197	13.877	13,8	9,4
Nordeste	15.133	12.664	10.794	11.464	14.232	24,1	9,7
Sudeste	79.301	75.410	72.644	75.627	85.517	13,1	58,1
Sul	16.510	16.625	15.975	19.535	26.473	35,5	18,0
Centro-Oeste	5.164	5.120	5.304	5.634	7.105	26,1	4,8

Fonte: EPE, 2018.

No mesmo ano, 86,8% do consumo livre de energia é atribuído à indústria. Naturalmente, essa grande parcela do consumo do ACL realizada pela indústria se dá pelo simples fato de que esse setor carece de muita carga por unidade consumidora. Cabe lembrar que as classes residencial e comercial somadas consomem 64,6% de toda a energia consumida no Brasil, enquanto a indústria consome 35,8%.

O primeiro modo de comércio dentro do ACL é, como foi dito, via comunicação direta entre os agentes, de forma que a remuneração, os prazos e as regras dos contratos

celebrados são estabelecidos via negociação. A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) é responsável pela comparação do consumo feito com a quantidade negociada no contrato. Essa diferença entre consumo e geração é liquidada no mercado de curto prazo, onde se dá a outra forma de comércio no ACL, também chamado de mercado *spot*. Nesse mercado, os preços são chamados de preço de liquidação das diferenças (PLD), que variam semanalmente entre o piso e o teto de preço estabelecido pela ANEEL. Assim, se o agente comprador gastar mais energia do que o estabelecido pelo contrato, ele deve pagar a diferença a preço de mercado de curto prazo. Do contrário, a energia que sobra, se houver consumo menor do que foi acordado, é liquidada a PLD (MAGALHÃES, 2009).

Um exemplo de como o modelo energético brasileiro depende de boas políticas ocorreu em 2012. O governo usou de vários artifícios para controlar os preços das tarifas para que ficassem 20% menores, mesmo em condições desfavoráveis, como o aumento de demanda de energia em época de altas temperaturas, gerando, assim, risco para o mercado. Uma das iniciativas do executivo com essa finalidade foi a Medida Provisória 579, que aproveitou da proximidade do encerramento de vários contratos de longo prazo dos agentes distribuidores para manobrar uma brecha de renovação de contrato por mais 30 anos e, na tentativa de garantir que as distribuidoras aderissem à renovação, cancelou um leilão A-1, ou seja, de fornecimento no ano seguinte, programado para o fim de 2012. Ao contrário das expectativas do governo, importantes distribuidoras da Eletrobras se recusaram a renovar o contrato nos termos estabelecidos e se submeteram aos preços altos – devido à baixa reserva de energia causada pelo aumento desproporcional do consumo em relação à oferta – de mercado de curto prazo (*spot*) para cumprir o fornecimento dos consumidores.

Esse movimento do governo causou um rombo nas contas das distribuidoras, que são obrigadas a garantir fornecimento de energia elétrica para a totalidade de seus clientes, com consequências negativas de médio e longo prazo (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2014).

1.1.3 Vantagens e desvantagens do sistema atual

Historicamente, o novo modelo fez a transição entre o que era no período ditatorial e o que passou a ser nos dias atuais. Entretanto, à medida que as necessidades do mercado foram mudando nos últimos anos, gargalos ficaram mais evidentes, e o sistema ficou mais carente de uma reestruturação. Pode-se evidenciar isso, por exemplo, no paradoxo que existe no sistema elétrico atual de buscar as vantagens de um mercado competitivo, mas se valendo de políticas públicas fortes para funcionar. Com a entrada de novos consumidores livres, o governo enfrenta agora um mercado diferente com expectativas distintas das que se viam no mercado de 2004. Além disso, com uma agenda de crescimento, o governo também encara demandas internas para a aceleração do desenvolvimento.

À luz do que foi mostrado até agora, pode-se enumerar as principais vantagens do modelo brasileiro de sistema de energia elétrica. O caráter altamente regulatório do sistema favorece, se for da agenda governamental, políticas positivas de universalização do acesso à energia elétrica e de incentivos a uma matriz com maior variedade de fontes renováveis. Nesse quesito, o Brasil, por ser um país de tamanho continental e, portanto, de imensa variedade de potencial energético, tem certa vantagem comparativa, e, se houver incentivos, pode ampliar não só os ganhos sociais, mas também os econômicos. É válido notar que, apesar de hoje o modelo ter certo poder de incentivar outras fontes, ele concentra sua força na garantia do funcionamento do sistema com a hidrelétrica como protagonista. É importante que o governo continue o processo já iniciado de ampliação de outras fontes e diversificação da matriz energética do país.

A rigorosidade regulatória consegue garantir uma organização e transparência difícil de se obter por outros meios. A existência de agentes participantes com funções bem delimitadas e processos bem definidos faz diminuir as chances de falha no sistema e fornece aos consumidores segurança energética. Outra vantagem da regulamentação é o amortecimento da variação de preços para os agentes participantes do sistema. E isso ocorre, entre outros aspectos, graças aos longos prazos de contrato que são garantidos pelo Estado. Por outro lado, as desvantagens são também atreladas à rigidez proporcionada pela forte burocracia do modelo. Os investimentos são reféns de políticas públicas para esse fim. Esse obstáculo pode impedir avanços tecnológicos, por exemplo, afastando as empresas da oportunidade de diminuição de custos.

O sistema blindado e complexo e a existência de um ACR dificultam o interesse da sociedade em geral de compreender o setor, afastando-a de uma comunicação eficaz entre agentes econômicos – comunicação que é vital para manutenção da qualidade dos serviços prestados.

Ainda no que se refere à rigidez, muitas entidades e agentes causam sobreposição de papéis que podem provocar divergência de informações, excesso de intervenções, resultando, assim, em insegurança jurídica nos agentes investidores e em intervalos de preço estabelecidos na ACR, que têm sido, nos últimos anos, excessivamente baixos para os custos de geração e transmissão. Vale também ressaltar a periodicidade da liquidação das operações do mercado *spot*, que ocorrem semanalmente, não acompanhando a velocidade de reação do mercado aberto. Estrategicamente, essa defasagem temporal dificulta o planejamento das empresas causando imprecisão nas contas. Quanto mais demorado é o ajuste de preços diante de alterações no mercado de energia, maiores as possibilidades de os agentes tomarem decisões com base num preço de desequilíbrio, o que pode prejudicar investimentos e gerar ineficiências. Nesse aspecto, a desvantagem foi notada e está em processo de mudança, e os preços do mercado *spot* devem passar a ser medidos em intervalos menores (a perspectiva é que, em 2020, já existam testes para que o modelo do PLD rode preços a cada hora, dando informações mais detalhadas e mais rápidas aos agentes do setor).

Note que o sucesso do modelo é atrelado a algumas condições vitais, e, ao longo dos anos, o setor não tem conseguido cumprir todas elas. Isso pode não ser necessariamente causado por eventuais incompetências (também não descartamos essa hipótese), mas pode ser um grande sinal de desgaste do sistema. Sinal de que o modelo já não está adequado ao que o setor necessita.

2 Propostas de reforma do setor elétrico

Em 2016, o governo de Michel Temer, diante da insatisfação com o governo de Dilma Rousseff e tendo recebido uma herança de grande déficit público, lançou o Programa de Parcerias de Investimentos (PPI), que visa à expansão das parcerias público-privadas na infraestrutura. No setor de energia elétrica, o PPI começou a atuar de forma a desestatizar algumas distribuidoras da Eletrobras consideradas de baixa eficiência e eficácia, tais como: Companhia Energética do Piauí (Cepisa), Companhia Energética de Alagoas (Ceal), Companhia de Eletricidade do Acre (Eletroacre), Centrais Elétricas de Rondônia S.A. (Ceron), Boa Vista Energia S.A. (Boa Vista), Amazonas Distribuidora de Energia S.A. (Amazonas Energia). As desestatizações pretendidas, então, têm a mesma lógica dos programas dos anos 1990: buscar na concorrência de mercado a modernização e a otimização dos serviços de energia elétrica. Em 2018, foram leiloadas todas as distribuidoras citadas, e, no fim de 2019, todos os controles acionários foram transferidos¹.

O PPI começou uma nova fase da liberalização da energia elétrica, visto que está pulverizando parte da empresa estatal mais importante do setor, que tem papel protagonista desde a ditadura: a Eletrobras. E isso, com certeza, aproxima a agenda do governo de uma possível expansão do mercado livre para todos os consumidores finais. Uma interpretação do governo do presidente eleito Jair Bolsonaro indica a continuação dessa tendência.

Existe um projeto de lei (BRASIL, 2015) assinado pelos Deputados Marcelo Squasoni, do Partido Republicano Brasileiro – São Paulo, e Antônio Carlos Mendes Thame, do Partido da Social Democracia Brasileira, também de São Paulo, que prevê, entre várias mudanças no setor, a portabilidade da conta de luz, ou seja, a transformação do consumidor cativo em consumidor livre. Em 2017, houve uma consulta pública realizada pelo MME em que as contribuições foram diversas, mas a maior parcela debate a melhor forma de implementar um regime de abertura do mercado de energia elétrica.

A empresa de capital aberto que é responsável por mais de 70% da distribuição de energia no estado do Espírito Santo, a EDP, participou ativamente da consulta pública nº 33/2017 do MME e levantou expectativas do mercado para o setor elétrico reformado, tais como: segurança de abastecimento, segurança jurídica, competitividade, visão

¹ Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – Eletrobras. Processo de Desestatização das Empresas de Distribuição. Disponível em: <http://eletrobras.com/pt/Paginas/Processo-de-Desestatizacao-das-Empresas-de-Distribuicao.aspx>.

de cliente e transformação progressiva e gradual (EDP, 2017). Afinal, de onde nasce a necessidade de uma reforma? Ela nasce do avanço do tempo, da tecnologia e da cultura. Olhando para a história do setor, políticas foram implementadas para tentar tornar as coisas melhores do que elas estavam, falhando ou não, pois esse era o objetivo. Portanto, os modelos foram válidos diante da realidade em que estavam inseridos, mas, naturalmente, à medida que a realidade se altera, uma reforma se torna necessária. A centralização dos serviços de energia surgiu da necessidade de garantir ordem e abastecimento em um momento de transformação e crescimento econômico. A centralização cumpriu muito do seu dever e, com o Sistema Interligado Nacional (SIN) consolidado, pouca modernização, eficiência decrescente, poderia se dizer que o papel do governo nesse momento é guiar o setor para o próximo nível, sobretudo nessa fase econômica em que uma infraestrutura forte é grande permissor de crescimento. A experiência mundial, que veremos logo mais, comprova que há muita tecnologia a ser implementada no Brasil e modelos de gestão muito mais satisfatórios dos que os usados no país. A defasagem tecnológica em relação ao mundo só tem aumentado desde os primeiros programas de desestatização. Para expor de forma mais concreta o porquê da reforma, podemos enumerar alguns dos gargalos que, se instaladas eficientemente mudanças necessárias, poderiam ser mitigados: obstáculos burocráticos de expansão da infraestrutura, subsídios desnecessários e mal alocados, escassez de transparência em alguns processos inclusive em mecanismos de escolha de fontes de geração (EDP, 2017).

Além do mais, o aumento da competição dentro do Brasil e em grande parte dos processos do setor (geração, comercialização e distribuição) pode aumentar o grau de competitividade do país no comércio exterior. Comunicação simplificada, eficácia das empresas, redução de custos e a amenização de monopólios tem em si capacidade de aumentar o grau de competitividade de todos os outros setores produtivos, uma vez que energia é insumo de todos.

2.1 Principais mudanças para os novos consumidores livres

Primeiramente, todos os consumidores seriam capazes de escolher seu fornecedor. Isso causaria para os novos consumidores livres uma mudança de costumes, já que antes sua responsabilidade era apenas de pagar a conta de luz e gerenciar a quantidade usada. Com a reforma, o consumidor passa a se inteirar mais

do processo de fornecimento de energia, ganhando a responsabilidade de escolher a origem da energia e a seleção dos termos de contratação. Dessa maneira, o método e o prazo da abertura econômica são juntos, provavelmente, os maiores pontos de preocupação do debate, uma vez que a adaptação do público e dos agentes vendedores é chave para que o novo sistema de contratação funcione com as vantagens pretendidas. Na PL nº 1.917/2015, a proposta é de uma mudança progressiva no prazo de cinco anos. As opiniões se dividem em relação a esse prazo, que, para uns, parece ser muito curto e, para outros, muito longo. Com prazos muito curtos, haveria dificuldades de adaptação tanto para consumidores de baixa tensão, quanto para os de alta tensão. Vale mencionar que, em regra, os consumidores de alta tensão já conhecem o ACL, mas a expansão do mercado potencialmente alterará preços e, portanto, mudará também a realidade desses consumidores. E ainda, o prazo não pode ser demasiado longo, dado que os sinais de desgaste do modelo se arrastam por alguns anos, o que imprime certa urgência às alterações.

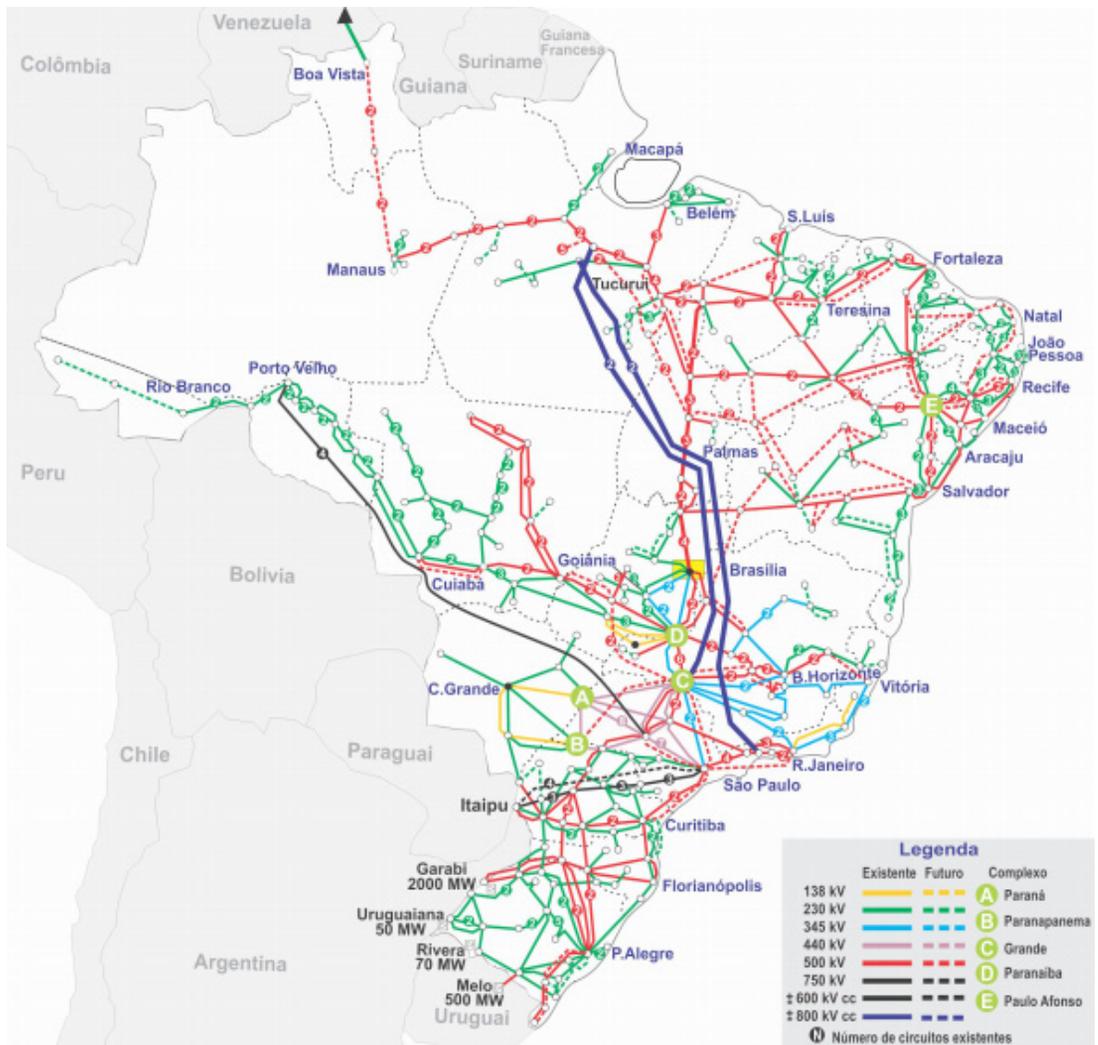
Outro receio apresentado na consulta pública nº 21, de 2016, do MME seria o aumento do número de contratos com que a CCEE teria que lidar, em razão do surgimento de tantos novos consumidores livres após a expansão do ACL, podendo causar um excesso de trabalho e, conseqüentemente, algum grau de ineficiência. A Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia – Abraceel (2016), em sua contribuição à consulta pública, afirma que a melhor forma de tratar os consumidores de baixa tensão, que formariam a maior parcela dos novos consumidores livres, seria via comércio varejista, protegendo os consumidores dos riscos e da volatilidade de preços.

A expansão não altera a qualidade da energia que é entregue. As mudanças seriam vistas na qualidade de comunicação e trato entre o comércio e o consumidor. Esse aspecto da energia como produto comercializável é um tanto abstrato para os consumidores, que precisam perceber o SIN e saber que a energia contratada do Nordeste, por exemplo, necessariamente não vai sair de lá. Esse é um aprendizado que serve para o público em geral, como já dito (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS COMERCIALIZADORES DE ENERGIA, 2016).

Entende-se que existem muitas outras variáveis que não foram aprofundadas aqui, mas que são pertinentes para uma conclusão mais concisa sobre este trabalho. Discorre-se sobre elas a seguir.

Apesar de todos os pontos positivos apresentados, ainda existem dúvidas se o Brasil tem uma base boa para receber esse novo sistema de energia elétrica idealizado. A Abraceel (2016) argumenta que houve um amadurecimento regulatório no setor ao longo dos anos e que essa base é suficiente para dar início a uma agenda futura de mudanças. Se analisarmos e compararmos o caso de outros países, o modelo livre é tentador, mas considerando a tenra idade das nossas instituições (Constituição de 1988) e do modelo atual do setor (início em 2004), juntamente com a extensão do fornecimento de energia do Brasil (vide Figura 2), talvez ainda haja o que melhorar antes de iniciar um modelo de total imersão do público no setor. Tudo isso sem se aprofun-

Figura 2 - Mapa do sistema de transmissão de energia elétrica brasileiro



Fonte: ONS, 2019.

dar na ainda instável conjuntura política, que interfere em uma instalação saudável de um novo modelo energético.

A campanha “Quero energia livre”, feita pela Abraceel, dispõe de pesquisas de interesse do público em escolher seu fornecedor. Nessa pesquisa, a grande maioria manifesta seu interesse em participar do mercado livre – 73%, segundo a Abraceel (2016). Mas a navegação do site da campanha é bastante tendenciosa já que só expõe o benefício da diminuição de preços para o consumidor final. Além disso, não é claro se o público geral tem noção de que a ampliação do mercado livre também é passível de grandes falhas. Apesar de existirem cartilhas explicativas na internet, é necessário um alcance maior, principalmente nas mídias sociais. Reafirmando, é interessante ampliar ainda mais o conhecimento do público sobre a iniciativa não apenas para que o projeto ganhe força, mas também para garantir o sucesso de sua implementação.

Outros estudos trazem à luz o aumento de eficiência da experiência da privatização de mercados como os de telefonia e internet, não só no Brasil, mas em outros países. De fato, os preços diminuíram, e o serviço teve aumentos muito significantes de qualidade, mas esses mercados são os que mais constituem alvo de reclamações dos consumidores. Então, o que esperar da privatização das distribuidoras e de um grande mercado livre de energia?

Outra preocupação relacionada ao fato de tirar os consumidores cativos da “proteção” governamental é a seleção adversa que pode surgir na venda, pondo em risco a segurança energética. A Abraceel sugere que os distribuidores locais forneçam energia nos casos extremos da seleção energética, sendo pagos para tal, ou seja, sugere a criação de um agente apenas para garantir que todos os consumidores sejam atendidos. Essa abordagem traz consigo outro problema. Esse novo agente poderia proteger inadimplentes, o que pede maior rigorosidade dos contratos para esses casos.

Outro ponto de discussão sobre a forma como será implantado o novo sistema de comercialização de energia elétrica está relacionado à migração – se deveria ser compulsória ou opcional. É de consenso entre a comunidade que participou das consultas públicas que ela deve ser gradual e progressiva. Então, faria mais sentido dar a opção aos consumidores em um primeiro momento. Dessa forma, não apenas haveria um período de adaptação para os consumidores como também para as distribuidoras, que teriam que começar a se preocupar em buscar novas contratações.

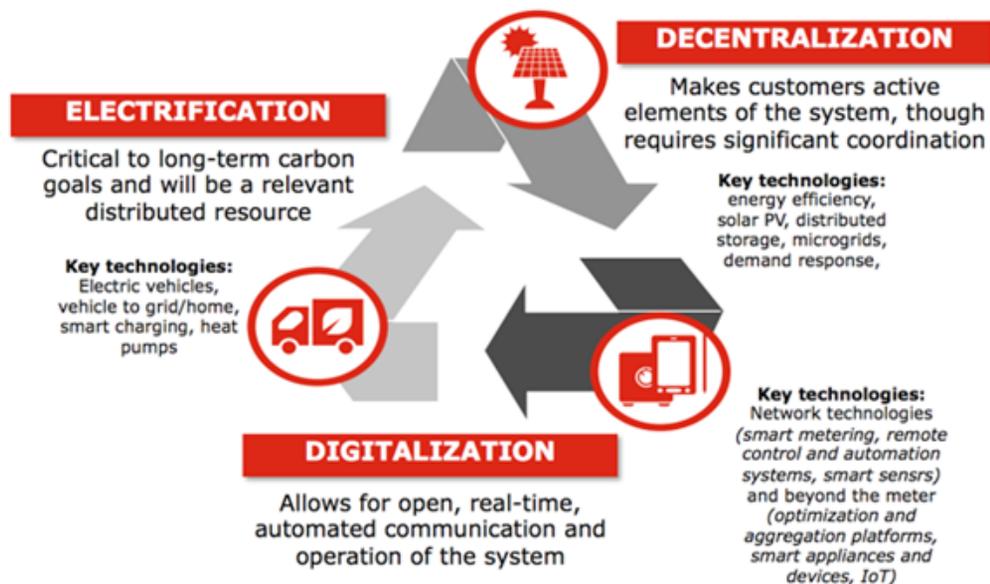
Considerações finais

Pode-se concluir que, como esperado, existem hoje muitos mecanismos que protegem o setor energético de falhas que aconteceram no passado (o lastro de venda está para o apagão, assim como o número mínimo de leilões em um ano está para a MP 579, por exemplo), sendo a própria centralização um mecanismo encontrado pelo governo para evitar falta de fornecimento de energia principalmente para a indústria crescente na época. A história nos ensina muita coisa e nos ajuda a prevenir inúmeras adversidades, mas é preciso também relacionar medidas modernas a crescimento. Só dá para crescer até certo ponto com os recursos disponíveis e quando a estagnação é alcançada. Talvez isso seja um sinal de que um método de gestão mais avançado seja necessário, não só para a indústria, como ocorreu no século XX, mas também para usos menores, como os residenciais e em pequenos e médios negócios. Nunca é demais repetir que a energia elétrica é um insumo fundamental, tão importante quanto educação, saúde, transporte, entre outros. Há quem questione as privatizações (Ribeiro Jr., 2011, por exemplo), mas é importante lembrar que, no Brasil, o papel do governo é de proteção da nação, sempre almejando o melhor que se pode retribuir à população, mesmo que isso implique descentralizar algumas tarefas, visando a melhores produtos/resultados.

A abertura dos mercados de energia (elétrica e gás) é uma tendência na maioria dos países desenvolvidos e nos principais mercados emergentes, sendo uma das diretrizes recomendadas para o setor de energia pelo World Economic Forum (WEF), evento realizado em 2015 (WEF, 2015). Em 2018, Castilla-Rubio e Saraiva (2018) escreveram um texto discorrendo sobre o potencial energético da América Latina, principalmente do Brasil, e sobre como uma era de digitalização pede um modelo de gestão mais descentralizado. Ressaltam, ainda, que uma rápida digitalização pede *startups*, valorizando a importância desse tipo de investimento (ver Figura 3)².

To unleash an electricity 2.0 grid edge transformation in Brazil, the time is ripe to convene a multi-stakeholder platform in partnership with the World Economic Forum, that includes all segments of the industry, policymakers, regulators, customers, academia and civil society in Brazil, to ensure that the transformation maximises societal value and minimises downside risks³ (CASTILLA-RUBIO; SARAIVA, 2018).

Figura 3 - Mapa do sistema de transmissão de energia elétrica brasileiro



Fonte: ONS, 2019.

Inovações tecnológicas recentes e outras tecnologias cujos custos têm-se reduzido drasticamente (painéis solares, tecnologias de acompanhamento ao vivo do que está acontecendo com a rede – *smart grids*) vêm mudando a lógica do setor elétrico e ampliam o poder de decisão do consumidor de energia, que vem deixando de ser um elo passivo da cadeia. O mercado livre de energia é uma ferramenta essencial para promover a concorrência, eficiência e inovação tecnológica. Nesse contexto, os consumidores passam a ter mais informações sobre os custos econômicos e ambientais da energia elétrica e a exigir melhor qualidade dos serviços prestados, qualidade que deve ser compatível não apenas com os valores das tarifas cobradas, mas também com o estágio tecnológico atual (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS COMERCIALIZADORES DE ENERGIA, 2016).

Embora não haja consenso a respeito do caminho exato que a reforma do setor elétrico deva tomar, é bem difundida a percepção de que ela é necessária. Se, ao contrário, o Estado optar por manter o modelo atual, os consumidores cativos continuarão a lidar com preços resultantes de decisões tomadas por outros agentes do mercado, mantendo a sua passividade diante de um processo decisório tão relevante. Ademais, o consumidor cativo perderá a oportunidade de uma potencial melhoria na sua qualidade de

2 Tradução livre: Descentralização: faz os consumidores serem elementos ativos do sistema, ainda que requiera uma coordenação significativa. Tecnologias-chave: eficiência de energia, tecnologia fotovoltaica, reserva distribuída, microrrede, resposta da demanda. Digitalização: possibilita comunicação e operação de sistema aberta, ao vivo e automática. Tecnologias-chave: tecnologias de network (medição inteligente, controle remoto e sistemas de automação, sensores inteligentes) e além do medidor (otimização e agregação de plataformas, aparelhagem inteligente, Internet das coisas). Eletrificação: crítico para metas de carbono de longo prazo e será um recurso distribuído relevante. Tecnologias-chave: veículos elétricos, veículo para rede/casa, carregamento inteligente, bomba de calor.

3 Tradução livre: para lançar uma transformação de ponta 2.0 na rede de eletricidade, no Brasil, é hora de convocar uma plataforma multi-stakeholder em parceria como Fórum Econômico Mundial que inclua todos os seguimentos da indústria, políticos, reguladores, consumidores, academia e sociedade civil no Brasil, para garantir que a transformação maximize o valor social e minimize os riscos.

vida e bem-estar, uma vez que não poderá escolher seu fornecedor e o tipo de serviço e fonte energética que deseja e julgue mais adequados aos seus padrões de consumo. A longo prazo, se o setor não se desenvolver e evoluir, o *gap* tecnológico e estrutural em relação a outros mercados só vai crescer e tornar ainda mais difícil e lenta uma reforma futura. Esse tipo de situação pode comprometer a segurança energética, a modicidade de preços, a segurança jurídica e, mais grave, a estabilidade política do país, que já se encontra deveras sensível.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – Aneel. **Como é composta a tarifa**. Publicado em 4 fev. 2016, última modificação 8 fev. 2017. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/conteudo-educativo/-/asset_publisher/vE6ahPFxsWHt/content/composicao-da-tarifa/654800. Acesso em: 11 nov. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS COMERCIALIZADORES DE ENERGIA – Abraceel. **Contribuição da Abraceel à Consulta Pública nº 021/2016 do Ministério de Minas e Energia**. Brasília, DF, 3 de dezembro, p. 1-41.

BRASIL. **Decreto nº 24.643**, de 10 de julho de 1934. Decreta o Código de Águas. Rio de Janeiro: CLBR, 1934. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D24643.htm. Acesso em: 11 nov. 2019.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: 5 de outubro de 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 11 nov. 2019.

BRASIL. Lei nº 8.031, de 12 de abril de 1990. Cria o Programa Nacional de Desestatização, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF: 1990. REVOGADA. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L8031.htm. Acesso em: 11 nov. 2019.

BRASIL. Lei nº 8.631, de 4 de março de 1993. Dispõe sobre a fixação dos níveis das tarifas para o serviço público de energia elétrica, extingue o regime de remuneração garantida e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF: 1993. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L8631.htm. Acesso em: 11 nov. 2019.

BRASIL. Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995. Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF: 1995. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9074cons.htm. Acesso em: 11 nov. 2019.

BRASIL. Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF: 1996. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9427cons.htm. Acesso em: 11 nov. 2019.

BRASIL. Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF: 1997b. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9478.htm. Acesso em: 11 nov. 2019.

BRASIL. **Decreto nº 2.335**, de 6 de outubro de 1997. Constitui a Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel, autarquia sob regime especial, aprova sua Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão e Funções de Confiança e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 1997a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D2335.htm. Acesso em: 11 nov. 2019.

BRASIL. Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998. Altera dispositivos das Leis no 3.890-A, de 25 de abril de 1961, nº 8.666, de 21 de junho de 1993, nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, nº 9.074, de 7 de julho de 1995, nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e autoriza o Poder Executivo a promover a reestruturação da Centrais Elétricas Brasileiras - Eletrobras e de suas subsidiárias e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF: 1998. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9648cons.htm. Acesso em: 11 nov. 2019.

BRASIL. **Decreto nº 5.163**, de 30 de julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF: 2004a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5163.htm. Acesso em: 11 nov. 2019.

BRASIL. Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nº 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF: 2004b. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.848.htm. Acesso em: 11 nov. 2019.

BRASIL. **Projeto de lei nº 1.917 de 2015**. Dispõe sobre a portabilidade da conta de luz, as concessões de geração de energia elétrica e a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nº 12.783, de 11 de janeiro de 2013, 10.848, de 15 de março de 2004, 10.847, de 15 de março de 2004, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, a Medida Provisória n. 2.227, de 4 de setembro de 2001, e dá outras providências. Câmara dos Deputados, Brasília, DF: 2015. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=1307190>. Acesso em: 11 nov. 2019.

BRASIL. **Projeto de Lei do Senado nº 232, de 2016**. Dispõe sobre o modelo comercial do setor elétrico, a portabilidade da conta de luz e as concessões de geração de energia elétrica, altera as Leis nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 10.847, de 15 de março de 2004, 10.848, de 15 de março de 2004, e 12.783, de 11 de janeiro de 2013, e a Medida Provisória nº 2.227, de 4 de setembro de 2001, e dá outras providências. Senado Federal, Brasília, DF:, 2016. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/126049>. Acesso em: 11 nov. 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia – MME. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Balço energético nacional 2018 – ano base 2017**. Rio de Janeiro: MME, 2018. Disponível em: http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018_Int.pdf. Acesso em: 11 nov. 2019.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. – Eletrobras. **Processo de desestatização das empresas de distribuição**. [2019]. Disponível em: <http://eletrobras.com/pt/Paginas/Processo-de-Desestatizacao-das-Empresas-de-Distribuicao.aspx>. Acesso em: 11 nov. 2019.

CNI – Confederação Nacional da Indústria (2014). **Setor elétrico: uma agenda para garantir o suprimento e reduzir o custo de energia**. Propostas da Indústria Eleições 2014, Brasília, DF.

COOPERS & LYBRAND (1997). **Projeto de reestruturação do setor elétrico brasileiro**. Executive Summary of the Consolidated Report for Stage IV of the Consultancy Advisory for the Minister of Mines and Energy, Brazilian Government, June.

EDP. **Contribuição à Consulta Pública MME nº 33/2017: visão da EDP para a reforma do setor elétrico brasileiro**. Brasília, DF: EDP, 2017. Disponível em: <http://ri.edp.com.br/ptb/7510/Nota%200.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2019.

GOLDENBERG, J.; PRADO, L. T. S. **Reforma e crise do setor elétrico no período FHC**. Tempo social, v. 15, n. 2, p. 219-235, 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-20702003000200009>

INSTITUTO ACENDE BRASIL. **Leilões no setor elétrico brasileiro: análises e recomendações**. White Paper, 7, São Paulo, 2012. 52 p. Disponível em: http://www.acendebrasil.com.br/media/estudos/2012_WhitePaperAcendeBrasil_07_Leiloes_Rev2.pdf. Acesso em: 11 nov. 2019.

LIMA JUNIOR, Sérgio Antunes. **A energia elétrica no Brasil e a inevitável abertura do setor: a experiência francesa/europeia e legislação aplicável**. Lexington: Amazon, 2017. v. 1. 113p. E-book.

MAGALHÃES, Gersa de Souza Cortes. **Comercialização de energia elétrica no ambiente de contratação livre: Uma análise regulatório-institucional a partir dos contratos de compra e venda de energia elétrica**. 2009. Dissertação (Mestrado em Energia) - Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. DOI:10.11606/D.86.2009.tde-09062011-152105. Acesso em: 2019-11-24.

MERCEDES, S. S. P.; RICO, J. A. P.; POZZO, L. Y. **Uma revisão histórica do planejamento do setor elétrico brasileiro**. Revista USP, n. 104, p. 13-36, 2015. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v01104p13-36>

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Sistema de Transmissão – setembro/2019**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>. Acesso em: 21 nov. 2019.

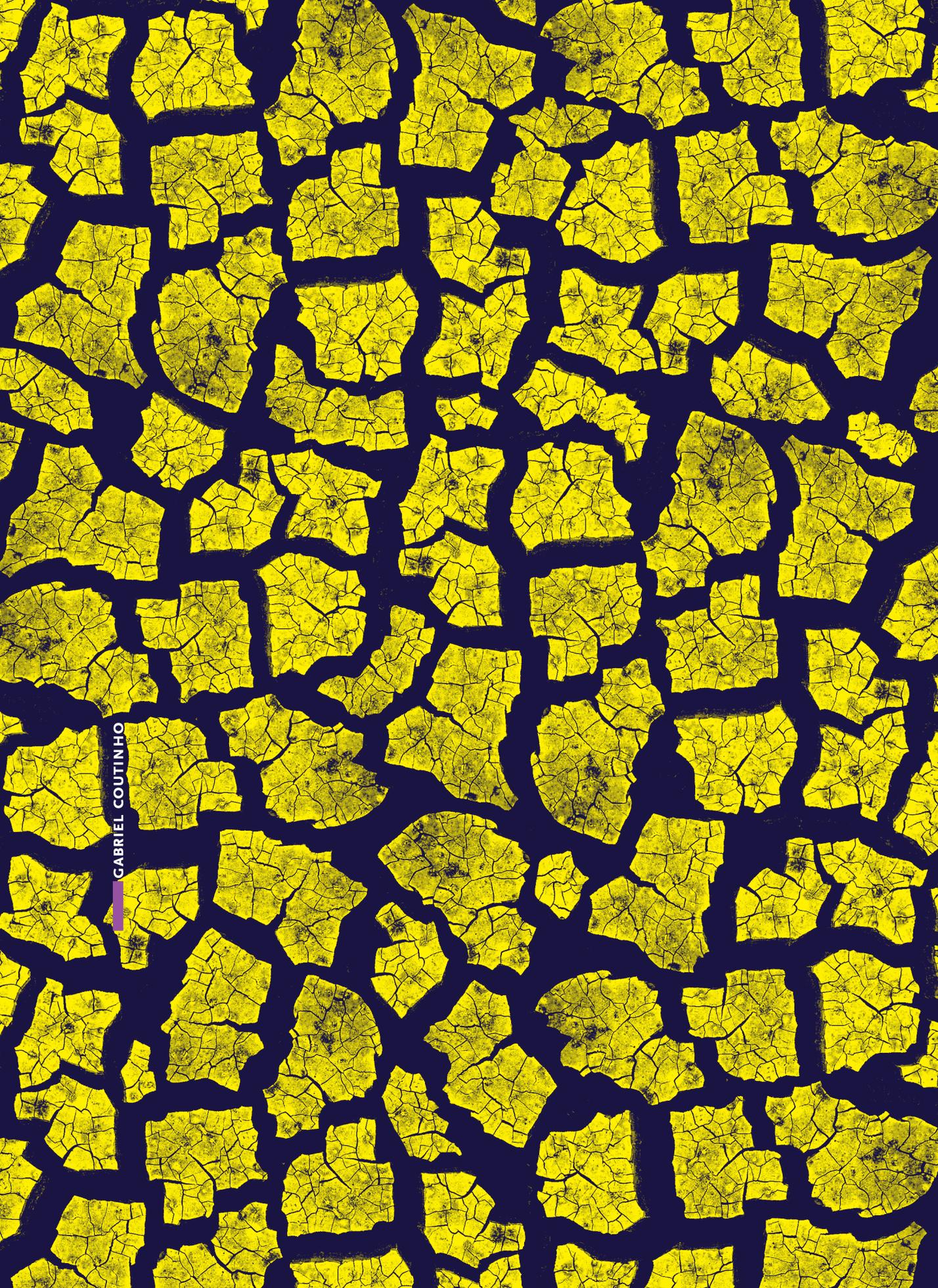
PINTO JUNIOR, Helder Queiroz; ALMEIDA, Edmar Fagundes; BOMTEMPO, José Vitor; IOOTTY, Mariana e BICALHO, Ronaldo Goulart (2016). **Economia da Energia: fundamentos econômicos, evolução histórica e organização industrial**. 2. ed., Elsevier.

RIBEIRO JUNIOR, Amaury. **A privatária Tucana**. São Paulo: Geração Editorial, 2011.

WALVIS, Alida; GONÇALVES, Edson Daniel Lopes (2016). **Avaliação das reformas recentes no setor elétrico brasileiro e sua relação com o desenvolvimento do mercado livre de energia**. FGV-CERI, 63p.

CASTILLA-RUBIO, J. C. SARAIVA, J. **Here's how to unleash Brazil's energy Revolution**. In: World Economic Forum on Latin America, 2018. São Paulo: World Economic Forum, 2018. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2018/03/here-s-how-to-unleash-brazil-s-energy-revolution/>. Acesso em: 11 nov. 2019.

WORLD ECONOMIC FORUM – WEF. **Energy reform in major emerging economies: new models for sustained growth: building long-term resilience**. Disponível em: <http://reports.weforum.org/global-energy-architecture-performance-index-report-2015/energy-reform-in-major-emerging-economies-new-models-for-sustained-growth/building-long-term-resilience/>. Acesso em: 24 nov. 2019.



GABRIEL COUTINHO

GÁS DE XISTO NO BRASIL E NO MUNDO:

perspectivas e paradoxos do desenvolvimento energético

PEDRO HENRIQUE MOREIRA DA SILVA*

RESUMO Esta pesquisa apresenta o gás de xisto como um recurso responsável por promover uma revolução energética no cenário global. Para tanto, buscou-se suscitar panoramas gerais acerca do Direito de Energia e do gás não convencional, estabelecendo características técnicas relacionadas à atividade de exploração. A partir daí, foram delimitados os cenários das “revoluções do xisto”, sobretudo nos Estados Unidos da América e na China, que recorrem ao gás como forma de satisfação do princípio da eficiência da emancipação energética. Ultrapassando as questões geopolíticas, o estudo preocupou-se também em apresentar os impactos ambientais que a exploração de gás não convencional pode causar. Por fim, recorrendo ao método hipotético-dedutivo e à pesquisa bibliográfica, o trabalho se propõe a questionar se a revolução energética por *shale gas* é compatível com os paradigmas da sustentabilidade e da dignidade da pessoa humana e quais seriam os caminhos para solução do entrave que se delineia em escala global.

PALAVRAS-CHAVE Gás de Xisto. Energia. Desenvolvimento Sustentável.

SHALE GAS IN BRAZIL AND IN THE WORLD:

perspectives and paradoxes of energy development

ABSTRACT This research intends to present shale gas as a resource responsible for promoting an energy revolution on the global stage. In order to do so, we sought to raise general views on the Right to Energy and non-conventional gas - establishing technical characteristics related to the exploration activity. From then on, the scenarios of the “shale revolutions”, especially in the United States of America and China, have been delineated - using gas as a means of satisfying the principle of the efficiency of energy emancipation. Overcoming geopolitical issues, the study has also been concerned with presenting the environmental impacts that unconventional gas exploration can cause. Finally, using the hypothetical-deductive method and the bibliographical research, the paper proposes to question whether the energy revolution by shale gas is compatible with the paradigms of sustainability and the dignity of the human person - and which are the ways to solve the obstacle that is outlined on a global scale.

KEYWORDS Shale gas. Energy. Sustainable development.

* Mestre em Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável e Bacharel em Direito pela Escola Superior Dom Helder Câmara (ESDHC) - pedroadvdireito@gmail.com

Introdução

O gás de xisto é um recurso fóssil não convencional que, nos últimos anos, tem-se mostrado como alternativa ao petróleo e ao carvão. Em razão de atender ao princípio da eficiência e de representar uma alternativa para a segurança e emancipação energética, popularizou-se no mundo, sobretudo nos Estados Unidos e na China – países que viram no gás não convencional uma oportunidade para manutenção do status hegemônico.

Não obstante, importa destacar que a extração e utilização do gás de xisto pode acarretar inúmeros impactos ambientais, como intensificação de abalos sísmicos e poluição hídrica e atmosférica, ao mesmo tempo que contribui para as metas de redução de emissões de gás carbônico. Isso chega a constituir um paradoxo do recurso energético.

Diante dessa realidade, este estudo questiona se a consolidação da exploração do gás de xisto contribui para a satisfação dos princípios do Direito de energia e dos paradigmas da sustentabilidade. E mais, trata de indicar possíveis caminhos para superação dos entraves já atuais, relacionados sobretudo a mazelas ecológicas.

Para a satisfação do que se pretende, foi utilizado o método hipotético-dedutivo e pesquisa bibliográfica, com a caracterização dos aspectos técnicos e geopolíticos que dizem respeito à questão e formulação de hipóteses relacionadas aos desafios de um desenvolvimento energético advindo de fontes não convencionais. Assim, justifica-se a pesquisa pela viabilização da reflexão acerca dos panoramas, perspectivas e paradoxos da seara energética, que é condição da dignidade humana.

1 Energia e princípios do direito de energia

A energia é medida e requisito para o desenvolvimento dos países, por viabilizar as atividades humanas e o avanço tecnológico. Diz-se, portanto, que a energia é medida de viabilização da própria vida e, portanto, um direito humano, uma vez que, sem oferta energética, não há que se falar na própria dignidade das pessoas.

Tendo em vista essa perspectiva, o Direito – em encontro com as tecnologias – importou-se em estabelecer um rol de princípios básicos, fundando o que se conhece por Direito da Energia. Com base nisso, são estabelecidos preceitos básicos acerca do desenvolvimento energético, como forma de garantir a harmonia dos processos e a dignidade humana. Assim, como forma de introduzir a temática que se pretende discutir, caberá a este estudo apresentar sucintamente os referidos princípios:

a) Princípio da segurança no abastecimento energético: trata-se da abertura ecológica do direito. Assim, busca-se o planejamento das decisões da política energética como forma de tecer uma cadeia de responsabilidades em longo prazo, cujo fim é a sustentabilidade. “As decisões da sociedade a respeito da energia devem levar em consideração o longo prazo, a solidez do desenvolvimento, os vínculos com o futuro” (SIMIONI, 2011).

b) Princípio da eficiência energética: trata-se de garantir a potência energética, mas vai além, pois o entendimento básico é o de que não deve ocorrer o desperdício de energia, ou seja, energias eficientes são aquelas de descarte potencial reduzido. Diz-se eficiente aquela energia que cumpre o que se espera, sem se perder em impactos e outros modos (SILVA, 2009).

c) Princípio do não retrocesso na utilização de tecnologias: diz respeito à impossibilidade de uma tecnologia mais eficiente ser substituída por outra menos eficiente. Esse princípio faz a ligação comunicativa entre o Direito e a ciência, na medida em que é a própria ciência que determinará se há retrocessos. Ademais, consolida-se pelo incentivo a energias mais eficientes e pela construção de barreiras a tecnologias obsoletas (SIMIONI, 2011).

d) Princípio do acesso universal à rede de distribuição de energia: esse princípio é a materialização da relação entre energia e Direitos Humanos, na medida em que se torna necessário para efetivar a igualdade e a liberdade, já que a energia é requisito do desenvolvimento, seja pelo aquecimento, comunicação ou mobilidade. O acesso universal é, portanto, medida para inclusão social (COSTA, 2009).

e) Princípio da liberdade energética: princípio que diz respeito à liberdade do consumidor de escolher seu fornecedor. Relaciona-se, assim, ao princípio da universalidade. Torna, pois, possível a descentralização do sistema de distribuição de energia, dificultando a criação de monopólios e ditaduras no fornecimento (SIMIONI, 2011).

É nesse contexto, e aliado ao paradigma da sustentabilidade, que a energia e o Direito da Energia têm sofrido inúmeras mudanças. Isso porque as demandas são constantemente alteradas e devem evoluir no quesito da ciência. Ora, se outrora a queima do carvão era fonte satisfatória para abastecimento das populações, hoje seus impactos já se mostram incompatíveis com o modelo do desenvolvimento sustentável.

Novas alternativas são buscadas e novas tecnologias, desenvolvidas. O próprio petróleo – recurso finito e responsável por inúmeras crises mundiais – tende a ser substituído. Assim, fontes não convencionais de energia se transformam em apostas, seja por representarem facilidades no caminho da sustentabilidade, seja por contribuírem para a satisfação dos princípios supracitados.

É diante dessa realidade que as discussões acerca do gás de xisto constituem o foco desta pesquisa. O recurso fóssil não tradicional já é uma alternativa mais eficiente e menos poluente que o carvão e o petróleo e, a exemplo do que se nota nos Estados Unidos e na China, pode ser responsável por uma revolução e emancipação energética, conforme verificar-se-á a seguir.

2 Panoramas gerais acerca do gás de xisto

Shale – ou xisto – é uma palavra de origem inglesa que se refere a uma rocha de caráter argiloso e áspero. Sua utilização no francês, conforme leciona Pierre Thomas (2011), possibilita concluir que a palavra se refere a uma rocha que desenvolveu xistosidade em razão de pressões tectônicas. Construções geológicas podem conter gás em seus poros, que serão considerados recursos convencionais ou não convencionais, a depender de sua formação e situação na natureza (BICO, 2014).

O gás natural convencional – ou tradicional – é formado, em síntese, por metano, em razão da degradação de matéria orgânica sedimentada nas rochas-matriz. Essa decomposição pode ser bacteriana ou química, fator que influenciará nos aspectos do recurso mineral (THOMAS, 2011). Nesse primeiro caso, a porosidade das rochas – em totalidade, não xistosas – possibilita que o gás migre verticalmente, podendo alcançar a superfície ou formar poços, em razão do bloqueio geológico por rochas menos permeáveis (THOMAS, 2011).

Com relação ao gás natural não convencional, formar-se-á em rochas que adquiriram xistosidade tectônica, o que as torna pouco porosas, de forma que o metano fica represado no interior do material geológico, tornando as rochas de xisto ricas em gás (THOMAS, 2011). Essas rochas – *os shales* – têm grãos finos e ricos em matéria orgânica depositada por milhares de anos. Em razão disso, o fluxo de gás em seu interior é dificultado ou impedido, dando origem ao recurso que se pretende analisar (BICO, 2014).

Impera ressaltar que essas rochas não se tornam ricas em metano puro. Ao contrário, a depender das características geológicas da região em que são formados, poderão ser ricos em outros hidrocarbonetos e em sulfeto de hidrogênio (STAMFORD, AZAPAGIC, 2014). Essa composição afetará diretamente as características do recurso, sobretudo no que diz respeito à sua eficiência e aos potenciais impactos.

O gás não convencional, em que pesem suas diferenças com o gás tradicional, deve ser extraído por meio das técnicas de perfuração horizontal e *fracking*. A primeira consiste em promover a perfuração vertical profunda o suficiente para alcançar os reservatórios de rocha com xistosidade e, a partir daí, promover a perfuração horizontal, cujo objetivo é aumentar a superfície de contato com a área (BOUDET, 2014). Feito isso, promove-se a injeção de líquido sob alta pressão, com promoção do *fracking*, isto é, o microfraturamento da rocha, que possibilita que o gás escape. Essa técnica foi desenvolvida em 1940, nos Estados Unidos da América e popularizada duas décadas depois na Europa, hoje se tratando de um importante processo para extração do recurso (BICO, 2014).

A composição do líquido para o fraturamento hidráulico é incerta, em razão do segredo industrial. Não obstante, sabe-se que são indispensáveis para o processo os agentes de gelificação, redutores de atrito, *crosslinkers*, inibidores de quebra, ajustadores de pH, biocidas, inibidores de corrosão e de incrustação, controladores de ferro, estabilizadores de argila e surfactantes (PEREIRA, 2016).

Além disso, a mistura líquida é composta de areia, de forma que, quando a água exerce pressão para promover as fraturas, são alocados os grãos nas fissuras, que se mantêm abertas. Dessa maneira, é importante que a seleção do material utilizado seja de qualidade e se caracterizem pelo refino, de forma a conferir à rocha permeabilidade (BICO, 2014).

Em média, o processo de instalação da base de extração de gás não convencional, ou gás de xisto, não ultrapassa dez semanas, e o processo de perfuração e faturamento

leva em torno de cinco dias. Assim, o esforço para montagem da estrutura de exploração é atrativo, sobretudo se forem consideradas as estimativas de rendimento de poço por até 40 anos (BICO, 2014).

Quando o poço se torna obsoleto, promove-se o bombeamento de cimento dentro das perfurações, como forma de entupir o acesso ao subsolo. Em alguns países, como o Reino Unido, esse processo é complementado pela promoção da recuperação das áreas próximas aos poços, de forma que a orfandade das estruturas obedeça ao princípio ambiental da precaução. Na incerteza científica de possíveis danos, há que se garantir a estabilidade do ambiente (DAVIES et al., 2014).

A retrospectiva histórica acerca da utilização do gás natural na humanidade remonta à Pérsia dos anos 6.000 anteriores à era cristã. Naquele contexto, a utilização do recurso era exclusiva para a prática de cultos e manutenção dos rituais místicos – quiçá pela possibilidade de produção de fogo, o que bastaria para conferir um entendimento pautado na concepção de um bem superior às realidades humanas (BICO, 2014).

Cerca de 1.500 anos depois, o gás natural seria utilizado pela primeira vez na China, sendo transportado por meio de bambus emendados com betume, o que viabilizava seu transporte até os centros urbanos ainda primitivos (BICO, 2014). Isso possibilita considerar que a questão do desenvolvimento energético está intimamente atrelada à pauta da tecnologia, na medida em que o avanço e aperfeiçoamento dos maquinários viabilizam novas perspectivas para a utilização da energia.

Na Europa, a popularização do gás natural dar-se-ia no fim do século XVII, em razão da criação da lâmpada a gás, que utilizava o carvão para geração de luz. Não obstante, a utilização do gás de xisto, com extração por meio de perfuração horizontal, só ocorreria a partir de 1970 – em uma revolução energética que fortaleceria os panoramas acerca da segurança e independência energética (BICO, 2014).

3 *Revolução Energética*

3.1 *Revolução do xisto nos Estados Unidos da América*

Os Estados Unidos da América, maior consumidor de energia do mundo, encontrou no gás não convencional o caminho para promover a independência energética, sobretudo se forem considerados os efeitos das crises do petróleo para a economia do país. Essa realidade foi responsável pelo fato de os EUA terem desencadeado a conhecida “Revolução do xisto”, isto é, o rápido e considerável desenvolvimento de técnicas para exploração e utilização do gás não convencional, que assume maior importância que o gás tradicional (AGUIAR, 2015).

Somado ao interesse da independência energética, outros fatores foram determinantes para a potente investida no setor, entre os quais se destacam “a viabilidade econômica, infraestruturas, políticas de incentivo para exploração, ambiente propício e o emprego de tecnologias avançadas.” (SOUZA et al., 2016). Ademais, é de se ressaltar que o gás não convencional calhou como importante recurso para o alcance das metas de redução de emissão de gases do efeito estufa, tendo em vista que seus índices são inferiores à queima do petróleo, por exemplo (ARAÚJO et al., 2014).

Atualmente, as maiores reservas de gás se encontram em Barnett, Fayetteville, Haynesville, Marcellus, Woodford e Eagle Ford. Em nível regional, 48 estados contam com reservas, recebendo apoio do Estado americano no que tange ao desenvolvimento de tecnologias, pesquisa, incentivos fiscais e celebração de parcerias com empresas do setor privado, como é o caso da Shell (BICO, 2014).

Ainda importa suscitar que as bacias de gás de xisto estão descentralizadas pelo território estadunidense, guardando suas respectivas particularidades no processo de extração do recurso. Assim, pode-se dizer que as técnicas utilizadas pelos EUA não são garantia para o sucesso na exploração de gás não convencional em outras partes do mundo. Ademais, a própria necessidade de emancipação energética para manutenção do status como potência hegemônica faz a “Revolução estadunidense do xisto” ser uma experiência única. “O desenvolvimento da produção de *shale gas* em outros países vai depender de como esses países veem suas necessidades ambientais e de segurança energética e de como seus governos criarão políticas de incentivo” (BICO, 2014).

3.2 Desenvolvimento energético por gás de xisto na China

A exemplo dos caminhos de busca por independência energética notados nos Estados Unidos da América, a China tem-se consolidado como investidora na exploração de gás de xisto, como forma de enrobustecer seus potenciais econômicos e energéticos. A urgência dessa iniciativa se explica pelo fato de o país ser insuficiente no que diz respeito aos bens primários. Isto é, apesar do poderio econômico, a China depende de importações de recursos minerais, alimentícios e, principalmente, energéticos.

Assim, utilizando-se da estratégia de ascensão pacífica, o país tem promovido incentivos para a consolidação de uma cultura do xisto que, prioritariamente, promoverá uma blindagem asiática à crise do petróleo, que se delinea pela desestabilização política do Oriente Médio e da Venezuela. Ademais, é de se ressaltar que a China possui a maior reserva de gás de xisto do mundo, seguida dos EUA, Argentina e México (LAGE et al., 2013).

Diante dessa realidade, a PetroChina se associou à Sinopec para promover a exploração de gás não convencional na bacia de Sichuan, fazendo da China pioneira na produção comercial do *shale gas*. As estimativas das empresas são que a produção alcance o montante anual de 6, 04 bilhões de m³ – o que representaria um largo passo para a independência energética do país (MA, 2018).

O sucesso na empreitada é explicado pelo alto investimento na área tecnológica, que faz as técnicas de perfuração e fraturamento serem aperfeiçoadas e terem o tempo de processamento reduzido. Assim, estima-se que a China já seja capaz de promover a extração de gás de xisto em um tempo 30% inferior à média padrão (MA, 2018). Trata-se de um importante passo e requisito indissociável para a satisfação da proposta do desenvolvimento sustentável (VEIGA, 2009).

Ademais, a China tem-se tornado referência na utilização de técnicas mais limpas para extração do gás de xisto. Claro exemplo é a utilização cíclica de líquidos, que contornam parte da fragilidade científica acerca dos potenciais impactos e danos ambientais que a utilização do líquido para *fraking* pode acarretar (MA, 2018).

Não obstante, apesar do alto investimento em tecnologias, a exploração do gás de xisto na China representa insegurança para a população. Isso porque, conforme verificar-se-á a seguir, inúmeros são os impactos ambientais atrelados à atividade. Esses danos em potencial, note-se, são agravados quando se considera a densidade populacional do país, sobretudo na bacia de Sichuan. Dessa maneira, caberá ao Estado

chinês promover o balanço acerca dos prós e contras da empreitada, sobretudo se for considerada a crise ambiental que enfrentou o país na primeira década dos anos 2000 e que poderá ser novamente aprofundada se as pretensões energéticas não estiverem alinhadas com a defesa do equilíbrio socioambiental.

3.3 Energia por gás de xisto no Brasil

No Brasil, a discussão a respeito da exploração de gás de xisto como caminho para alcance da emancipação energética se popularizou nas mídias a partir de 2013, quando foi divulgado que a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) promoveria a licitação de áreas para início dos procedimentos para extração do recurso. Todavia, a polêmica acerca da questão deixou de considerar que a ANP estabeleceu uma série de requisitos para o leilão, entre os quais está a obrigatoriedade de que a empresa concorrente comprovasse experiência na atividade, implantasse um projeto de segurança hídrica e que se responsabilizasse – civilmente – por danos de ordem ambiental (SOUZA; SCHMITT, 2016).

Apesar dos esforços midiáticos e do próprio Ministério Público Federal para interromper a pretensão, foi publicada a Resolução nº 6/2013 do Conselho Nacional de Política Energética, autorizando a realização da 12ª rodada de licitações de blocos de petróleo e gás natural, realizada em 28 de novembro de 2013. O objetivo do leilão foi garantir a exploração do *shale gas* em bacias terrestres, deixando apartadas as regiões marítimas com potencial de produção (ABREU, 2014).

A Petrobras, ciente de que o Brasil é o 10º no ranking mundial de reservas de gás não convencional (SOUSA et al., 2016) tratou de arrematar quase a totalidade das áreas. Não obstante, ainda que realizada a rodada, os Ministérios Públicos estaduais mobilizaram-se contra a atividade, sob a alegação de defesa do meio ambiente, promovendo a suspensão dos atos, em nível estadual, como é o caso do Piauí e do Paraná (SOUZA; SCHMITT, 2016).

Não obstante, apesar das investidas judiciais pelo boicote da ação, o Governo Federal publicou a Resolução nº 21/2014 da ANP regulamentando a atividade e estabelecendo requisitos para o início da técnica de fraturamento para extração do gás de xisto (SOUZA; SCHMITT, 2016). A intenção, note-se, era promover a emancipação energética do país que, até o momento, investe significativamente na construção de

hidrelétricas – responsáveis por danos socioambientais que, conforme verificar-se-á a seguir, podem ser considerados mais graves se comparados com aqueles decorrentes da exploração e utilização de gás não convencional.

Apesar das polêmicas que ainda se prolongam, o Brasil ainda não alcançou os patamares estadunidense e chinês no que diz respeito às técnicas de perfuração horizontal e *fracking*. Seja pela fragilidade da ousadia nos investimentos, seja pela inexistência de um aparato tecnológico avançado, a emancipação por gás de xisto nas terras brasileiras engatinha e não é suficiente para fazer frente aos grandes empreendimentos hidrelétricos que, para bem ou mal, são a principal fonte de geração de energia.

4 Impactos Ambientais

4.1 Abalos sísmicos

O primeiro impacto ambiental atrelado à utilização e exploração do gás de xisto que se suscita é também o mais controverso na literatura científica e diz respeito à possibilidade de agravamento de abalos sísmicos em razão do processo de exploração de gás de xisto. Essa discussão se fundamenta na ausência denexo de causalidade entre a atividade e os tremores (SOUZA; SCHMITT, 2016).

Ora, conforme já explanado, a técnica de exploração do gás não convencional consiste em promover o fraturamento hidráulico da rocha xistosa no subsolo. Nesse sentido, conforme entende Wow-Young Kim (2013), há uma tendência de aumento de ocorrências de atividades sísmicas após o início do *fracking*, como ficou demonstrado em pesquisa realizada na cidade de Youngstown, por um período de 14 meses. Nesse estudo, ficou constatado que os tremores sísmicos ocorriam após cinco dias da prática do fraturamento, de forma que foi possível traçar um padrão que tende para uma certeza acerca da relação entre a atividade e os terremotos. Não obstante, contrariando esses apontamentos, há correntes científicas seguras em afirmar que a probabilidade da relação entre o *fracking* e os abalos sísmicos é de 1 para 10.000 (SOUZA; SCHMITT, 2016).

Apesar das contradições e falta de consenso científico, importa trazer a questão para discussão, tendo em vista os potenciais riscos da atividade. Na China, por exemplo, a expansão das atividades de exploração de gás de xisto ocorre na bacia de Sichuan, área de conhecida falha tectônica, ou seja, os riscos tornam-se ainda mais delicados.

4.2 Utilização e poluição dos recursos hídricos

No que tange aos impactos ambientais relacionados aos recursos hídricos, convém promover a separação das mazelas em dois grupos. No primeiro, concentra-se a questão do gasto de água. Isso porque o processo de fraturamento hidráulico demanda uma grande quantidade de água, de forma que o abastecimento regional pode chegar a ser afetado, inclusive causando conflitos de interesse com o agronegócio e com as indústrias (YANG et al, 2015). Importa dizer que cada poço perfurado pode receber até 20 milhões de litros de água. Essa realidade se torna mais alarmante quando se constata que considerável quantidade desse recurso é utilizada na forma potável, o que torna sensível o debate acerca do abastecimento da população (SOUZA; SCHMITT, 2016).

Não obstante, parte da doutrina científica se preocupa em demonstrar que outras atividades são responsáveis por um gasto ainda maior de água – como é o caso da agricultura –, o que não é suficiente para deslegitimar o debate acerca da temática. Ocorre que recentes estudos já demonstraram que o tratamento da água de *fracking* é eficiente para tornar possível sua reutilização em outros setores (PEREIRA, 2016).

No Brasil, o debate acerca da utilização de grandes quantidades de água para o desenvolvimento energético por gás de xisto é matéria de importante análise, sobretudo quando se estima a abertura de centenas de poços nos próximos anos. Assim, os entraves relacionados à seca no Nordeste e nos estados do Sudeste, como é o caso de São Paulo, podem ser agravados pela existência de emancipação energética frente ao abastecimento da população (SOUZA; SCHMITT, 2016).

Em um segundo momento, a problemática que se pretende suscitar se relaciona à questão da poluição das águas superficiais e subterrâneas. Ora, conforme já relatado, a técnica de *fracking* demanda a adição de compostos químicos à água – sem que se saiba ao certo quais são as substâncias utilizadas, em razão do sigilo industrial. Assim, ao fraturar as rochas, parte desse líquido pode contaminar os lençóis freáticos, com efeitos severos para a vida nas regiões de extração.

Em Gasland (2010), Josh Fox tratou de capturar relatos importantes acerca da situação da contaminação das águas na Pensilvânia. Foram verificadas contaminações da água de poços residenciais, cuja cor passou a ser marrom, e ainda a contaminação por metano, que faz a água de torneiras se tornar inflamável. Ademais, ainda foram relatados casos de mortes de animais da região, por envenenamento, e a maior ocorrência

de doenças relacionadas à ingestão de compostos químicos similares aos utilizados pela indústria do gás.

No que tange à contaminação de águas superficiais, é notado que parte do líquido utilizado no *fracking* é descartado sem a devida precaução, o que torna maior o risco de poluição de rios e lagos. Não obstante, autores mais céticos tratam de demonstrar que o risco de contaminação é mínimo e que, ao menos nos Estados Unidos da América, inexistente ligação entre a poluição hídrica por vias superficiais ou por acessos subterrâneos (RAY, 2013).

4.3 Poluição atmosférica

Com relação aos impactos da exploração do gás de xisto na atmosfera terrestre, há que se ressaltar a possibilidade de compostos químicos voláteis escaparem e contaminarem o ar. O próprio metano – composto básico do gás que se pretende com as perfurações – é um poluidor significativo, sobretudo na seara do aquecimento global, tendo em vista que tem uma elevada capacidade de promoção do efeito estufa, 20 vezes maior que do dióxido de carbono (SOUZA; SCHMITT, 2016).

Nesse contexto, foram realizadas pesquisas no Texas que demonstraram que a qualidade do ar pode estar sendo diretamente afetada pela instalação de campos de exploração, realidade que intensifica a poluição quando somada a outros fatores, como abastecimento de aeronaves e tráfego de veículos (BUNCH et al., 2014).

Ademais, de acordo com Gasland (2010), é possível verificar que, na Pensilvânia, parte do líquido de fraturamento é pulverizada para facilitar sua evaporação, o que tem sido responsável pela formação de névoa marrom que se dissipa após o amanhecer. A questão principal, todavia, são as incertezas científicas acerca dos danos em longo prazo que esses compostos podem acarretar na saúde humana e no meio ambiente. Assim, conforme verificar-se-á a seguir, a pesquisa se preocupará em suscitar o princípio da precaução como possível caminho para resolução dos entraves que se delineiam.

5 O princípio da precaução e as viabilidades da sustentabilidade da energia por gás de xisto

As incertezas científicas acerca dos impactos ambientais que a exploração e utilização do gás de xisto podem ocasionar leva a pesquisa a recorrer ao princípio jurídico-ambiental da precaução. Trata-se de um recurso para situações hipotéticas e posicionamentos não conclusivos, a fim de evitar danos de natureza irreversível (MILARÉ, 2013).

Conforme lecionam Souza e Schmitt (2016), o princípio da precaução pode e deve ser aplicado para situações em que as consequências de determinada atividade sejam desconhecidas cientificamente, desde que o risco seja maior do que o benefício.” Dessa forma, a análise acerca dos prós e contras relacionados à utilização do gás de xisto deve considerar o sopesamento das consequências do *fracking*, na medida em que a eficiência energética do recurso e sua contribuição para a redução de emissão de gases de efeito estufa devem ser superiores aos danos socioambientais que sua extração acarreta.

Ou seja, o objetivo de invocar o referido princípio não é de garantir o embargo de todas as atividades, que, em certa medida, conservam suas incertezas. Ao contrário, o que se busca é a garantia do equilíbrio e a ponderação entre os prós e contras que envolvem empreendimentos potencialmente impactantes e degradadores. Isso porque é justamente o desenvolvimento da atividade que conduz à construção de certezas científicas que, em algum momento, podem afastar a própria aplicação do Princípio da Precaução. É o que se verifica quando se constata que sua aplicação observa argumentos de posicionamentos científicos claros e conclusivos. Procura instituir procedimentos capazes de embasar uma decisão racional na fase de incertezas e controvérsias, de forma a diminuir os custos da experimentação (MILARÉ, 2013).

Não se confunde, portanto, a precaução com a prevenção. Esta última consiste em garantir a não ocorrência de danos ambientais por meio de medidas preventivas que antecedam a atividade (PRIEUR, 1996). Nesse aspecto, resta incontroverso à pesquisa que o princípio que melhor se aplica à questão do gás de xisto é o da precaução. Isso porque, acerca das mazelas ambientais conhecidas que acompanham a utilização do recurso, foram e são desenvolvidos procedimentos para a devida mitigação, como é o caso da queima de gás para evitar sua dispersão pela atmosfera quando do *fracking*. Não obstante, muitas são as incertezas que acompanham o processo de extração e utilização do gás de xisto, cabendo a precaução durante o desenvolvimento das atividades

a fim de que não ocorram eventos não previstos que, eventualmente, podem causar danos irreversíveis tanto na seara social como ambiental.

Assim, sendo inúmeras as incertezas que ainda pesam sobre a atividade, um primeiro olhar bastaria para concluir pela suspensão da exploração do recurso pelo mundo, como ocorreu em alguns estados do Brasil. Essa visão, baseada em uma perspectiva puramente ambientalista, deixa de considerar a dimensão econômica da sustentabilidade, de forma que torna a medida pouco interessante para o compromisso do desenvolvimento, sobretudo nos países não desenvolvidos. Ou seja, impera oportunizar que o eixo Norte do planeta alcance padrões médios de desenvolvimento, o que é dificultado no caso de eliminação de novas práticas e técnicas para ampliação das capacidades energéticas.

Nesse sentido, o estudo está alinhado com o entendimento dos Professores Romeu Silva e Jamile Diz (2018), quanto à necessidade de uma revisão periódica das restrições de atividades, com base no princípio da precaução. Isso quer dizer que as decisões relacionadas aos riscos das atividades não devem ser imutáveis, sob pena de estacionar-se o desenvolvimento tecnológico (SILVA; DIZ, 2018). Assim, a proposta acerca do gás de xisto se pauta na proporcionalidade e prudência, para que sejam contemplados os aspectos econômicos e ambientais da sustentabilidade.

Ora, é justamente a perspectiva da atividade que possibilita sua adequação, assim como a criação e aperfeiçoamento de técnicas menos agressivas e mais sustentáveis. O veto da atividade retira o interesse no investimento nas áreas de pesquisa, de forma que a atividade tende a se tornar desinteressante do ponto de vista dos avanços tecnológicos e científicos, o que termina por prejudicar a própria essência do desenvolvimento sustentável, que é construído por uma multidimensionalidade.

Destarte, mais que refletir e analisar as incertezas a respeito dos impactos ambientais relacionados à exploração e utilização de gás de xisto, o estudo conclui que importa promover o balanço entre os princípios ambientais e os princípios energéticos, sobretudo aqueles relacionados à eficiência, segurança e emancipação. Ressalta-se ainda que as respostas tendem a uma perspectiva não hegemônica, sendo particulares e dependentes da economia e do status político-social de cada país que se encontre no entrave.

Essa realidade nos faz questionar se, de fato, a energia por gás de xisto é um caminho que contribui para os princípios do Direito de Energia e – sobretudo – para o paradigma da sustentabilidade, na medida em que demanda que se assumam determinados

riscos em nome do desenvolvimento. Nesse sentido, o que se propõe é a revisão periódica acerca das práticas relacionadas à extração do recurso, sem negligenciar as medidas de mitigação e minoração dos impactos ambientais já conhecidos acerca do *fracking*, o que pode ser realizado por meio da exigência de relatórios técnicos específicos e estabelecimento de áreas de fraturamento distantes de comunidades e caminhos d'água.

Para viabilizar uma conclusão, vale um breve panorama acerca da percepção do meio ambiente ecologicamente equilibrado como direito humano. Ora, a relação entre os direitos de ordem humana e a preservação ambiental é de condição. Isso porque um viabiliza a satisfação do outro, materializando a vida, que é o mais fundamental dos direitos (BERTOLDI, 2000). Assim, quando se verifica a violação de qualquer desses direitos, ocorre duplo vilipêndio.

A consolidação dos paradigmas ambientais pela Declaração de Estocolmo delineou novas perspectivas que mais têm relação com o desenvolvimento como bem-estar universal do que como progresso (GOMES; BULZICO, 2010). Assim, tendo em vista que a questão do gás de xisto, assim como a própria pauta da energia, relaciona-se diretamente com princípios internacionais e com a noção de dignidade, há que se avaliar a cautela nos planejamentos que envolvam maior ou menor incentivo da atividade.

Nesse aspecto, assim como se defendeu aqui a aplicação do princípio da precaução, também conclui a pesquisa pela indispensabilidade de medidas equilibradas e não extremas, sob pena de colisão de princípios inegociáveis. Ora, na questão do desenvolvimento energético por gás de xisto, não se cogita sobrepor os interesses econômicos sobre os socioambientais.

Assim, devem ser buscadas soluções para esquivar-se dos entraves relacionados aos impactos potenciais da exploração e utilização do gás de xisto e aos princípios energéticos. O caminho mais razoável para deliberar a respeito do tema parece ser a medida racional acerca da possibilidade de impedir problemas mais graves e garantir direitos cuja ordem sejam de maior valia para as sociedades contemporâneas.

Trata-se de uma questão que demanda incessante debate e discussão, para que sejam acompanhadas as tendências e demandas socioambientais, que são transmutadas em curtos prazos. A pretensão acerca das revoluções energéticas deve ser pautada na estabilidade do ambientalismo e no rompimento com a estaticidade de uma sustentabilidade absoluta em seus termos, que corre o risco de colidir com a dignidade humana, caso inviabilize os princípios energéticos, como eficiência, acesso universal e segurança.

Considerações Finais

As crises do petróleo e a possibilidade de esgotamento de recursos convencionais põem o mundo em risco de uma crise energética que, mais do que afetar as esferas econômicas, também representaria vilipêndio aos direitos de ordem humana. Nesse sentido, buscando a satisfação de princípios como a eficiência e a emancipação energética, países do globo – principalmente Estados Unidos da América e China – têm promovido revoluções na seara da energia, investindo na exploração e utilização do gás de xisto.

Para esses países, a popularização do gás não convencional, além de representar oportunidade de redução na emissão de dióxido de carbono, é também um meio de garantir segurança energética e promover a manutenção das posições hegemônicas na geopolítica internacional. Assim, os investimentos em ciência e tecnologia têm sido a prioridade para garantir mais poços e técnicas para encurtamento dos processos de perfuração horizontal e *fracking*.

Não obstante, a exploração do *shale gas* merece atenção, na medida em que pode oferecer riscos irremediáveis, tais como o aumento de abalos sísmicos e a poluição hídrica e atmosférica. Trata-se de impactos que, apesar de relevantes, encontram controvérsia na literatura científica, conforme apresentado.

Nesse sentido, a pesquisa propôs a discussão acerca dos caminhos para conciliar as pretensões energéticas relacionadas ao gás de xisto com os princípios do Direito de Energia e com paradigmas da sustentabilidade. Para tanto, suscitou-se a necessidade de recorrer ao princípio da precaução, que atende aos entraves das incertezas jurídicas.

Todavia, importa ressaltar que a precaução não deve ser entendida em seus conceitos absolutos. Ao contrário, é necessário pesar prós e contras para que seja possível que o direito e as demais searas relacionadas à pauta da energia acompanhem as tendências e demandas das sociedades.

Com base nesse raciocínio, o estudo conclui pela inviabilidade da estagnação dos moldes do desenvolvimento sustentável, sobretudo no que diz respeito à expansão energética. Isso porque a sustentabilidade demanda a satisfação de múltiplas dimensões, que requerem inovação e sopesamento de interesses contemporâneos. Assim, sendo a energia requisito para a dignidade humana, o desenvolvimento de novas fontes é, salvo exceções, medida de satisfação e efetivação de direitos humanos.

Referências

ABREU, Miriam Santini de. A exploração de gás de xisto e a ameaça ambiental: discurso e poder no sistema energético. **Rebela**, v. 3, n. 2, p. 240-249, fev. 2014. Disponível em: <https://rebela.emnuvens.com.br/pc/article/download/152/298>. Acesso em: 6 nov. 2019.

AGUIAR, Ivan Araújo de. Revolução do gás de xisto à luz dos objetivos do milênio: análise sobre a estratégia, meio ambiente e interesses brasileiros. In: SEMANA DE EXTENSÃO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO – SEPesq, 11., 2015, Porto Alegre. **Anais eletrônicos [...]** Porto Alegre: Centro Universitário UniRitter dos Reis, 2015. Disponível em: https://www.uniritter.edu.br/files/sepesq/arquivos_trabalhos/3611/918/1241.pdf. Acesso em: 6 nov. 2019.

ARAÚJO, Diego Vilaça de et al. Gás de xisto alternativa energética? Experiência americana e modelo para o mercado brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE – Congestas, 2., 2014, João Pessoa. **Anais eletrônicos [...]** João Pessoa: Ecogestão Brasil, 2014. Eixo Temático ET 09-004 – Energia, p. 442-445. Disponível em: <http://eventos.ecogestao-brasil.net/congestas2014/trabalhos/pdf/congestas2014-et-09-004.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2019.

BERTOLDI, Marcia Rodrigues. O direito humano a um meio ambiente equilibrado. **Revista Jus Navigandi**, Teresina, ano 5, n. 45, 1 set. 2000. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/1685>. Acesso em: 6 nov. 2019.

BICO, António Jorge Vale. **Shale Gás: Tecnologia, Mercado, Impactos**. 2014. 78 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2014. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10316/41694>. Acesso em: 6 nov. 2019.

BOUDET, Hilary et al. “Fracking” controversy and communication: Using national survey data to understand public perceptions of hydraulic fracturing. **Energy Policy**, v. 65, p. 57-67, fev. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.017>

BUNCH, A. et al. Evaluation of impacto f shale gas operations in the Barnett Shale region on volatile organic compounds in air and potential human health risks. **Science of the Total Environment**, v. 468-469, p. 832-842, jan. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.08.080>

COSTA, Maria D'Assunção. **O direito de acesso à energia: Meio e pré-condição para o exercício do direito ao desenvolvimento e dos Direitos Humanos**. 2009. 221 f. Tese (Doutorado em Energia). Escola Politécnica / Faculdade de Economia e Administração / Instituto de Eletrotécnica e Energia / Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-11082011-112846/publico/MariaDAssuncao.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2019.

DAVIES, Richard et al. Oil and Gas Wells and Their Integrity: Implications for Shale and Unconventional Resource Exploitation. **Marine and Petroleum Geology**, v. 56, p. 239-254, sep. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2014.03.001>

GASLAND. Produção de Josh Fox. United States: New Video, 2010.

GOMES, Eduardo; BULZICO, Bettina (Org.). **Sustentabilidade, desenvolvimento e democracia**. 1 ed. Ijuí: Ed. Unijuí, 2010.

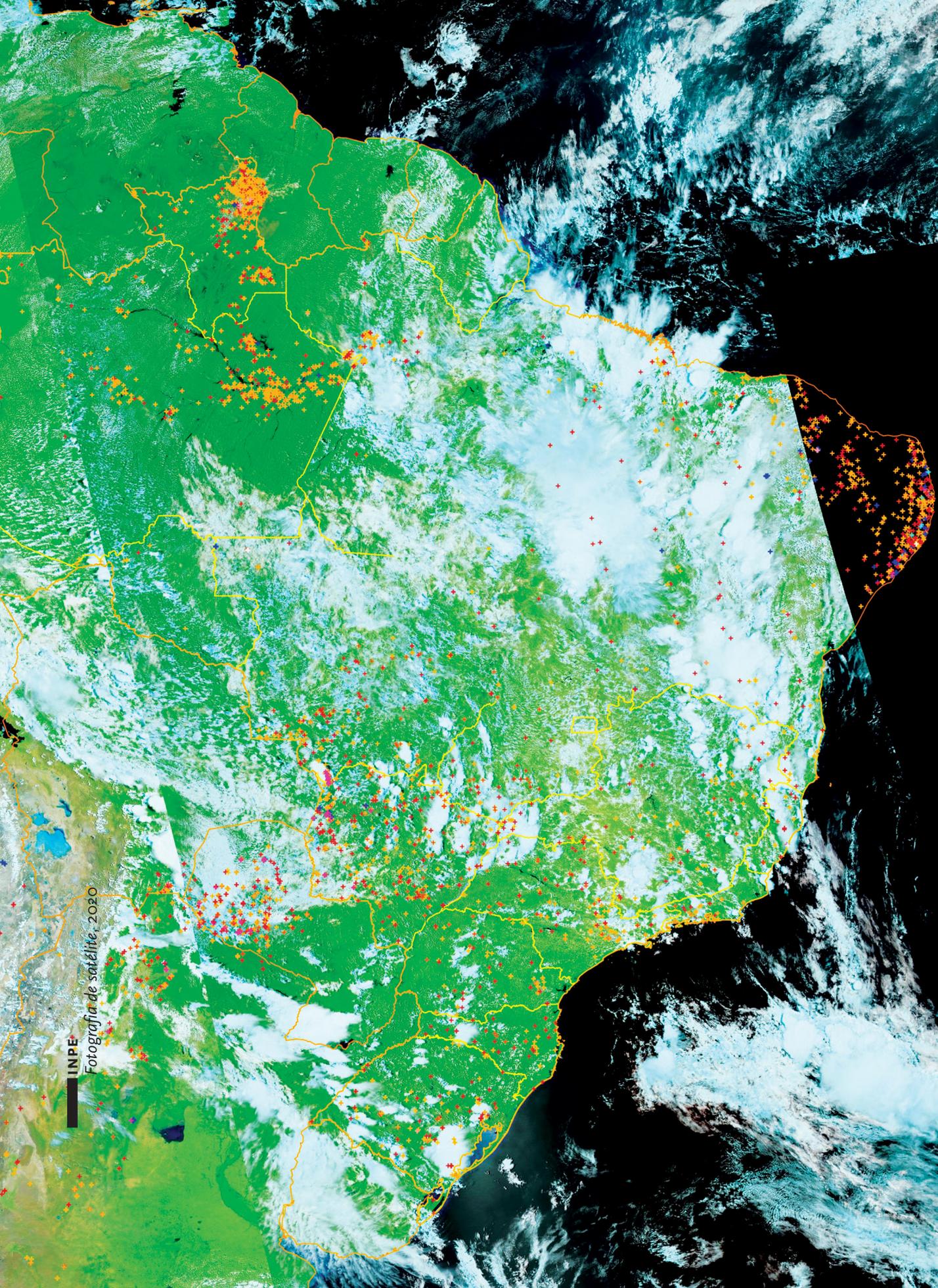
- KIM, Wow-Young. Induced seismicity associated with fluid injection into a deep well in Youngstown, Ohio. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, v. 118, n. 7, p. 3506-3518, jul. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1002/jgrb.50247>
- LAGE, Elisa Salomão et al. Gás não convencional: experiência americana e perspectivas para o mercado brasileiro. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 37, p. 33-88, mar. 2013.
- MA, Youngsheng et al. China's shale gas exploration and development: understanding and practice. **Petroleum Exploration and Development**, v. 45, n. 4, p. 589-603, ago. 2018. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(18\)30065-X](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(18)30065-X)
- MILARÉ, Édís. **Direito do ambiente: a gestão ambiental em foco**. 8. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2013.
- PEREIRA, Thiago Augusto. **Análise das implicações ambientais na extração do gás de xisto**. 2016. 67 f. Dissertação (Mestrado em Inovação Tecnológica). Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2016. Disponível em: <http://bdtd.uftm.edu.br/handle/tede/363>. Acesso em: 6 nov. 2019.
- PRIEUR, Michel. **Droit de l'environnement**. 3. ed. Paris: Dalloz, 1996.
- RAY, Jeffery. Shale gas: evolving global issues for the environment, regulation and energy security. 2 **LSU Journal of Energy Law and Resources**, v. 2, n. 1, p. 75-93. 2013. Disponível em: <http://digital-commons.law.lsu.edu/jelr/vol2/iss1/7>. Acesso em: 6 nov. 2019.
- SILVA, Suzana Tavares da. O princípio (fundamental) da eficiência. In.: **Encontro de Professores de Direito Público**, 3., 2009, Porto. **Anais eletrônicos [...]**. Porto: Faculdade de Direito, 2009. Disponível em: <http://encontrosdireitopublico.blogspot.com/2009/>. Acesso em: 6 nov. 2019.
- SILVA, Romeu Faria Thomé da; DIZ, Jamile Bergamaschine Mata. Princípio da precaução: definição de balizas para a prudente aplicação. **Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**, Belo Horizonte, v. 15, n. 32, set. 2018. Disponível em: <http://www.domhelder.edu.br/revista/index.php/veredas/article/view/1317>. Acesso em: 6 nov. 2019.
- SIMIONI, Rafael Lazzarotto. Princípios do Direito de Energia. **Revista Jus Navigandi**, Teresina, ano 16, n. 2911, 21 jun. 2011. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/19372>. Acesso em: 06 nov. 2019.
- SOUZA, Ernandes Vaz et al. Gás de "xisto" como fonte energética. **CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS- CONEPETRO**, 2., 2016, Natal. **Anais eletrônicos [...]**. Campina Grande: Editora Realize, 2016. Disponível em: https://www.editorarealize.com.br/revistas/conepetro/trabalhos/TRABALHO_EV052_MD1_SA7_ID1716_11062016195349.pdf. Acesso em: 6 nov. 2019.
- SOUZA, Lucas Dantas Evaristo de. SCHMITT, Guilherme Berger. Gás de xisto: incentivo à degradação ambiental ou solução energética? uma análise crítica. **Revista de Direito Ambiental**, v. 84, p. 477-500, out-dez. 2016.

STAMFORD, Laurence; AZAPAGIC, Adisa. Life cycle environmental impacts of UK shale gas. *Science Direct*, v. 134, dez. 2014, p. 506-518. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.08.063>

THOMAS, Pierre. **Le gaz de schiste: géologie, exploitation, avantages et inconvenients**. Planet Terre. ENS Lyon, 2011. Disponível em: <https://planet-terre.ens-lyon.fr/article/gaz-schiste.xml>. Acesso em: 6 nov. 2019.

VEIGA, José Eli da. Os desafios do desenvolvimento sustentável no Brasil. In: PÁDUA, José Augusto (org.). **Desenvolvimento, Justiça e Meio Ambiente**. Belo Horizonte: Editora UFMG; São Paulo: Editora Peirópolis, 2009. p. 221-229.

YANG, Hong et al. Water Requirements for shale gas fracking in fuling, Chongqing, Southwest China. *Energy Procedia*, v. 76, p. 106-112, ago. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.862>



INPE

Fotografia de satélite, 2020

MONITORAMENTO DE INCÊNDIOS POR MEIO DE REDES E LINHAS AÉREAS DE ENERGIA ELÉTRICA

ADRIANO CHAVES LISBOA*

PEDRO VINÍCIUS ALMEIDA BORGES DE VENÂNCIO**

ARLINDO FOLLADOR NETO***

HERMES AGUIAR MAGALHÃES****

CARLOS ALEXANDRE MEIRELES NASCIMENTO*****

HANI CAMILLE YEHIA*****

RESUMO As redes e linhas aéreas de energia elétrica são vistas, muitas vezes, como algo danoso ao ambiente, mesmo levando qualidade de vida e progresso à sociedade. Poucas pessoas concordam em ter uma rede ou linha de energia cruzando suas terras. O monitoramento ambiental de redes e linhas de energia possibilita à sociedade verificar pela internet o que está ocorrendo na região das redes e das linhas aéreas de energia, o que promove uma aproximação entre a sociedade e as empresas que instalam essa infraestrutura vital para o desenvolvimento econômico e social. Neste trabalho, o monitoramento ambiental se dá pela detecção de incêndios, eventos que provocam estragos nas redes e linhas aéreas de energia e trazem prejuízos para todas as populações – humana, animal e vegetal – ao seu redor. Essa detecção de incêndio é feita utilizando aprendizado profundo de máquina, que é capaz de atingir precisões da ordem de 99% ao detectar fogo e fumaça em situações adversas.

PALAVRAS-CHAVE Monitoramento ambiental. Interação com a sociedade. Detecção de incêndio.

WILDFIRE MONITORING FROM ELECTRIC NETWORKS AND TRANSMISSION LINES

ABSTRACT Electric networks and transmission lines are many times seen as something hazardous, even when bringing life quality and progress to society. Few people agree to have an electric network or line crossing their lands. The environmental monitoring of electric networks and lines allows society to see in the internet what is happening around electric networks and lines and, hence, promotes a closer relation between society and utilities vital to economic and social development. In this work, the environmental monitoring is made using fire detection, a phenomenon that damages not only electric networks and lines, but also humans, animals and plants around. Such wildfire detection is performed using deep learning, which can achieve precisions of about 99% and detect fire and smoke in adverse situations.

KEYWORDS Environmental monitoring. Interaction with society. Wildfire detection.

* Gaia Soluções em Engenharia - adriano.lisboa@gaiasd.com; ** Gaia Soluções em Engenharia - pedro.venancio@gaiasd.com; *** Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) - arlindo.neto@ict.ufvjm.edu.br; **** Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) - hermesaguiar@ufmg.br; ***** Companhia Energética de Minas Gerais S/A (Cemig) - caxandre@cemig.com.br; ***** Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) - hani@ufmg.br

Introdução

As redes e linhas aéreas de energia elétrica são vistas, muitas vezes, como algo danoso ao ambiente, mesmo levando qualidade de vida e progresso para a sociedade. Poucas pessoas concordam em ter uma rede ou linha de energia cruzando suas terras. O monitoramento ambiental por meio das redes e linhas aéreas de energia possibilita à sociedade ter conhecimento sobre o que está ocorrendo no entorno dessas instalações e, assim, promover uma aproximação entre a população e as empresas do setor de distribuição e transmissão de energia elétrica.

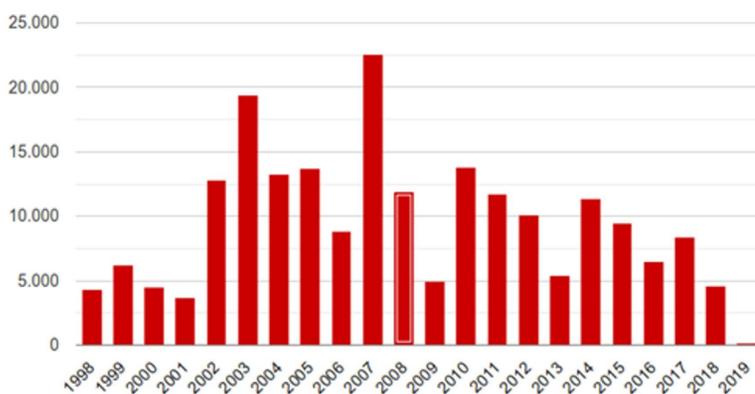
Neste trabalho, o monitoramento ambiental se dá pela detecção de incêndios, eventos que provocam estragos para as empresas de distribuição e transmissão de energia e trazem prejuízos para todas as populações – humana, animal e vegetal – ao seu redor.

As queimadas são causadoras de interrupções no fornecimento de energia elétrica e também responsáveis por grande parte da destruição da flora e da fauna brasileiras. De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe, 2019), Minas Gerais registrou 4.487 focos de incêndio durante o ano de 2018 (FIG. 1), dos quais a grande

maioria concentra-se nos meses de agosto a outubro (FIG. 2). De forma a ilustrar a concentração de focos de incêndio na região de Minas Gerais, a Figura 3 mostra o mapa com o risco de incêndios no Brasil em janeiro de 2019. Mais do que as causas naturais, a crescente demanda do agro-negócio tem causado uma extensa substituição de áreas florestais por áreas de criação de gado e plantio, segundo estudos da World Wildlife Fund (WWF, 2018).

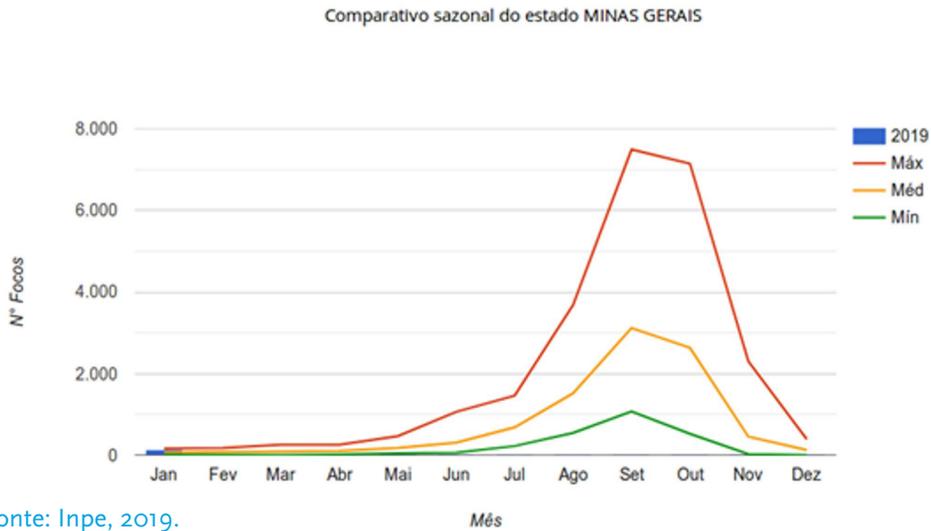
Figura 1- Série histórica do total de focos ativos de incêndio detectados pelo satélite de referência do Inpe no período de janeiro de 1998 até janeiro de 2019

Série histórica do estado MINAS GERAIS



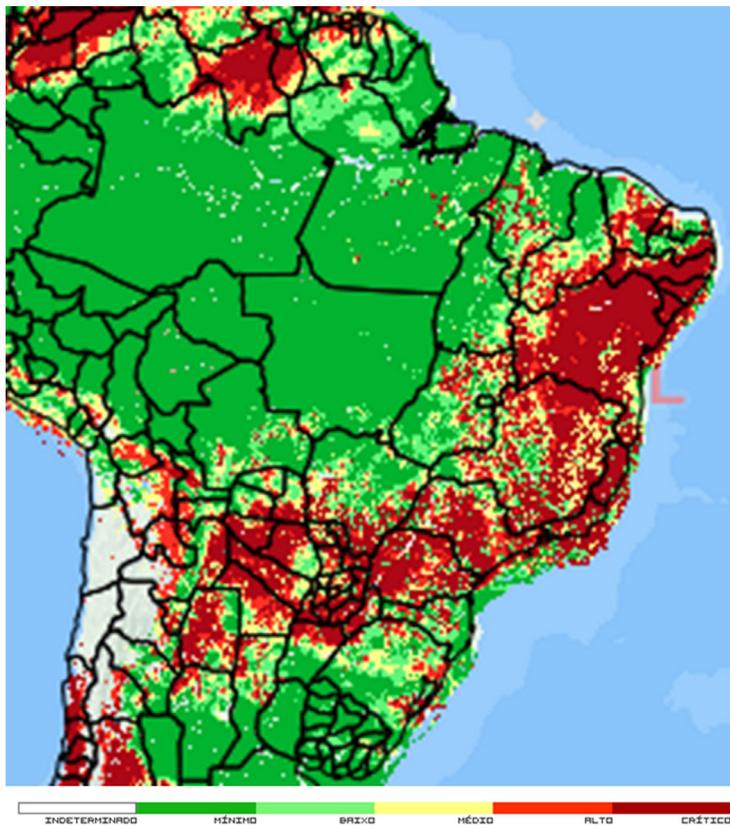
Fonte: Inpe, 2019.

Figura 2 - Valores máximos, médios e mínimos do número de focos de incêndio ao longo dos meses do ano com base no período de 1998 a 2018



Fonte: Inpe, 2019.

Figura 3 - Risco de incêndio no Brasil em 30 de janeiro de 2019



Fonte: Inpe, 2019.

De acordo com levantamento da Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig, 2017), a principal causa de incêndios florestais em Minas é a queima preparatória de pastos e de terrenos para plantio, quando o fogo é usado como uma ferramenta eficiente e barata de preparo do solo, especialmente em períodos de altas temperaturas e baixa umidade do ar. Outras causas são a queima de lixo, tocos de cigarros jogados em beiras de estradas, que atingem a vegetação seca, e descargas atmosféricas.

Ao atingir redes e linhas aéreas de energia, os incêndios podem provocar o rompimento dessas estruturas e dos cabos condutores com a queima de postes e cruzetas de madeira e, conseqüentemente, interromper o fornecimento de energia elétrica. Nesses casos, para religar os circuitos atingidos, é necessário recompor os materiais, atividade que exige um tempo maior para ser executada. Há, ainda, o risco de curtos-circuitos em redes e linhas aéreas de energia elétrica, causados pelo aquecimento dos cabos condutores acima dos valores de projeto.

Com uma rede de distribuição de mais de 500 mil quilômetros de extensão, a Cemig é responsável por distribuir energia elétrica para mais de 8 milhões de consumidores em Minas Gerais. Dessa forma, pode-se pensar no uso de ativos da empresa para auxiliar no monitoramento ambiental e, assim, utilizar o importante ativo de linhas e redes aéreas para a nobre função adicional de detectar focos de incêndio em seus estágios iniciais. Esse é o objetivo central deste trabalho, o qual está sendo desenvolvido por meio do projeto de pesquisa e desenvolvimento da Agência Nacional de Energia Elétrica (P&D Aneel) “Monitoramento ambiental por visão computacional aplicado a situações reais” (Do619), financiado pela Cemig-D e executado em parceria entre a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e a Gaia, soluções sob demanda.

A detecção precoce de incêndios é uma tarefa vital por razões econômicas, sociais e ambientais. A identificação de focos de incêndio em seus estágios iniciais é um fator crítico na determinação da quantidade de danos causados. Em áreas abertas, essa tarefa é tipicamente realizada por humanos – seguranças, por exemplo –, que devem estar atentos a possíveis ocorrências. No entanto, pessoas podem se distrair, ou simplesmente não ter a visão necessária, o que faz um incêndio ser identificado somente após um período considerável de tempo, quando já não é possível evitar danos consideráveis.

Um sistema mais confiável é o alarme de incêndio instalado em edifícios, baseado em sensores de fumaça, o qual detecta a presença de partículas de fumaça no ar, possivelmen-

te originadas de um incêndio. No entanto, seu uso é limitado, uma vez que os sensores precisam estar próximos à fonte e, portanto, não podem ser usados em grandes áreas abertas, onde a fumaça leva tempo considerável até atingir sua posição. Além disso, não fornecem informações adicionais sobre o incêndio, como a dimensão e a localização. Considerando essas necessidades, o monitoramento assistido por câmeras ganhou grande destaque, principalmente em situações que utilizam câmeras estáticas, tais como os sistemas de vigilância baseados em circuitos fechados de televisão (CFTV) (STEFFENS, 2015).

Em um monitoramento ambiental de larga escala, é necessária uma quantidade significativa de câmeras para a cobertura da área de interesse. Diante disso, a ideia de se utilizar uma quantidade menor de câmeras, porém móveis, é consideravelmente mais interessante, principalmente pela redução de custos e pelo ganho de varredura. Ainda assim, a utilização de câmeras móveis implica maior complexidade do sistema de detecção, visto que inclui rotação em três eixos, maior número de trepidações e variações no fundo e na luminosidade.

Dessa forma, a ideia de deixar que máquinas detectem automaticamente esses eventos sempre foi uma possibilidade mais interessante. Ao longo dos anos, diferentes abordagens para detecção de fogo e fumaça por computador foram desenvolvidas (DIOS et al., 2008). Inicialmente, eles eram todos baseados em regras. O processo geralmente envolvia duas etapas: extrair recursos projetados com base em conhecimento especializado para capturar alguma particularidade de fogo ou fumaça, como cor, movimento ou comportamento temporal, e aplicar algoritmos tradicionais para classificar imagens com base nesses recursos (KONG et al., 2016).

Entretanto, as trepidações causadas no suporte de fixação da câmera ou durante o seu movimento de rotação interferem diretamente na qualidade das gravações. Assim, algoritmos que utilizam combinações da análise estatística de recursos visuais e análise temporal de informações de movimento tornam-se totalmente inviáveis, visto que a instabilidade também compromete a extração de características (VIEIRA et al., 2015). Essa extração de características, por sua vez, depende de especialistas e, quando mal projetada, pode levar a erros na criação de modelos baseados em regras e na seleção de recursos discriminativos. Na maioria das vezes, quando técnicas de extração de características mostram bom desempenho, os recursos projetados geralmente são para dados específicos (HOHBERG, 2015).

Uma abordagem diferente para esse problema é usar um algoritmo de aprendizado de máquina para extrair as características úteis, em vez de usar um especialista para defini-las. Redes neurais convolucionais, variante da aprendizagem profunda, possibilitam extrair propriedades topológicas de cada quadro dos vídeos e, portanto, aprender essas características para detectar fogo e fumaça sem dependência alguma da estabilidade da câmera.

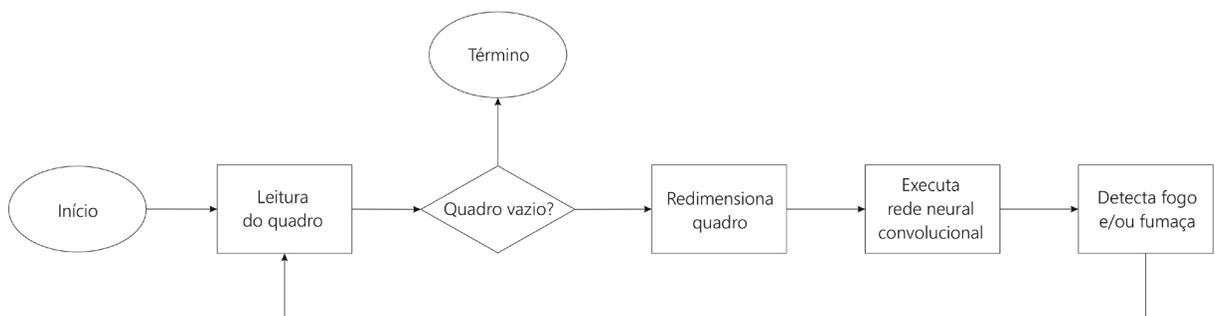
1 Desenvolvimento

1.1 Estratégia adotada

Garantir que a câmera execute rotação ou translação sem que haja consequências relevantes na detecção de incêndios em tempo real é de extrema importância para que uma abordagem seja robusta e confiável. Ao contrário de algumas ferramentas de *hardware* para uso comercial, como estabilizadores, a estratégia menos dispendiosa encontrada não garante estabilidade das câmeras envolvidas no monitoramento, mas possibilita que a detecção seja totalmente independente dela.

Por meio da segmentação do vídeo em uma sequência de quadros, o método investigado realiza uma análise quadro a quadro. Essa análise consiste em prever uma lista de detecções com suas respectivas probabilidades para cada quadro presente no vídeo, de forma independente. O processo, ilustrado na Figura 4, possibilita que movimentos da câmera ou de objetos durante as gravações não influenciem no desempenho do sistema.

Figura 4 - Fluxograma do sistema de detecção



Fonte: elaborado pelos autores.

A principal premissa que precisa ser levada em conta é o questionamento do tempo de execução para cada quadro. É normal pensar que se o tempo de execução para análise do quadro for alto, a detecção em tempo real se tornará completamente inviável. No entanto, a rede neural convolucional adotada realiza tarefas em paralelo para reduzir esse tempo e pode atingir, em sua versão original, 45 quadros por segundo. Uma versão alternativa ainda mais rápida, porém, com uma precisão de detecção relativamente pior, pode atingir até 155 quadros por segundo. Portanto, detectar fogo por meio de uma análise de quadros é uma solução promissora, em razão da flexibilidade de uso, ubiquidade e crescente qualidade de resolução das câmeras de segurança. Além disso, o mesmo sistema usado para detectar o fogo também é capaz de detectar a fumaça, que é o indicador visual mais óbvio do fogo e, muitas vezes, o único, especialmente em longas distâncias.

Identificar a presença de fogo ou fumaça não é uma tarefa fácil. Ambas as classes são abstratas e podem assumir diversas cores e formas, o que dificulta o aprendizado do modelo ao tentar generalizá-las. Com isso, o sistema pode realizar alarmes falsos (falsos positivos) ou até mesmo deixar de detectar situações reais de incêndio (falsos negativos). Para evitar esses problemas de detecção, torna-se essencial um banco de dados representativo e balanceado. Esse conjunto especial de dados rotulados fornece informações úteis para o aprendizado supervisionado e, conseqüentemente, para a construção de um modelo que seja capaz de detectar incêndios nas circunstâncias apresentadas a ele. Assim, empregar maior diversidade aos dados com situações distintas de ocorrência de fogo e fumaça também garante maior robustez às variações de fundo e iluminação, provocadas pelo movimento e pelo ambiente no qual a câmera está localizada.

1.2 Aprendizado profundo de máquina

Na última década, o interesse pelo aprendizado profundo de máquina cresceu consideravelmente. Uma das áreas mais afetadas foi a de visão computacional. A competição de reconhecimento visual em grande escala da organização ImageNet comprova isso (IMAGENET, 2019). Nela, os modelos de aprendizado de máquina competem para realizar a classificação de objetos, com milhares de classes e milhões de imagens. Desde a introdução da primeira rede neural convolucional em 2012, a precisão melhorou gradualmente, superando em média a de uma pessoa.

Inicialmente, a identificação de objetos foi realizada usando recursos codificados manualmente; projetistas especificaram relações referenciais (por exemplo, a forma triangular de dois olhos e um nariz), que foram buscadas pelo algoritmo e, assim, levaram a uma identificação. Naturalmente, isso apresentava problemas graves, como a necessidade de codificar explicitamente cada nova referência e a incapacidade de identificar imagens com pequenas variações de ângulo e forma. Com o ressurgimento das redes neurais na área de aprendizado profundo de máquina, esse cenário mudou completamente. As redes neurais convolucionais foram capazes de realizar a classificação de objetos com taxas de precisão consideráveis. Além disso, essa solução era elegante e altamente generalizável.

Com relação à detecção, existia uma dificuldade adicional: como identificar não apenas a existência de um objeto, mas também sua localização na imagem? A abordagem inicial era usar uma janela deslizante, que passava pela imagem até encontrar o objeto. Apesar de funcionar bem em algumas aplicações, as janelas deslizantes são ineficientes e demandam tempo. Em seguida, vieram os métodos de propostas de região, que primeiro tentavam identificar partes da imagem que pareciam pertencer ao mesmo objeto, para, posteriormente, determinar a existência e a identificação do objeto. Esse tipo de método ainda é muito usado atualmente. No entanto, se assumirmos que a rede tem informações suficientes para determinar se um objeto está em uma imagem, faz sentido acreditar que ela também tenha informações para encontrar a localização desse objeto.

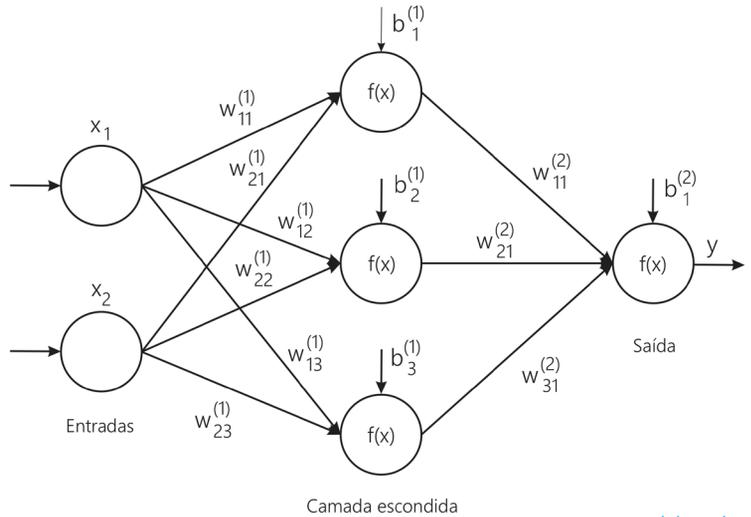
1.2.1 Redes neurais artificiais

As redes neurais artificiais (RNAs) são modelos computacionais matemáticos inspirados, ainda que vagamente, no sistema nervoso de animais, mais especificadamente no cérebro. Por meio de diversas unidades de processamento (neurônios artificiais) altamente conectadas e dispostas em camadas, elas visam processar informações e reconhecer padrões (DATA SCIENCE ACADEMY, 2018). Assim como o cérebro humano é capaz de aprender a tomar decisões baseadas em conhecimentos adquiridos, a rede neural também o é. A cada nova experiência, os neurônios artificiais envolvidos no processamento são aprimorados, podendo executar, ao final do aprendizado, tarefas de forma muitas vezes mais eficiente que os próprios seres humanos.

Matematicamente, cada entrada de um neurônio é multiplicada por um determinado peso w presente em cada conexão da rede. A soma ponderada das entradas é, então, encaminhada para o núcleo do neurônio, onde é modificada (viés $b = r$) ou não (viés $b = 0$), antes de ser processada por uma função de ativação $f(x)$, conforme demonstrado na Figura 5.

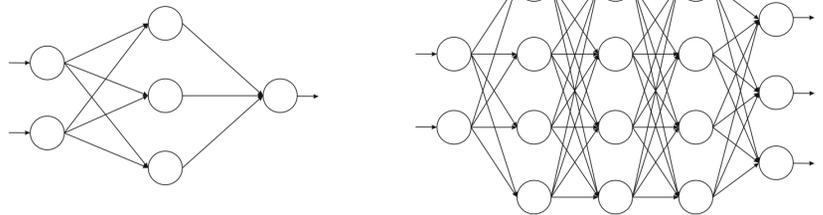
A primeira camada de uma rede neural é chamada de camada de entrada, enquanto a última é chamada de camada de saída. Todas as camadas entre as duas são referidas como camadas escondidas. Quando todos os neurônios de todas as camadas estão conectados entre si, a rede é dita totalmente conectada (FIG. 6). Além disso, redes neurais com mais de uma camada escondida são denominadas redes neurais profundas.

Figura 5 - Estrutura de uma rede neural de três camadas



Fonte: elaborada pelos autores.

Figura 6 - Rede neural simples totalmente conectada (esquerda) e rede neural profunda totalmente conectada (direita)



Fonte: elaborada pelos autores.

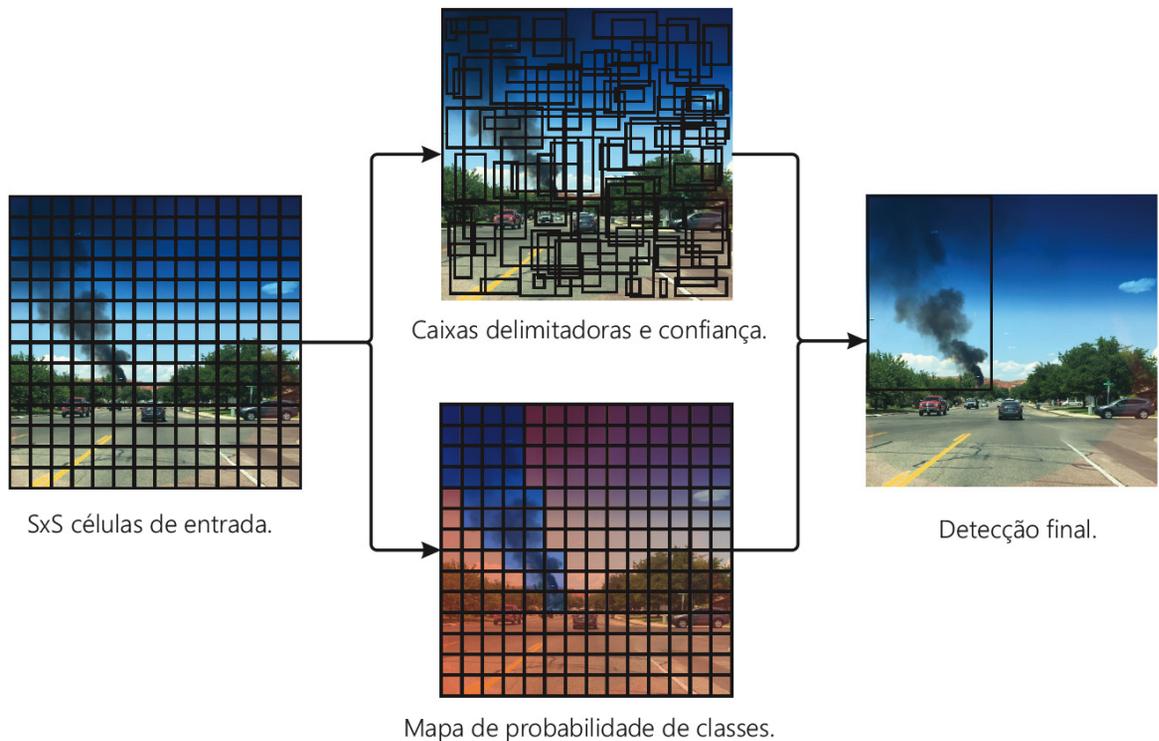
1.2.2 Algoritmo de detecção de objetos YOLO

Entre os melhores algoritmos de detecção de objetos que usam aprendizado profundo de máquina, está o YOLO – *You only look once* (Você só olha uma vez). Enquanto a maioria dos métodos separa a classificação da imagem das tarefas de identificação de localização, usando, por exemplo, janelas deslizantes, o algoritmo YOLO executa ambas as tarefas simultaneamente (o que justifica seu nome). Dessa forma, o YOLO inclui como variáveis a localização das caixas que delimitam os objetos, sendo, portanto, um método baseado em regressão. Essa abordagem conjunta o ajudou a se tornar o estado da arte, durante anos, em sistemas de reconhecimento de objetos em tempo real, em razão do compromisso entre velocidade e acurácia.

YOLO, já em sua terceira versão (YOLOv3), redimensiona a imagem de entrada para 416×416 . Em seguida, divide a imagem em uma grade de células $S \times S$ (ver Figura 7). Para cada uma das células S^2 , são previstas B caixas delimitadoras de objetos, juntamente com probabilidades condicionais para a probabilidade de cada uma das classes C estar dentro dessa célula. (No caso específico do nosso problema, existem duas classes: fogo e fumaça.) Matematicamente, tem-se como predição um tensor de dimensão $S \times S \times [3 \times (B + 1 + C)]$.

Além disso, para cada caixa delimitadora, existe um valor de confiança que prevê se existe algum objeto dentro dela, sem especificar exatamente qual deles é o objeto e quão precisa é a caixa delimitadora. Se o valor de confiança para uma caixa delimitadora específica estiver acima de certo limite, a classe prevista poderá ser obtida observando as probabilidades condicionais da célula e selecionando o maior valor (REDMON et al., 2016).

Figura 7 - Modelo de detecção baseado em regressão



Fonte: Elaborada pelo autores.

1.3 Resultados da detecção de incêndio

A versão atual da detecção automática de focos de incêndio utiliza aprendizado de máquina profundo em uma rede neural de 106 camadas convolucionais treinada com 80% de um banco de dados de 5.169 imagens, contendo 8.244 marcações de ocorrências de fogo e fumaça. Em teste com 10% dos dados, isto é, 518 imagens e 761 marcações, uma classificação foi falso positivo, e 758 marcações foram identificadas corretamente, levando a uma precisão de 99,86% e um *recall* de 99,60%. Em teste real com a câmera filmando o dia inteiro durante uma semana, a frequência de alarmes falsos foi de um a cada três dias em média. Esses números mostram a confiabilidade e exatidão que se pode ter no sistema de identificação automática de incêndios. Isso está perto de superar a visão humana e, assim, ajuda a evitar o trabalho entediante de olhar o dia inteiro ao redor à procura de incêndios.

O desempenho das redes convolucionais é altamente sensível ao uso de processadores gráficos (GPU), os quais podem elevar muito seu desempenho. Sem GPU, a detecção pode levar até 10 segundos para ser concluída, enquanto testes com GPU levaram esse tempo para cerca de um terço de segundo.

As figuras a seguir ilustram situações adversas que desafiam a detecção de incêndio por visão computacional. A Figura 8, acima, ilustra a capacidade de detectar desde focos pequenos e concentrados até focos grandes e esparsos. A Figura 9, a seguir, tem reflexos de luz, e o foco é pequeno. A Figura 11 apresenta fumaça esparsa (escura) com nuvens ao fundo que dificultam a detecção, uma vez que as próprias nuvens poderiam ser confundidas com fumaça. Finalmente, a Figura 12 contém vários focos de incêndio em uma mesma imagem.

Figura 8 - Detecção de fumaça em um foco artificial no Parque Tecnológico de Belo Horizonte (BH-TEC)



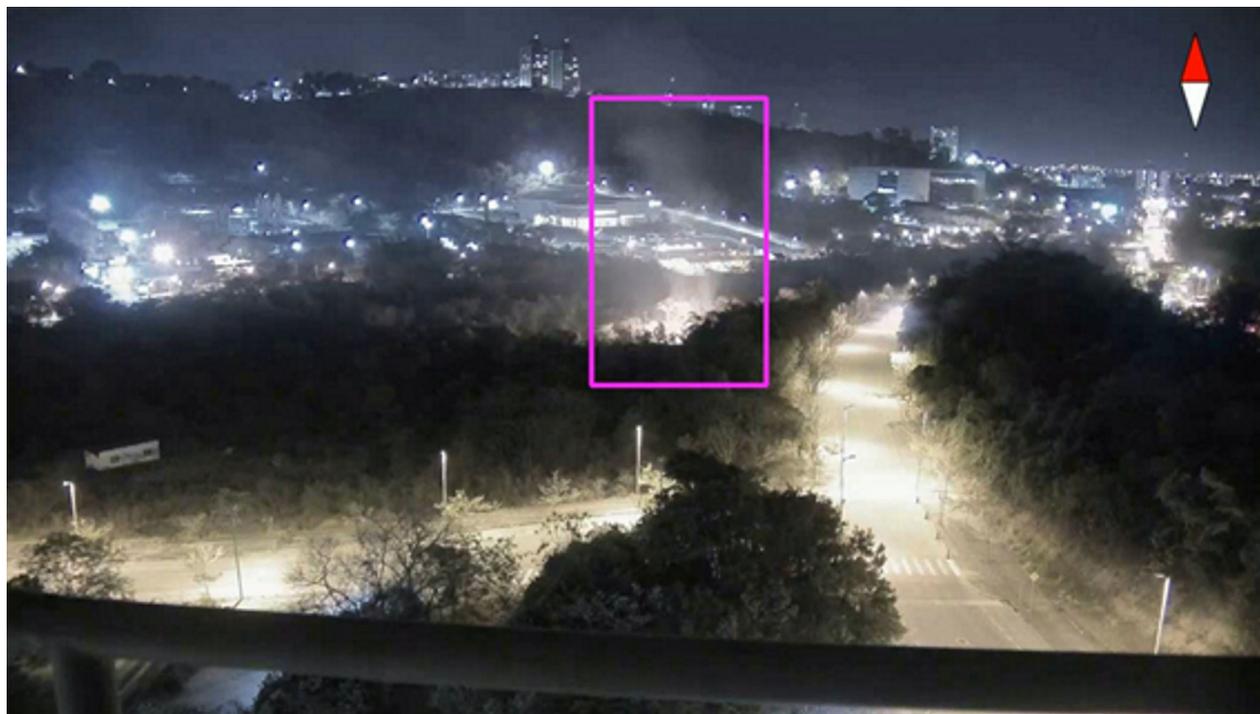
Note que a detecção ocorre desde quando o foco está pequeno e concentrado até quando está maior e espalhado.
Fonte: Registrado pelos autores.

Figura 9 - Detecção de fumaça em um foco real em frente à Usiminas vista do BH-TEC



Note que a imagem apresenta reflexos de luz e que o foco é pequeno: desafios à detecção.
Fonte: Registro feito pelos autores.

Figura 10 - Detecção de fumaça em um foco real no BH-TEC



Note que está de noite e a fumaça é iluminada apenas pelo fogo do foco.
Fonte: Registro feito pelos autores.

Figura 11 - Detecção de fumaça em um foco ensaiado feito em uma plantação de cana da Biosev



Note que o dia está nublado e que a fumaça é bem esparsa: desafios à detecção.
Fonte: Registro feito pelos autores.

Figura 12 - Detecção de fumaça em vários focos reais ao mesmo tempo no morro em frente ao BH-TEC



Fonte: registro feito pelos autores.

Figura 13 - Imagem de uma das câmeras no aplicativo WEB do projeto piloto



Fonte: Registro feito pelos autores.

1.4 Página interativa na Internet Cemig

Foi criada uma página experimental na Internet com o intuito de promover a interação entre a sociedade e o sistema de visão computacional. Por meio do *site*, as pessoas podem acessar as câmeras e gerar alarmes manuais que servem para o aprendizado do sistema.

Na Figura 13, é mostrada a entrada do site com uma explicação resumida da atividade do projeto, com a

chamada de monitoramento ambiental. É ressaltado o fato de que o sistema vai utilizar a sustentação das torres de transmissão para instalação das câmeras.

Atualmente existem pilotos instalados no Parque Tecnológico de Belo Horizonte (BH-TEC), na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e na subestação de — Bonsucesso da Cemig, em fase de implantação.

Considerações finais

A detecção de incêndio utilizando aprendizado profundo de máquina está prestes a superar a visão humana, funcionando em situações em que o ser humano teria dificuldades em enxergar. Isso tem implicações diretas sobre a precisão e amplitude com que as redes e linhas aéreas de energia e seus entornos são monitorados, liberando mão de obra humana para atividades mais nobres.

Neste momento, existe a previsão de instalação do sistema para testes no Parque Serra Verde e no Parque do Rola Moça, ambos na Região Metropolitana de Belo Horizonte. O projeto está só começando e vai durar três anos: muita coisa vai se realizar até ser finalizado e vamos contar com o apoio voluntário da sociedade na Internet para fazermos os testes nos sistemas.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer o suporte técnico e financeiro da Cemig-D para a realização deste projeto.

Referências

DATA SCIENCE ACADEMY. **Deep learning book**. [2018]. Disponível em: <http://deeplearningbook.com.br>. Acesso em: 11 nov. 2019.

INPE. [2019]. Disponível em: <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/situacao-atual/>. Acesso em: 15 nov. 2019.

WWF. **Five things you need to know about our living planet in 2018**. [2018]. Disponível em: <https://www.dw.com/en/five-things-you-need-to-know-about-our-living-planet-in-2018/a-46074931>. Acesso em: 15 nov. 2019.

CEMIG. **Cemig alerta para aumento de queimadas nesta época do ano**. [2017]. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/sites/Imprensa/pt-br/Paginas/cemig-queimadas-seguranca-alerta.aspx>. Acesso em: 15 nov. 2019.

DIOS, J. R. M. et al. **Computer vision techniques for forest fire perception**. *Image and Vision Computing*, v. 26, n. 4, p. 550-562, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2007.07.002>

HOHBERG, S. P. **Wildfire smoke detection using convolutional neural networks**. 2015. Master Thesis (Master of Science). Fachbereich Mathematik und Informatik, Freie Universität Berlin, Berlin, 2015.

KONG, S. G. et al. Fast fire flame detection in surveillance video using logistic regression and temporal smoothing. *Fire Safety Journal*, v. 79, p. 37-43, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fire-saf.2015.11.015>

STEFFENS, C. R. **Um sistema de detecção de fogo baseado em vídeo**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Computação) – Centro de Ciências Computacionais, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2015.

VIEIRA, D. A. G. et al. Visão computacional para monitoramento ambiental das áreas cobertas por linhas de transmissão utilizando reconhecimento de padrões. In: CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA – CITENEL, 8., 2015, Costa do Sauípe. **Anais do CITENEL 2015**. Brasília, DF: ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, 2015. p. 1-8.

Imagenet. [2019]. Disponível em: <http://www.image-net.org/challenges/LSVRC/>. Acesso em: 15 nov. 2019.

REDMON, J. et al. You only look once: Unified, real-time object detection. In: CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION, 2016, Las Vegas. **Proceedings of the CVPR 2016**. Las Vegas: IEEE, 2016. p. 779-788. DOI: <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.91>



RAPHAELLA DIAS

A IMPORTÂNCIA DA INSERÇÃO DE PARÂMETROS URBANÍSTICOS NA DEFINIÇÃO DE ARQUÉTIPOS ENERGÉTICOS

TATIANA PAULA ALVES*

LUIZ MACHADO**

ROBERTA VIEIRA GONÇALVES DE SOUZA***

RESUMO Compreender as interações energéticas do edifício é essencial para propor melhorias para o seu desempenho. O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia para identificar e estimar os padrões de consumo de energia de uma tipologia específica de edifícios tendo como ponto de partida a investigação das regulações urbanísticas, os dados do Imposto Territorial Urbano e as pesquisas de campo. Um estudo de caso foi realizado para Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. Três tipologias representativas dos edifícios comerciais foram identificadas. Para cada tipologia, arquétipos energéticos foram modelados a fim de estimar suas intensidades de consumo energético. Os resultados apresentam diferenças significativas entre os arquétipos, exemplificando o impacto das escolhas técnicas no consumo de energia e evidenciando uma tendência em novos edifícios de crescimento do consumo de energia.

PALAVRAS-CHAVE Modelagem energética de arquétipos. Simulação termoenergética. Linha base de consumo de energia.

THE IMPORTANCE OF URBAN PARAMETERS IN ENERGY ARCHETYPE MODELING

ABSTRACT Better understanding of building interactions is a key to improve building energy performance. This study develops a framework to estimate the Energy Use Intensity (EUI) baseline of an existing building stock category based on the investigation of land use legislations, a land tax database and field surveys. A case study of the high-rise commercial building stock took place in the city of Belo Horizonte, Brazil. Three representative typologies were identified. For each of these, archetype energy models were modeled in order to assess EUI. The analysis of the EUI baselines highlights differences between archetypes, explaining the impact of technical choices on the overall electricity consumption and indicating a growth tendency of energy consumption for forthcoming buildings.

KEYWORDS Building stock energy modelling. Building energy performance simulation. Energy use baseline.

* Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica (PPGMEC), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) - alvestianapaula@gmail.com

** Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica (PPGMEC), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) - luizm@demec.ufmg.br

*** Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética em Edificações (LABCON), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) - robertavgs2@gmail.com

Introdução

A intensificação da urbanização e da industrialização que se deu nas últimas décadas tem requerido produtos industriais e serviços que dependem cada vez mais de energia, indicando um cenário de crescimento no consumo de eletricidade (UNITED NATIONS, 2014).

O setor de edificações está entre os maiores consumidores de energia elétrica no Brasil. Segundo o Balanço Energético Nacional, a participação do setor de edificações (residencial, comercial e público) no consumo geral de energia elétrica no Brasil é de aproximadamente 50%, parcela significativa a ser considerada nos programas que visam à conservação de energia (BRASIL, 2019).

Neste contexto, o desenvolvimento de políticas energéticas constitui um importante meio de promoção da eficiência energética em edificações. No entanto, em âmbito mundial, os instrumentos regulatórios dessas políticas encontram-se focados no desenvolvimento de padrões de eficiência energética para novos edifícios, em detrimento de políticas destinadas à eficiência energética de edificações existentes. Essa situação começa a mudar principalmente em contextos em que a consolidação dos processos de industrialização e de urbanização indica um elevado estoque de edifícios tecnologicamente ultrapassados e com um elevado potencial de redução de consumo de energia elétrica por meio de ações de *retrofitting* (WAIDE; AMANN; HINGE, 2007).

No Brasil, os primeiros passos em direção à eficiência energética de edifícios foram dados em 2001 com a promulgação da Lei 10.295 – Lei de Eficiência Energética –, que estabeleceu os princípios básicos para a política nacional de conservação de energia. Em 2009, foram publicados os Regulamentos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C, que estabeleciam critérios para a etiquetagem de edificações, reforçando, assim, as ações governamentais em prol da eficiência do uso da energia (BRASIL, 2010). No entanto, cabe pontuar a inexistência de instrumentos regulatórios focados no consumo de energia de edificações existentes.

Compreender o comportamento energético e o padrão de consumo de energia dos edifícios é essencial para que sejam desenvolvidas estratégias e técnicas para a melhoria do desempenho energético e ambiental do estoque de edifícios existentes (GONÇALVES; BODE, 2015). No centro da discussão, existem dois tópicos importantes: a modelagem de uma linha base de consumo de energia representativa dos padrões de consumo energético e a modernização do estoque de edifícios existentes.

Entre as diversas técnicas de modelagem de consumo energético de estoque de edifícios relatadas em estudos recentes, a que melhor se aproxima dos objetivos dessa abordagem é a chamada modelagem por meio de construção de arquétipo (CAPUTO; COSTA; FERRARI, 2013). Essa técnica agrupa o estoque de edifícios existentes segundo critérios definidos, tais como idade, tamanho, uso, atributos físicos, e utiliza esses critérios para definir arquétipos energéticos representativos dos padrões de consumo desses edifícios. Os arquétipos são, então, utilizados para escalonamento dos consumos energéticos em níveis urbanos com base no peso de sua representatividade no estoque de edifícios existentes. São dois os principais benefícios da utilização da técnica de construção de arquétipos: a capacidade de estimar o consumo de energia sem precisar contar com dados históricos de consumo dos edifícios e a capacidade de avaliar o impacto de ações futuras de *retrofit* nesse consumo de energia (SWAN; UGURSAL, 2009). Exemplos da aplicação dessa técnica podem ser vistos nos estudos de Ballarini, Corgnati e Corrado (2014) e Heeren et al. (2013), assim como no trabalho de revisão bibliográfica apresentado por Reinhart e Cerezo Davila (2016).

No que diz respeito ao contexto brasileiro, ainda são poucos os trabalhos de modelagem energética de estoque de edifícios existentes, o que pode ser explicado pela falta de conhecimento dos padrões de consumo de energia dos edifícios ou da pouca disponibilidade de acesso a dados de consumo de energia. Poucos estudos foram realizados para superar essas dificuldades, sendo importante citar Borgstein e Lamberts (2014), que coletaram dados do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) para propor e testar uma metodologia para o desenvolvimento de modelos de referência para o consumo de energia de agências bancárias no Brasil; Melo et al. (2014), que investigaram a aplicabilidade de redes neurais (RNAs) como uma técnica de modelagem para melhorar a precisão dos modelos prescritivos propostos no programa de etiquetagem, e Veloso, Souza e Koury (2017), que analisaram a influência das estratégias

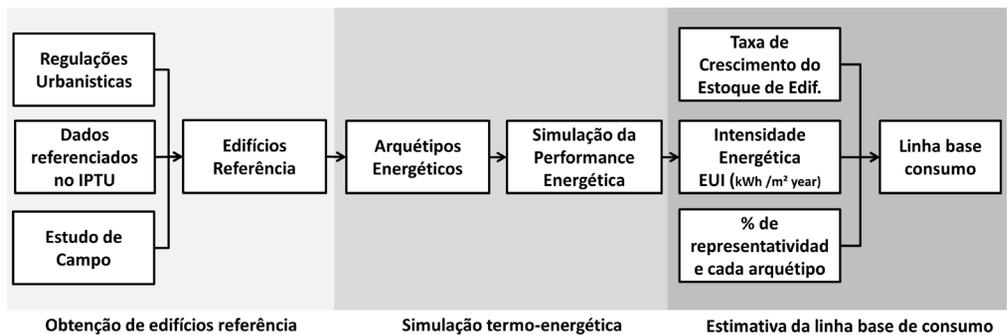
projetuais no consumo de energia de edifícios não residenciais na cidade de Belo Horizonte tendo como comparação dados reais de consumo.

Ainda assim, os estudos evidenciam a ausência de dados construtivos e de consumo do estoque de edifícios no Brasil, demonstrando a necessidade de novos estudos e informações nessa área. Com base nessas considerações, o objetivo central deste trabalho foi desenvolver uma metodologia para identificar e estimar os padrões de consumo de energia de uma tipologia específica de edifícios existentes. Um estudo de caso foi realizado na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, a fim de identificar as intensidades energéticas e estimar a linha base de consumo de energia elétrica dos edifícios comerciais de grande porte da cidade. A escolha da cidade de Belo Horizonte apoia-se na importância socioeconômica da cidade no contexto mineiro e nacional e na existência de dados confiáveis do setor de edificações necessários ao desenvolvimento desta pesquisa.

1 Metodologia

A metodologia proposta para identificar as intensidades energéticas e estimar a linha base de consumo de energia de uma tipologia específica de edifícios existentes pode ser visualizada na Figura 1. No fluxograma, as regulações urbanísticas, o banco de dados referenciado em registros do Imposto Predial e Territorial Urbano – IPTU e o estudo de campo são os dados de entrada para a construção de edifícios-referência que darão origem aos arquétipos energéticos utilizados para modelagem da linha base de consumo de energia.

Figura 1 – Fluxograma do procedimento metodológico proposto



Fonte: Elaborada pelos autores.

1.1 Estudo de Caso: procedimento de modelagem do estoque de edifícios

Primeiramente, as legislações urbanísticas da cidade foram investigadas com o intuito de estabelecer uma relação entre os parâmetros urbanísticos vigentes ao longo da história da cidade, as tipologias dos edifícios verticais de grande porte existentes e a sua localização na malha urbana. Essa primeira fase do estudo definiu três momentos significativos de mudança nos parâmetros urbanísticos, gerando uma classificação do estoque de edifícios comerciais de grande porte em três categorias denominadas Classe I, Classe II e Classe III.

Em um segundo momento, o banco de dados fornecido pela Secretaria Municipal Adjunta de Planejamento Urbano – SMAPU/PBH, com base em registros do Imposto Predial e Territorial Urbano – IPTU, foi utilizado para coletar informações básicas dos edifícios comerciais de grande porte da cidade de Belo Horizonte. As características utilizadas para descrever o estoque foram ano de construção, localização, área construída, altura estimada e quantidade de índices cadastrais associados ao mesmo endereço, que, nesse caso específico, fornecem evidências se o edifício tem características associadas a escritórios compartimentados ou pavimentos corridos. A análise do banco de dados SMAPU/PBH resultou na identificação de 298 prédios comerciais de grande porte para serem estudados na pesquisa de campo.

Em um terceiro momento, um estudo de campo foi realizado com a finalidade de identificar características físicas da edificação, do seu entorno, bem como dos sistemas de engenharia complementar (iluminação e condicionamento ambiental). O estudo de campo realizado consta de três etapas: (1) coleta e análise de dados utilizando o Diagrama Morfológico Adaptado (DMA), (2) visita *in loco* e (3) investigação das distribuições internas dos pavimentos tipo de edifícios comerciais de grande porte da cidade.

O endereço relatado na base de dados da SMAPU/BH foi o ponto de partida para a localização dos edifícios na malha urbana da cidade. Os edifícios foram identificados utilizando a ferramenta Google Earth®, e suas imagens, capturadas por meio do recurso Street View para análise no DMA. A Figura 2 apresenta um exemplo de imagens capturadas para análise dos parâmetros listados no DMA.

Figura 2 - Edifício Contorno Plaza, imagens capturadas para análise no DMA



Fonte: Google Earth/Street View. Acesso em 23 set. 2016.

Com os dados obtidos, a ferramenta desenvolvida por Backer, Fanchiotti e Steemers (2013) e adaptada por Amorim (2007), chamada de Diagrama Morfológico, foi utilizada para agrupar elementos tipológicos recorrentes e impactantes no conforto ambiental e eficiência energética das edificações. Nesta pesquisa, o Diagrama Morfológico originalmente proposto por Amorim (2007) foi adaptado e denominado de Diagrama Morfológico Adaptado (DMA). O DMA elaborado apresenta informações categorizadas em parâmetros urbanos e prediais. Os parâmetros urbanos analisados foram largura viária e ângulo de céu visível. Ambos os parâmetros estão relacionados ao acesso à radiação solar e, conseqüentemente, ao conforto térmico. Os parâmetros de construção analisados foram refletância de fachadas com base no padrão de cores, orientação do edifício, altura do edifício, forma do edifício, percentual de aberturas na fachada (WWR), controle solar e sistemas de condicionamento térmico.

O segundo passo do levantamento de campo foi a visita realizada em 12 edifícios participantes da amostra e representativos da tipologia predominante identificada na primeira fase do levantamento de campo (edifício Classe 2). Foram visitados 60 ambientes e coletadas informações relacionadas à iluminação artificial, ao condicionamento ambiental e a rotinas de uso de ambos os sistemas.

Completando o levantamento de campo, foram analisados, em termos de distribuição espacial interna, 19 pavimentos, tipo de edificações participantes da amostra. As proporcionalidades de área foram estabelecidas tendo como referência os usos: circulação vertical (escadas e elevadores) e horizontal, apoio técnico (depósitos, *shafts*, áreas técnicas etc.) e espaços de trabalho. As sínteses das informações foram utilizadas para construção das proporcionalidades de áreas dos protótipos utilizados para as simulações energéticas.

1.2 A caracterização dos arquétipos e o procedimento de simulação

As informações sintetizadas das regulações urbanísticas, do banco de dados SMAPU/PBH e da pesquisa de campo foram usadas para descrever os atributos predominantes para as três tipologias representativas de edifícios comerciais de grande porte da cidade (Edifícios Classe I, Classe II e Classe III). Para cada classe, foram modelados arquétipos energéticos. O programa utilizado para as simulações termoeenergéticas foi o *EnergyPlus V 8.1* (US, 2015). As simulações foram realizadas em base anual (8.760 horas) utilizando o arquivo climático TRY (*Test Reference Year*) para a cidade de Belo Horizonte, disponível no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES, 2016).

As informações necessárias à caracterização energética dos arquétipos foram subdivididas em quatro categorias: edifício, envoltórias, sistemas prediais e padrões de uso e ocupação. Os parâmetros relacionados às características físicas dos arquétipos foram baseados em informações do banco de dados SMAPU/PBH e do levantamento de campo. Informações específicas das envoltórias, tais como valores de transmitância térmica (U), absortâncias e fator solar (FS), foram obtidas em normas brasileiras, catálogos técnicos e guias referenciais na área de eficiência energética e foram referenciados no padrão construtivo predominante no mercado da construção civil brasileiro. Características dos sistemas prediais, bem como de suas rotinas, foram obtidas por meio do levantamento de campo e de guias internacionais, tais como American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineering – ASHRAE/2010 e Chartered Institution of Building Services Engineers – CIBSE/2004. Observa-se, ainda, que a densidade de potência adotada para a iluminação e o COP dos sistemas de condicionamento ambiental referenciam as classes de eficiência do RTQ-C e foram estipulados tomando como base a potência das lâmpadas e os tipos de equipamentos de condicionamento encontrados durante o levantamento de campo.

Neste trabalho, optou-se por simular exclusivamente a torre principal dos arquétipos. Para descrição detalhada das interações energéticas dos arquétipos, dividiu-se a torre de escritórios em três tipos de pavimentos de referência: pavimento piloto, pavimento intermediário e pavimento de cobertura. Quatro conjuntos de simulações

foram executados para cada arquétipo, considerando a malha urbana da cidade (15°, 105°, 195°, 285°). Os resultados obtidos de EUI para os arquétipos foram apresentados em termos dos valores médios obtidos, dividindo a soma dos valores observados pelo número de simulações realizadas.

Entre as características determinantes da simulação dos arquétipos, está a da ventilação híbrida (ventilação natural e condicionamento de ar janela/split). A simulação da ventilação natural foi realizada no *EnergyPlus* por meio do *Airflow Network, Multi-zona*, sendo os coeficientes de pressão do vento calculados pelo próprio software. As aberturas das janelas são controladas pela temperatura, ou seja, quando a temperatura do ar do ambiente é igual ou superior à temperatura do termostato e quando a temperatura do ar do ambiente é superior a temperatura externa, as janelas são acionadas. A temperatura de termostato utilizada foi de 20°C, valor referenciado no RTQ-R (BRASIL, 2012). Os coeficientes e expoentes de fluxo de ar para as aberturas são mostrados no Quadro 1.

Quadro 1 - Parâmetros utilizados na simulação da ventilação natural

Componente	Janela pivotante de metal, eixo vertical, com vedação.	Porta interna de madeira, 1 folha pivotante
Coefficiente Fluxo de ar porta fechada (kg/sm)	0.00041	0.00204
Expoente de fluxo de ar porta fechada (adimensional)	0.66	0.59
Coefficiente de Descarga para abertura Fator 2 (adimensional)	0.6	0.65

Fonte: LIDDAMENT (1986) – Adaptada pelos autores.

De modo a estabelecer uma rotina de ventilação natural, foi criada uma rotina de controle baseada no modelo adaptativo de conforto térmico ASHRAE Standard 55 (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERING, 2004). Para as horas de operação do edifício em que os valores provenientes da simulação se encontravam dentro dos limites de aceitabilidade de 90%, foi possível a ventilação natural, caso contrário, o sistema de ar condicionado seria acionado. Com base nessas informações, foram montados os *schedules* de funcionamento da ventilação natural e do condicionamento artificial. Foram adotados *schedules* em base horária para as 8.760 horas do ano. Os *schedules* de ventilação natural indicam, em cada hora, o valor correspondente a 0 (zero) ou 1 (um). O valor 0 (zero) significa que não há ventilação natural ocorrendo, e o valor 1 (um), que a ventilação natural está sendo possível. Os *schedules* do ar condicionado apresentam rotinas opostas à da ventilação natural.

1.3 Validação do arquétipo energético

No contexto deste estudo, não existiam dados de consumo de eletricidade disponíveis dos edifícios estudados e, portanto, a validação empírica não foi possível. Em relação a estudos semelhantes, o realizado pelo Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) e denominado *Benchmarking* de escritórios corporativos (CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS, 2015) foi utilizado para estabelecer uma comparação com os resultados de EUI obtidos na simulação dos arquétipos energéticos. No entanto, pelas características do *Benchmarking* (edifícios com centrais de ar condicionado), foi possível validar apenas o arquétipo energético Classe III. A diferença de EUI entre o valor padrão obtido no *Benchmarking* e o arquétipo Classe III desenvolvido foi da ordem de 1,2%, indicando a validade da modelagem energética desenvolvida. Vale ainda observar que, devido à impossibilidade de acesso aos dados reais de consumo de energia elétrica do estoque de edifícios existentes, não se estabeleceu comparação da linha base de consumo de energia elétrica desenvolvida neste estudo.

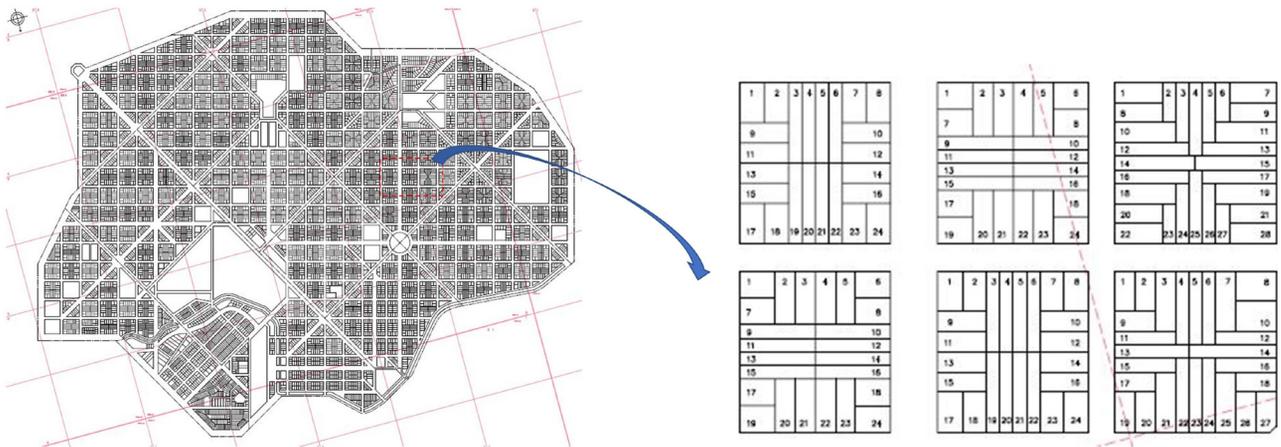
2 Resultados e discussão

2.1 A evolução dos edifícios comerciais de Belo Horizonte segundo as regulações urbanística e construtiva da cidade

A cidade de Belo Horizonte foi fundada em 1897 para ser a sede política e administrativa do Estado de Minas Gerais, Brasil. O plano original dividia a cidade em três zonas (urbana, suburbana e rural) e estabelecia uma malha racional e ortogonal para a zona urbana delimitada pela Avenida do Contorno, como mostra a Figura 3. A malha original apresenta ângulo de 15° em relação ao Norte e é composta basicamente de três formas geométricas, todas elas oriundas do traçado ortogonal: 120x120m (a mais comum), 120x60m e a forma triangular nascida das inserções de avenidas diagonais sobrepostas à malha ortogonal (NORONHA, 1999).

Em Belo Horizonte, os edifícios comerciais de grande porte efetivamente surgiram em meados da década de 1940, fruto da combinação de dois fatores: a legislação que incentivava a verticalização e o acesso aos avanços tecnológicos da construção civil.

Figura 3 – Traçado urbano original da cidade e suas subdivisões em lotes



Fonte: Base de dados digital PBH (PBH, 2019) – elaborada pelos autores.

Analisando edifícios comerciais de grande porte, três momentos se destacam no que diz respeito às legislações de uso do solo e construtivas que influenciaram a tipologia e a distribuição dos edifícios na cidade. Os três momentos identificados são: (1) o Decreto nº 165 de 1933 e o Código de Obras de 1940, (2) a Lei de Uso e Ocupação do Solo – LUOS de 1976 e (3) a LUOS de 1996.

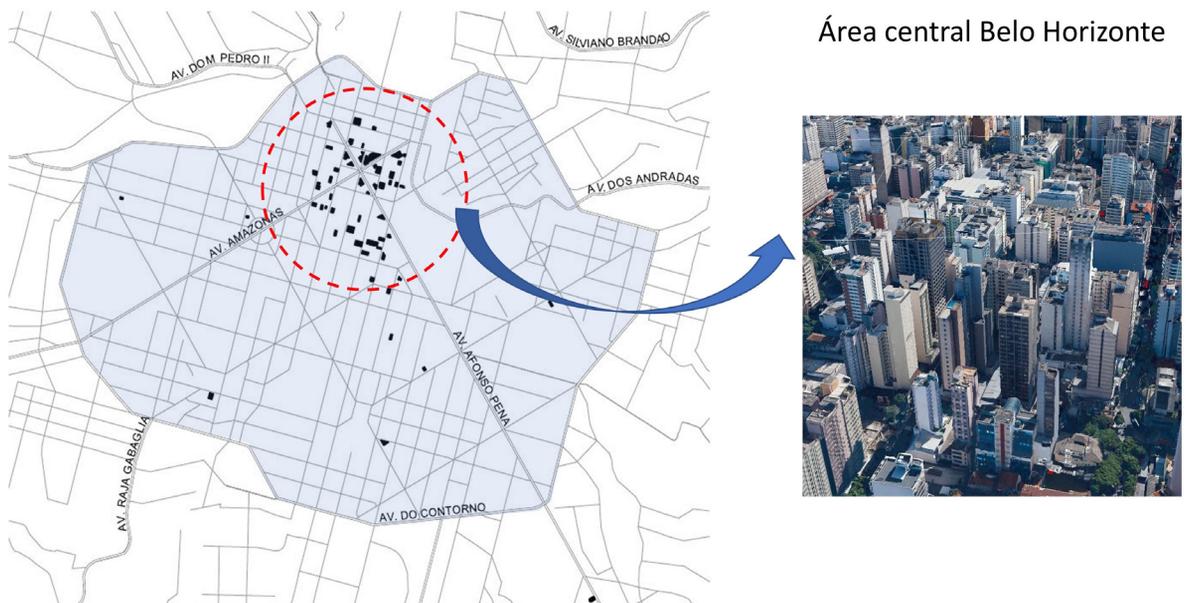
O Decreto nº 165 de 1933 (BELO HORIZONTE, 1933) modificou o Regulamento Geral de Construções em Belo Horizonte suprimindo as exigências de afastamentos laterais e de fundo para a zona comercial da cidade, permitindo, assim, que as construções se verticalizassem até as divisas. A área comercial da cidade passou, assim, a ser destinada à verticalização e, juntamente com esse processo, a região transformou-se em um polo atrativo de comércio e serviços de toda a cidade.

O Código de Obras de 1940 (BELO HORIZONTE, 1940) estabeleceu as normas e as condições para execução, por agente particular ou público, de toda e qualquer construção, modificação ou demolição de edificações na cidade. Entre as regras estabelecidas quanto a conforto ambiental, duas chamam a atenção por interferirem em características tipológicas dos edifícios. A ventilação e a iluminação natural passaram a ser requeridas em todos os cômodos de permanência prolongada, sendo estabelecidas por meio de uma relação entre tamanho da abertura e área do cômodo. No caso específico da iluminação, o Código de Obras limita a profundidade dos ambientes, uma vez que exige que nenhum ponto do compartimento diste do vão de iluminação, livre de obstáculos, mais que duas vezes e meia o seu pé-direito. A possibilidade de se construir

até a divisa na região comercial central da cidade combinada com o requerimento de iluminação natural do Código de Obras favoreceu o surgimento de edificações com pátios internos destinados à iluminação e consequentemente à utilização de formas construtivas em “C”, “E” e “H”.

As décadas de 1950, 1960 e 1970 foram marcadas por um crescimento acentuado da população e, consequentemente, densificação e verticalização da zona comercial central da cidade em resposta às regulações urbanísticas da época. A Figura 3 ilustra, no contexto da cidade, a localização dos edifícios comerciais de grande porte com datas de construção referenciadas nas décadas de 40, 50, 60 e 70.

Figura 4 – Imagem ilustrativa do estoque de edifícios comerciais de grande porte com datas de construção referenciadas nas décadas de 40, 50, 60 e 70



Fonte: Base de dados digital PBH (PBH, 2019) – elaborada pelos autores.

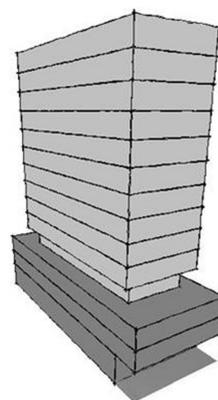
A LUOS de 1976 (BELO HORIZONTE, 1976) representou o estabelecimento de um conjunto de regras para uma ocupação bastante controlada do espaço físico. Assim, os usos permitidos eram definidos pelas zonas (residencial, comercial, industrial e institucional), e a ocupação, por modelos de assentamento. Em um cruzamento dessas informações, chegava-se a um conjunto de parâmetros urbanísticos para o terreno. Entre os parâmetros estabelecidos, três se destacam por impactar a tipologia e o conforto ambiental dos edifícios: o coeficiente de aproveitamento (CA), a taxa de ocupação

(TO) e os afastamentos frontais, laterais e de fundo. O coeficiente CA diz respeito ao potencial construtivo do terreno; em outras palavras, sua capacidade de verticalização. A taxa de ocupação é a relação percentual entre a projeção da edificação e a área do terreno. Os afastamentos (frontal, lateral e fundo) dizem respeito à menor distância permitida entre a edificação e o alinhamento de divisa. A Figura 5 exemplifica, em termos de volumetria, o que poderia ser construído seguindo os parâmetros estipulados pela legislação para zona comercial denominada de ZC6 segundo a LUOS/76.

Figura 5 – Parâmetros urbanísticos e volumetria possível dos edifícios verticais segundo a LUOS/76, considerando terreno do parcelamento original da região (15x40m)

Coeficiente de Aproveitamento (CA)		8.0
Taxa de Ocupação	Térreo, 2º, 3º	100%
	Demais pavimentos	50%
Afastamento lateral	Fachadas cegas	0
	Fachadas com aberturas	1.5
Afastamento fundo	Acima do 3º piso	5.0
Afastamento frontal	Térreo	4.0
	Pavimento 2º, 3º	0
	Demais pavimentos	4.0

1	2	3	4	5	6	7	8
9							10
11							12
13							14
15							16
17	18	19	20	21	22	23	24



Fonte: LUOS/76 – Elaborada pelos autores.

Levando em consideração os parâmetros descritos, é importante perceber que são capazes de impactar o desenho do cânion urbano e, conseqüentemente, o acesso dos edifícios à ventilação e à iluminação natural. Como consequência da LUOS/76, podemos ainda identificar a descentralização das edificações comerciais de grande porte. A LUOS/76 favorece o surgimento de edifícios comerciais de grande porte ao longo das principais avenidas de acesso aos bairros e periferias, como pode ser visualizado na Figura 6. A LUOS/76 foi revisada em 1985, mas os parâmetros urbanísticos relacionados ao uso comercial na região central e nos principais eixos viários permaneceram inalterados.

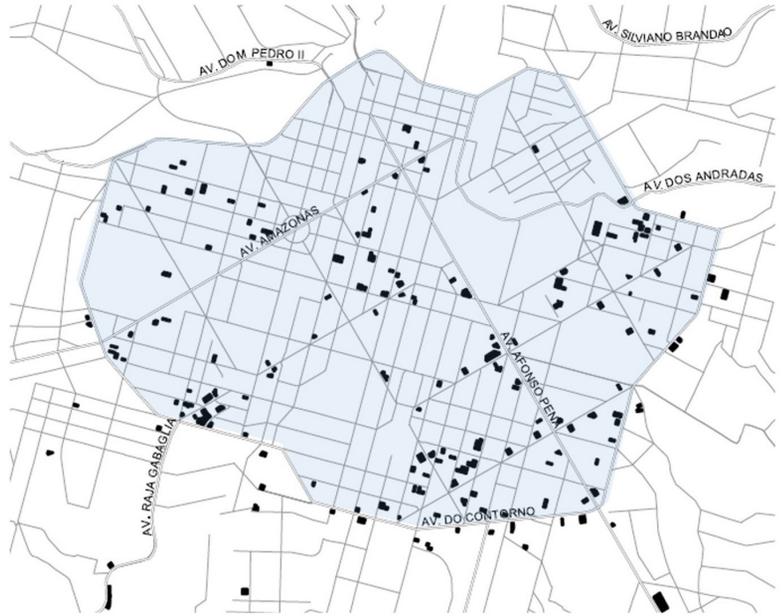
A Lei de Uso e Ocupação de 1996 – LUOS/96 (BELO HORIZONTE, 1996) – redefiniu todo o zoneamento de acordo com o potencial de adensamento, dado pela disponibilidade de infraestrutura instalada, pela qualidade do sistema de circulação viária e pelas demandas de preservação ambiental, histórica, cultural, arqueológica ou paisagística de cada área. Em termos dos parâmetros urbanísticos que interferem

em questões de conforto ambiental, observou-se a diminuição do coeficiente CA, o que indica um esforço de diminuir o adensamento de algumas regiões comerciais e o atrelamento dos afastamentos (laterais e de fundo) à altura das edificações, indicando uma intenção de preservar o acesso à luz e à ventilação natural. A Figura 7 exemplifica, em termos de volumetria, o que poderia ser construído seguindo os parâmetros estipulados pela legislação para zona comercial denominada de ZCBH, segundo a LUOS/96.

De modo geral, a LUOS/96 manteve o centro tradicional como núcleo principal de concentração de estabelecimentos de comércio e serviços e reforçou a irradiação dessas atividades ao longo das principais vias consolidando centralidades lineares. A LUOS/96 foi revisada em 2000, mas os parâmetros urbanísticos relacionados ao uso comercial na região central e nos principais eixos viários permaneceram inalterados.

Em 2010, a legislação foi revisada novamente. As mudanças mais significativas

Figura 6 - Localização dos edifícios comerciais de grande porte das décadas de 80 e 90 na malha urbana atual da cidade



Fonte: Base de dados digital PBH (PBH, 2019) – elaborada pelos autores.

Figura 7 – Parâmetros urbanísticos e volumetria possível dos edifícios verticais segundo a LUOS/96, considerando terreno do parcelamento original da região

Coefficiente de Aproveitamento (CA) 3.0

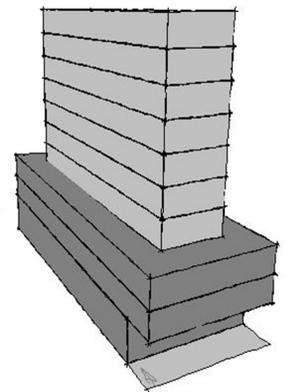
Taxa de Ocupação -

Afastamento lateral e Fundo $2.30 + \frac{H + 12.00}{b}$ (Equação 01)

Sendo H = altura do edifício e b coeficiente definido como 10 para área central e 4 para as demais áreas

Afastamento frontal Relação com rua, sendo 4m para ruas coletoras e arteriais e 3m para locais

1	2	3	4	5	6	7	8
9							10
11							12
13							14
15							16
17	18	19	20	21	22	23	24



Fonte: LUOS/96 – Elaborada pelos autores.

foram relativas à redução do potencial construtivo e à mudança na forma de cálculo da área construída das edificações inserindo regras mais restritivas ao aproveitamento do potencial construtivo dos terrenos. Em média, o potencial construtivo dos terrenos da cidade foi diminuído 10%.

Resumindo a linha do tempo das regulações urbanísticas em Belo Horizonte, foram observados dois momentos de inflexão capazes de influenciar as tipologias e a distribuição dos edifícios pela cidade: a introdução da LUOS/76 e da LUOS/96. As mudanças promovidas pela LUOS/76 e LUOS/96 na volumetria dos edifícios e sua distribuição na cidade, que levaram a diferentes contextos de entorno, foram os pontos de partida para propor a classificação dos edifícios em Classe I, Classe II e Classe III. Os identificados como Classe I estão relacionados a edifícios das décadas de 40, 50, 60 e 70; a Classe II está relacionada a edifícios das décadas de 80 e 90, e a Classe III está relacionada a edifícios construídos a partir do ano 2000.

2.2 A representatividade das tipologias e suas características predominantes

Segundo o banco de dados do SMAPU/PBH, a cidade de Belo Horizonte registra em sua malha edificada aproximadamente 4.577.000 m² associados a edifícios comerciais. Desse total, cerca de 55% estão relacionados a edificações verticais de grande porte definido nesta pesquisa como edifícios acima de 10 pavimentos.

Considerando a classificação proposta para este estudo (Classe I, II e III), o banco de dados do SMAPU/PBH indica, no contexto da cidade, a prevalência dos edifícios Classe II (52%) seguidos por edifícios Classe I (27%) e Classe III (21%). O banco de dados indica, ainda, que os edifícios Classe I e II são constituídos por salas com metragens inferiores a 50m², enquanto os edifícios Classe III são constituídos por salas com metragens superiores a 200m², o que atribui aos edifícios Classe I e II a característica de edifícios compartimentados e aos Edifícios Classe III a característica de edifícios de planta aberta.

A Tabela 1 apresenta as informações sintetizadas com base nas análises do Diagrama Morfológico Adaptado – DMA.

Tabela 1 Características predominantes dos edifícios Classe I, II e III

	Classe I	Classe II	Classe III
Largura Viária	Entre 10 e 20 m	Entre 10 e 20 m	Entre 10 e 20 m
Ângulo de Visão de Céu	Até 30°	Entre 30° e 60°	Entre 30° e 60°
Refletâncias de Fachada	Cores claras	Frontal heterogênea, demais cores claras	Frontal heterogênea, demais cores claras
Orientação Solar - Fachadas	Sem orientação prevalente	Sem orientação prevalente	Sem orientação prevalente
Número de Pavimentos	15 andares	15 andares	13 andares
Forma do edifício	Retangular/com pátio interno de iluminação	Retangular	Retangular
Percentual de aberturas na fachada	Frente	50%	50%
	Laterais	Cega	50%
	Fundo	50%	50%
Cor dos vidros	Transparente	Fumê	Verde
Controle Solar	Cortinas/venezianas	Cortinas/venezianas	Cortinas/Venezianas
Condicionamento Térmico	Ar janela ou split	Ar janela ou split	Ar janela ou split / ar condicionado central

Fonte: LUOS/96 – Elaborada pelos autores.

Os ângulos de visão de céu até 30° para edifícios Classe I indicam que o entorno tem alturas similares ao do edifício estudado, enquanto ângulos de visão de céu entre 30° e 60° indicam um entorno com alturas inferiores. Observa-se que as características do entorno dos edifícios Classe I refletem a localização deles em uma região cuja verticalização foi incentivada ao longo da história pelas regulações urbanísticas.

Outro ponto de destaque na amostra coletada relaciona-se à prevalência de edifícios retangulares. A recorrência da forma retangular na amostra de edifícios pode ser observada como resultado da divisão fundiária original ainda presente na malha urbana da cidade e indica que o processo de verticalização se deu em substituição a imóveis antigos em um contexto urbano consolidado.

Outro elemento de destaque relaciona-se aos sistemas de condicionamento térmico. Os sistemas de condicionamento ambiental que utilizam o ar condicionado de janela ou *split* predominam nas três classes de edifícios. Nos edifícios Classe I, eles representam 92% do total da amostra, seguidos pelos edifícios Classe II, com 84%, pelos edifícios Classe III, com 60%. No entanto, chama a atenção o acentuado crescimento no uso de sistemas de condicionamento central nos edifícios Classe III. Os edifícios

climatizados por sistemas centrais representam 40% do total da amostra dos edifícios dessa classe. A presença do condicionamento de ar central aliado a ambientes com grandes metragens nos edifícios Classe III mostra uma tendência de modificação na concepção dos edifícios comerciais de grande porte da cidade, que passaram de edifícios compartimentados (andares divididos em pequenas salas) para edifícios tipo planta aberta.

Dando continuidade ao estudo de campo, as visitas *in loco* realizadas em edifícios Classe I e II indicam a predominância de iluminação tubular fluorescente. Observa-se que 7% das salas utilizam lâmpadas Led, 15%, lâmpadas fluorescentes compactas, e 78%, lâmpadas fluorescentes tubulares. Entre as lâmpadas fluorescentes tubulares, predominam as lâmpadas de 40/20W, com 62% do total, seguidas pelas 32/16W, com 30%, e pelas 28/14W, com 8%. Outro dado registrado é que, em 47% dos ambientes, não existem subdivisões da iluminação da sala em circuitos, e o acendimento é realizado de forma total em um único interruptor localizado junto à porta de entrada da sala. Nos 53% restantes dos ambientes que apresentam subdivisões em circuitos, estes não foram identificados como elementos de integração com a iluminação natural.

As informações de condicionamento ambiental registradas no levantamento *in loco* indicam a predominância do sistema híbrido (ventilação natural/ar condicionado de janela ou split). Entre os sistemas de condicionamento, o ar condicionado de janela representa 58% do total, seguido por equipamentos split com 25%. As classes de eficiência energética indicam a predominância de equipamentos Classes B (ar condicionado janela) e C (split). O levantamento indica, ainda, que, em 82% dos ambientes que utilizam condicionamento de ar, o equipamento só é ligado ao longo do ano quando o usuário sente necessidade de resfriar o ambiente de trabalho, evidenciando, assim, uma rotina híbrida de condicionamento ambiental.

Finalizando o levantamento de campo, as proporcionalidades das áreas internas do pavimento tipo indicam que, em média, 80% do pavimento é dedicado ao uso como área de trabalho, 15%, como circulação horizontal e vertical, e 5% funcionam como áreas de apoio.

2.3 Os arquétipos energéticos das tipologias Classe I, II e III e as simulações termoenergéticas

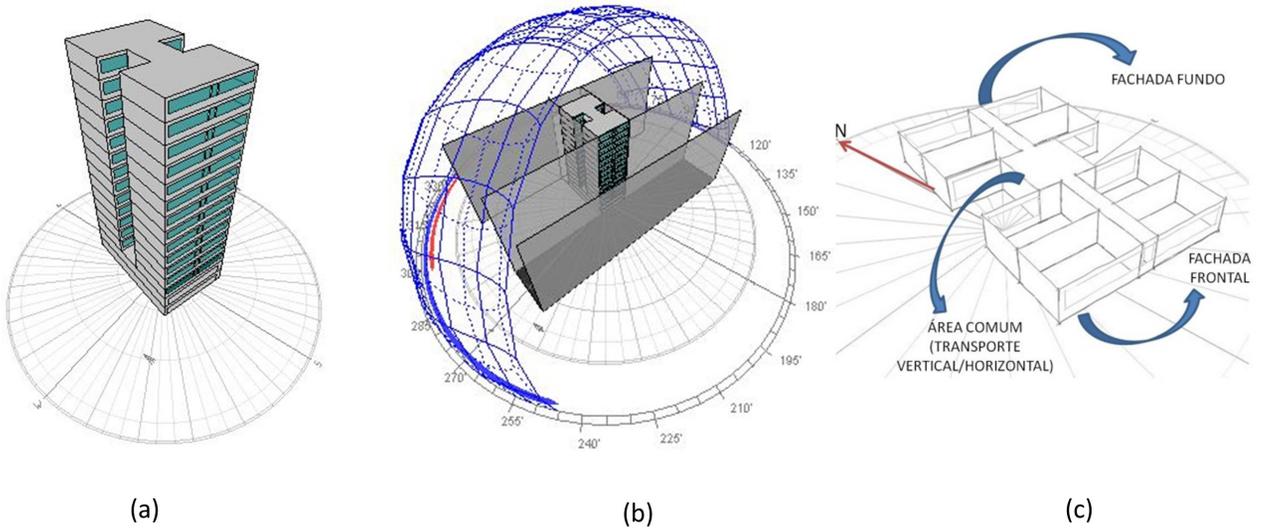
Tabela 2 - Parâmetros de desempenho termoenergético dos arquétipos Classe I, II e III

	Arquétipo Classe I	Classe II	Classe III
Característica Interna	compartmentado	compartmentado	Planta aberta
Forma	Retangular com pátio interno	Retangular	Retangular
Número de pavimentos	15 pavimentos	15 pavimentos	13 pavimentos
Altura do entorno	Alto	Médio	Médio
% janela frente e fundo (WWR)	50%	50%	50%
% janelas laterais (WWR)	0% - cega	25%	50%
Cor do vidro	Transparente	Fumê	Verde
Espessura do vidro	6mm	6mm	6mm
FS	0.72	0.52	0.45
Transmitância U - paredes externas (W/m².k)	1.98	1.98	1.98
Transmitância U paredes internas (W/m².k)	2.59	2.59	2.59
Transmitância U cobertura (W/m².k)	2.06	2.06	2.06
Absortância paredes (α)	0.40	0.40	0.40
Absortância cobertura (α)	0.40	0.40	0.40
Iluminância de serviço (lux)	500	500	500
Densidade de potência de instalada (DPI)	19.04	19.04	12.0
Iluminação (W/ m²)			
DPI equipamentos (W/ m²)	12.00	12,00	14,00
Tipo de condicionamento	Equip. Janela	Equip. Janela	fain coil, chiller
COP (W/W)	2.94	2.94	3.2
Ocupação (área/pessoa)	7 m ²	7 m ²	7 m ²
Horas de Ocupação	10 (8h to18h)	10 (8h to18h)	10 (8h to18h)
Horas de uso Iluminação	2500	2500	3200
Horas de uso equip. Escritório	2500	2500	2750
Horas de uso HVAC	Sistema Híbrido (<i>schedule</i> de ventilação)	Sistema Híbrido (<i>schedule</i> de ventilação)	14 (6h-20h)

Fonte: Elaborada pelos autores.

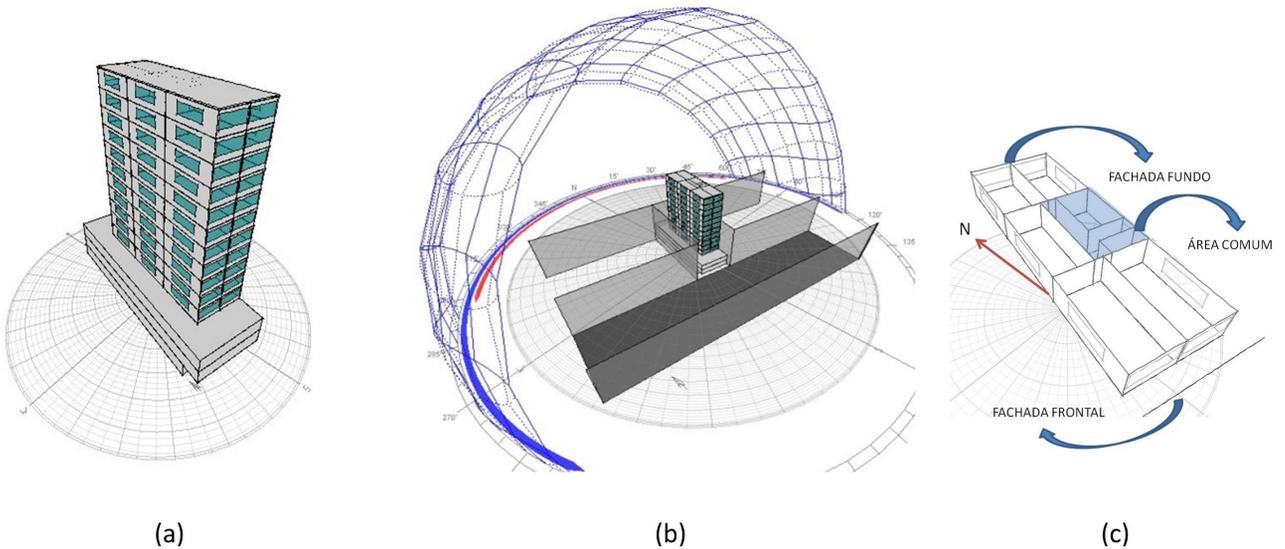
A Tabela 2 sintetiza os parâmetros utilizados na simulação de desempenho energético dos arquétipos Classe I, II e III. O Arquétipo Classe I foi baseado nas características prevalentes dos edifícios Classe I, o Arquétipo Classe II, nas características predominantes dos edifícios Classe II, e o Arquétipo Classe III foi referenciado nos edifícios de planta aberta condicionados por sistemas centrais, tendência identificada nos edifícios Classe III. As características físicas, o contexto urbano e a divisão interna dos zoneamentos térmicos dos arquétipos são apresentados nas Figuras 8, 9 e 10.

Figura 8 - (a) Características volumétricas Arquétipo Classe I, (b) Contexto Urbano, (c) Zonas Térmicas



Fonte: Elaborada pelos autores.

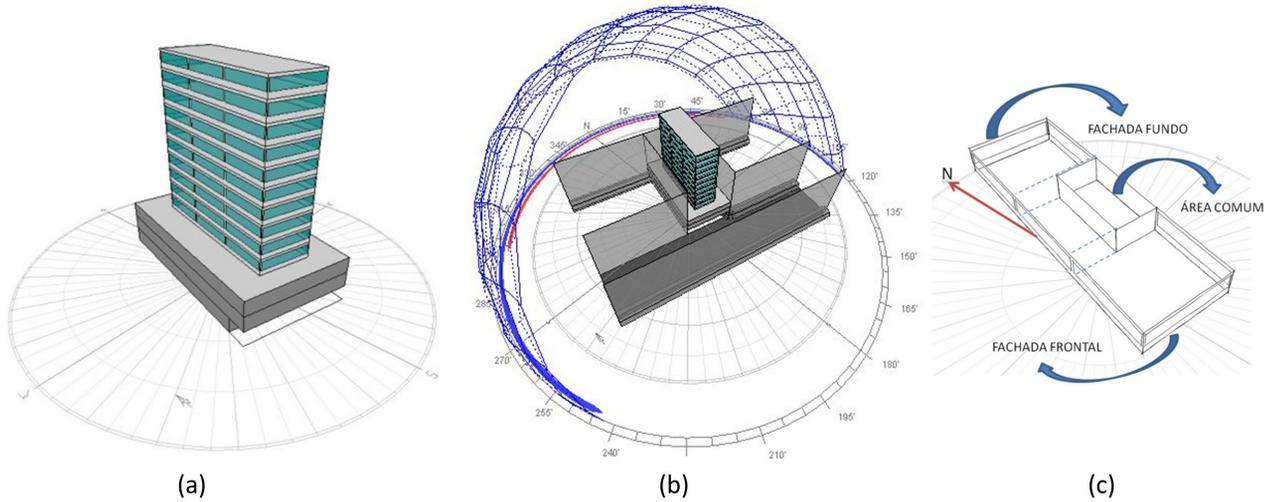
Figura 9 - (a) Características volumétricas Arquétipo Classe II, (b) Contexto Urbano, (c) Zonas Térmicas



Fonte: Elaborada pelos autores.

A análise dos resultados da simulação termoenergética indica substancial diferença entre intensidades de uso de energia – EUI dos Arquétipos Classe I, II e III conforme mostrado na Figura 10. A diferença encontrada entre os Arquétipos Classe III e II é da

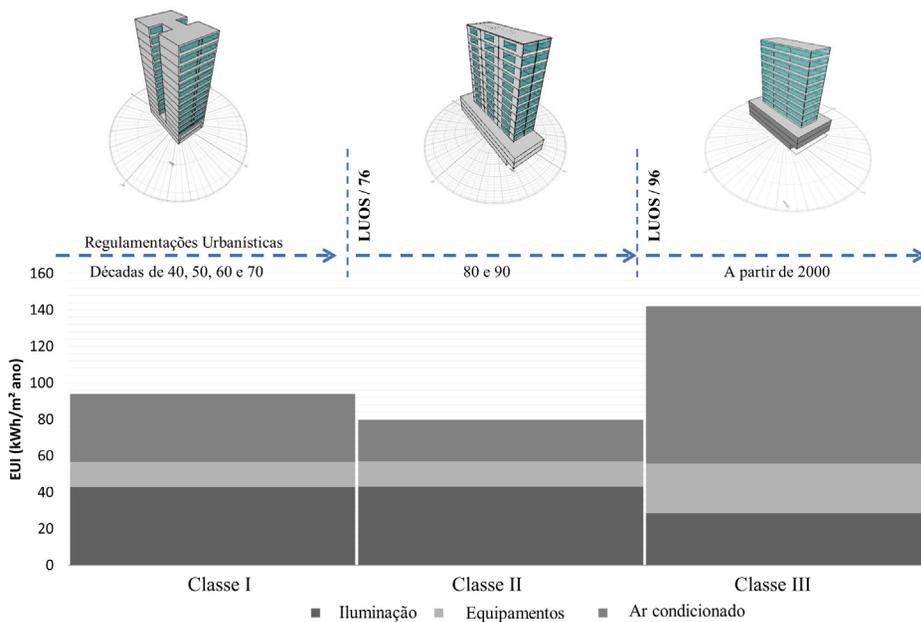
Figura 10 - (a) Características volumétricas Arquétipo Classe III, (b) Contexto Urbano, (c) Zonas Térmicas



Fonte: Elaborada pelos autores.

ordem de 96% enquanto entre os Arquétipos Classe III e I chega a aproximadamente 74%. Essa diferença evidencia uma tendência de intensificação do uso de energia nos edifícios contemporâneos da cidade (Classe III).

Figura 11 - Intensidade de uso de energia – EUI (kWh)/ m2/ ano desagregado por uso

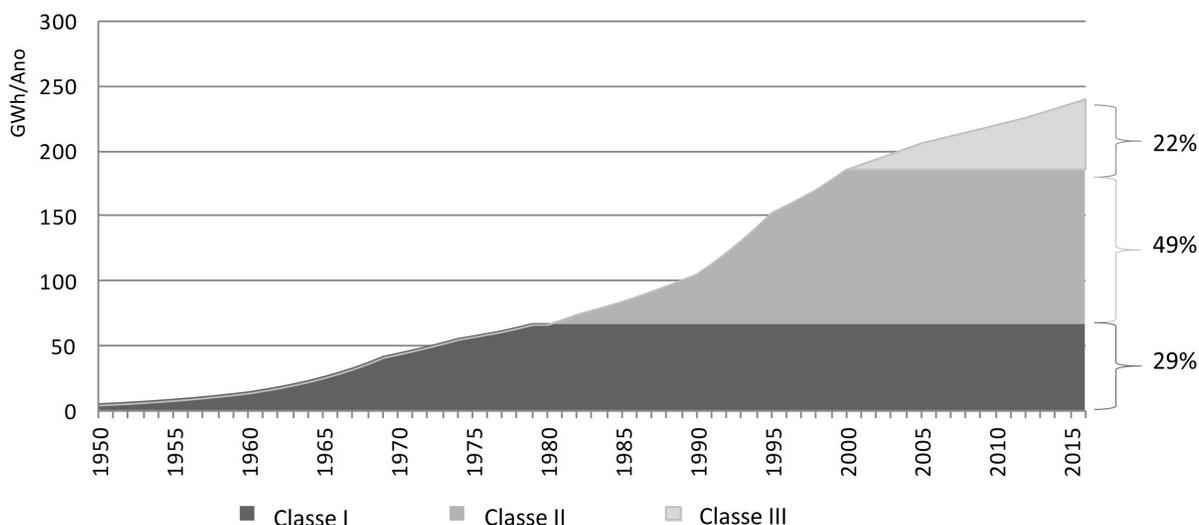


Fonte: Elaborada pelos autores.

Considerando as características dos arquétipos, a principal diferença relaciona-se à estratégia de condicionamento ambiental utilizada. Os Arquétipos Classe I e II que utilizam a estratégia de ventilação híbrida apresentam seus sistemas de condicionamento ativados em 55% e 45% das horas de ocupação respectivamente, explicando os valores mais baixos de EUI quando comparados ao Arquétipos Classe III, que utiliza sistema de condicionamento central atuando 100% das horas de ocupação do edifício. O maior percentual de horas de ativação do ar condicionado no Arquétipos Classe I comparado ao Arquétipos Classe II indica ainda a interferência do cânion urbano no acesso à ventilação natural. No caso do Arquétipos Classe III, observa-se ainda que a altura do entorno imediato e o percentual de área envidraçada potencializam o ganho de carga térmica pelo sistema de ar condicionado.

A Figura 12 mostra a Linha Base de consumo de energia elétrica estimada para os edifícios comerciais de grande porte da cidade de Belo Horizonte nos últimos 65 anos. A Linha Base de consumo foi estimada considerando o EUI simulado para cada arquétipo, a taxa de crescimento do estoque existente de edifícios e a representatividade em termos de área de cada arquétipo. Os edifícios Classe I tiveram seu consumo de energia baseado no Arquétipo Classe I; o Classe II, no Arquétipo Classe II; e os edifícios Classe III, no Arquétipo Classe III.

Figura 12 - Linha Base de consumo estimada para os edifícios comerciais de grande porte



Fonte: Elaborado pelos autores.

Analisando a Linha Base de consumo, observa-se que ações de modernização do estoque relacionadas à eficiência energética direcionadas aos edifícios das Classes I e II podem ter um impacto substancial na economia de energia, uma vez que juntos representam cerca de 78% do consumo.

Em relação às possíveis ações de *retrofit* para os edifícios Classe I e II, nota-se que a maior parte do potencial observado recai sobre atualizações tecnológicas (iluminação artificial e condicionamento térmico) e sobre a introdução de sistemas passivos (integração com a luz natural). Considerando a iluminação, as tecnologias atuais, como as lâmpadas T5 e LED, podem melhorar substancialmente a eficiência, especialmente para edifícios Classe I e II.

Neste estudo de caso, observa-se ainda que a forma dos edifícios e o acesso solar fornecido pelo contexto urbano, especialmente para edifícios Classe II e III, aumentam o potencial de integrações entre os sistemas de iluminação artificial e natural. Portanto, a implementação de estratégias de iluminação natural, se consideradas adequadamente, podem reduzir substancialmente o uso de iluminação artificial nesses arquétipos.

Considerações finais

Este estudo apresenta uma metodologia para estimar a Linha Base de consumo de energia elétrica de uma tipologia de uso de edifícios existente. O estudo das regulamentações urbanas em uma perspectiva temporal e espacial juntamente com a análise do banco de dados referenciados no IPTU e a pesquisa de campo possibilitaram categorizar as tipologias de edifícios identificando para cada classe características prevalentes, bem como seus contextos urbanos. Para aplicação da metodologia, foi realizado um estudo de caso na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

Os Arquétipos Classe I, II e III criados com base nas Classes de Edifícios I, II e III foram o ponto de partida para o estudo das interações termoenergéticas. Neste estudo, observou-se que os edifícios de grande porte apresentam interações consideráveis com seus contextos urbanos, evidenciando que a legislação urbanística, ao influenciar a formação dos cânions urbanos, interferem na disponibilidade de luz natural e no ganho térmico. Se por um lado o adensamento pode representar o sombreamento mútuo das edificações e a diminuição de superfícies expostas às trocas térmicas, conduzindo a

uma redução da demanda nos sistemas de condicionamento ambiental, por outro, o adensamento pode representar uma redução na quantidade disponível de luz e ventilação natural acarretando aumento da demanda por luz artificial e perda na capacidade de buscar o controle térmico por meio da ventilação natural.

O desenvolvimento de linhas base de consumo energético são essenciais para entender os padrões de consumo do estoque de edifícios de uma cidade. Os resultados de EUI encontrados enfatizam o papel das escolhas técnicas, principalmente quando relacionadas aos sistemas de condicionamento ambiental. Os sistemas híbridos presentes nos arquétipos Classe I e II são identificados como uma abordagem técnica interessante para o contexto de Belo Horizonte em razão do baixo consumo de energia quando comparados aos sistemas de centrais de ar condicionado (arquétipo Classe III). Apesar do melhor desempenho dos sistemas de ar condicionado (coeficiente de COP) e de iluminação (DPI), este estudo mostra que os edifícios construídos a partir de 2000 (arquétipo Classe III) tendem a ser mais energeticamente intensos, demonstrando que a eficiência energética de sistemas individuais não equivale necessariamente a baixo consumo de energia do edifício. Nesse sentido, edifícios considerados eficientes e sustentáveis estão, às vezes, entre os maiores consumidores de energia elétrica das cidades (DENNY, 2013), o que significa que essa discussão vai além do desempenho e da inovação tecnológica nos edifícios. É necessário expandir esse debate com foco em questões como mudança de comportamento do usuário, concepção de edifício, entre outras.

Um melhor conhecimento das interações entre as edificações é essencial para melhorar o desempenho energético do estoque da construção. O contexto urbano e as características do edifício interagem e interferem na intensidade do uso de energia. A compreensão dessas interações levará a novas perspectivas sobre as oportunidades de economia de energia do estoque existente. Incentivar reformas de edifícios considerando sua inserção urbana pode ser decisivo para uma redução oportuna do uso de energia, especialmente para cidades consolidadas como Belo Horizonte, onde o crescimento lento e um estoque antigo de edifícios elevam a importância de reformar os existentes.

Estar ciente de todas essas interações é o caminho para um maior entendimento do consumo energético dos edifícios, o que pode nos ajudar a identificar o real potencial de redução de consumo de energia nas edificações existentes.

Referências

AMORIM, C. N. D. Diagrama Morfológico Parte I: Instrumento de Análise e Projeto Ambiental com uso de Luz Natural. **Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo**, n. 3, p. 58-77, 2007. DOI: <https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n3.2007.12111>

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERING, Inc. - ASHRAE. **ASHRAE Standard 90.1 – 2010. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2010.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERING – ASHRAE, Thermal environmental conditions for human occupancy, Standard 55-2004. Atlanta: **American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering**, 2004.

BAKER, N. V.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K. **Daylighting in architecture: a European reference book**. [s.l.] Routledge, 2013.

BALLARINI, I.; CORGNATI, S. P.; CORRADO, V. Use of reference buildings to assess the energy saving potentials of the residential building stock: The experience of TABULA project. **Energy Policy**, v. 68, p. 273-284, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.01.027>

BELO HORIZONTE. **Decreto nº 165, de 1º de setembro de 1933**. [...] modifica o Regulamento Geral de Construções em Belo Horizonte, baixado com a Lei nº 363, de 1930 [...]. Belo Horizonte: Prefeitura de Belo Horizonte, 1933. Revogado pela Lei nº 6.370/1993. Disponível em: <https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao/decreto/165/1933>. Acesso em: 7 nov. 2019.

BELO HORIZONTE. **Decreto-Lei nº 84, de 21 de dezembro de 1940**. Aprova o Regulamento de Construções da Prefeitura de Belo Horizonte. Belo Horizonte: Prefeitura de Belo Horizonte, 1940. Revogado. Disponível em: <https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao/decreto-lei/84/1940>. Acesso em: 7 nov. 2019.

BELO HORIZONTE. **Lei nº 2.662, de 29 de novembro de 1976**. Dispõe sobre normas de uso e ocupação do solo no Município de Belo Horizonte e dá outras providências. Belo Horizonte: Câmara Municipal de Belo Horizonte, 1976. Revogada. Disponível em: <https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao/lei/2662/1976>. Acesso em: 7 nov. 2019.

BELO HORIZONTE. **Lei 7.166, de 27 de agosto de 1996**. Estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano do Município. Belo Horizonte: Câmara Municipal de Belo Horizonte, 1996. Revogada. Disponível em: <https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao/lei/7166/1996>. Acesso em: 7 nov. 2019.

BORGSTEIN, E. H.; LAMBERTS, R. Developing energy consumption benchmarks for buildings: Bank branches in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 82, p. 82-91, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.028>

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro). **Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C)**. Anexo da Portaria nº 372, de 17 de setembro de 2010. Brasília, DF, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, 2010. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001599.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2016.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro). **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**. Anexo da Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012. Brasília, DF, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, 2012. Disponível em: <http://www.pbedificio.com.br/etiquetagem/residencial/regulamentos>. Acesso em: 21 jul. 2016.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balanco Energético Nacional 2019 - Ano Base 2018**. Rio de Janeiro: MME, 2019. Disponível em: <http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>. Acesso em: 10 out. 2019. CAPUTO, P.; COSTA, G.; FERRARI, S. A supporting method for defining energy strategies in the building sector at urban scale. **Energy Policy**, v. 55, p. 261-270, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.12.006>

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS – CBCS. Desempenho Energético Operacional em Edificações: Relatório Final-Benchmarking de escritórios corporativos e recomendações para certificação DEO no Brasil. São Paulo: **Conselho Brasileiro de Construções Sustentáveis**, 2015.

CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS – CIBSE. Guide F. Energy efficiency in buildings. London: **Chartered Institution of Building Services Engineers**, 2004.

DENNY, P. The Mechanization of the Office. In: **Is this not a Pipe?** Amsterdam: Stichting Archis, 2013. v. 37, p. 160.

GONÇALVES, J. C. S. (ORG); BODE, K. (ORG). **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

HEEREN, N. et al. A component-based bottom-up building stock model for comprehensive environmental impact assessment and target control. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 20, p. 45-56, abr. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.064>

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES – LABEEE. **Arquivos climáticos em formato TRY, SWERA, CSV e BIN**. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>. Acesso em: 15 jan. 2019.

LIDDAMENT, M. W. **Air infiltration calculation techniques: An applications guide**. [s.l.] Air Infiltration and Ventilation Centre, 1986.

MELO, A. P. et al. Development of surrogate models using artificial neural network for building shell energy labelling. **Energy Policy**, v. 69, p. 457-466, jun. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.02.001>

NORONHA, C. R. **Área Central de Belo Horizonte**: arqueologia do edifício vertical e espaço urbano construído. Belo Horizonte: Escola de Arquitetura – UFMG, 1999.

PBH. **Portal da Prefeitura de Belo Horizonte**. Disponível em: <http://bhmap.pbh.gov.br>. Acesso em: 23 nov. 2019.

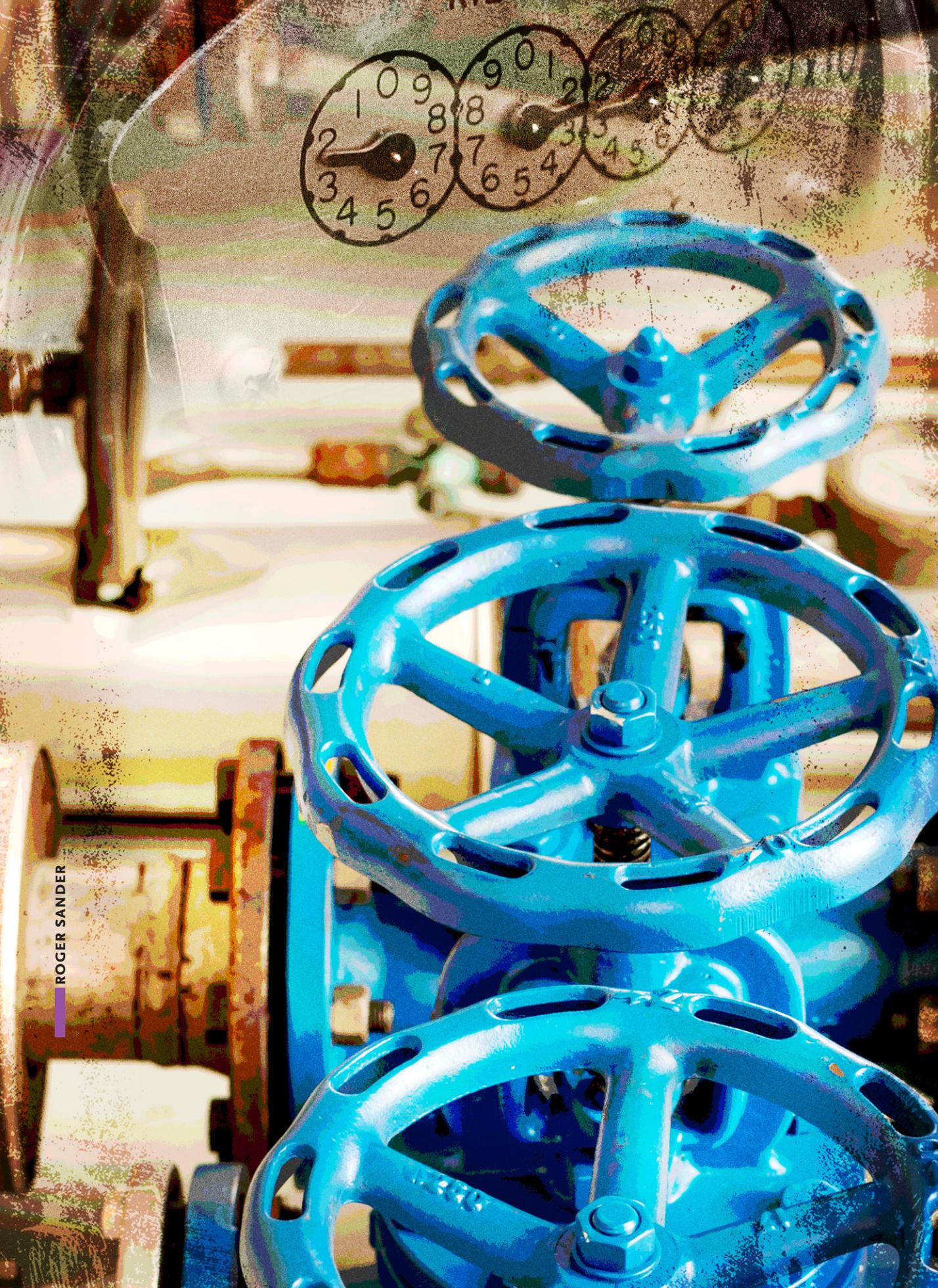
REINHART, C. F.; CERESO DAVILA, C. Urban building energy modeling – A review of a nascent field. **Building and Environment**, v. 97, p. 196-202, 15 fev. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.12.001>

SWAN, L. G.; UGURSAL, V. I. Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 8, p. 1819-1835, out. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.033>

UNITED NATIONS. UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. **Human Development Report 2014**. New York: UNDP, 2014. Disponível em: <http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr14-report-en-1.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2015.

US. Department of Energy. **EnergyPlus Engineering Reference**. USA: Department of Energy, out. 2015. VELOSO, A. C. DE O.; SOUZA, R. V. G. DE; KOURY, R. N. N. Research of Design Features that Influence Energy Consumption in Office Buildings in Belo Horizonte, Brazil. **Energy Procedia**, v. 111, p. 101-110, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.012>

WAIDE, P.; AMANN, J. T.; HINGE, A. **Energy efficiency in the North American existing building stock**. France: International Energy Agency, 2007.



ROGER SANDER

USO RACIONAL DE ENERGIA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

GUSTAVO MEIRELLES LIMA*

BRUNO MELO BRENTAN**

RESUMO Os sistemas de abastecimento de água são fundamentais para o desenvolvimento socioeconômico de cidades. Durante muito tempo, seu planejamento e operação eram focados no atendimento da demanda. Entretanto, essa prática não atende às necessidades atuais de uso racional dos recursos naturais. Assim, nos últimos anos, o problema se tornou mais complexo, com a adição de restrições como o consumo de energia e o índice de vazamentos. Assim, este trabalho avaliará duas das principais medidas de eficiência energética que têm sido exploradas: a operação de estações elevatórias e a recuperação de energia em válvulas, apresentando os principais desafios científicos e tecnológicos para sua ampla aplicação.

PALAVRAS-CHAVE Abastecimento de água. Eficiência energética. Máquinas hidráulicas.

ENERGY EFFICIENCY IN WATER DISTRIBUTION NETWORKS

ABSTRACT Water supply systems are essential for social and economic development of cities. For a long time, both planning and management were focused only on attending the demand. However, this practice does not meet the current needs of sustainable use of natural resources. Therefore, in recent years, the problem has become more complex with the addition of constraints such as energy consumption and leakage. Thus, this work will evaluate two of the main energy efficiency actions that have been widely studied: the operation of pumping stations and the energy recovery in valves, showing the main scientific and technological challenges for its wider application.

KEYWORDS Water supply. Energy efficiency. Hydraulic machinery.

* Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) - gustavo.meirelles@ehr.ufmg.br

** Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) - brunocivilo8@gmail.com

Introdução

Ainda que, ao longo das últimas décadas, a discussão sobre o crescimento da demanda por água e energia elétrica tenha ocupado diversas linhas escritas por ambientalistas, pesquisadores, políticos e organizações não governamentais, poucas ações efetivas têm sido implementadas em escalas consideráveis para a preservação e melhoria da qualidade e distribuição da água, sobretudo em meio urbano.

Dado o crescimento da população mundial, estima-se que, em 2050, a demanda por água no mundo será um terço maior do que a atual e que até cinco bilhões de pessoas viverão em regiões de seca intensa ao menos um mês ao ano (BUREK et al., 2016). Esse processo pode gerar um cenário de forte estresse hídrico, uma vez que, além da maior retirada de água dos mananciais, o volume de resíduos coletado, seja de esgoto doméstico, seja de esgoto industrial, também aumentará. Considerando o cenário atual, em que apenas 59 % do esgoto doméstico (PROGRESS, 2018) é tratado, há um risco de degradação dos mananciais devido ao lançamento desses efluentes, o que reduziria a oferta de água com qualidade adequada para abastecimento público. O consumo de energia tanto no tratamento dos efluentes quanto da água para consumo será mais intensivo quanto menor for sua qualidade. Por fim, com o elevado grau de urbanização atual, também se intensificam os problemas com a drenagem pluvial, uma vez que a superfície se encontra cada vez mais impermeabilizada. Grandes obras, como reservatórios de acumulação e sistemas elevatórios para retirada da água, podem ser necessárias, causando um impacto ainda maior no consumo de energia das grandes cidades.

Os sistemas de abastecimento de água, responsáveis por captar, tratar, armazenar e distribuir água potável para diferentes setores, como indústrias e comércios, utilizam energia elétrica em diferentes etapas do processo, desde a captação até a distribuição final. De maneira geral, estudos mostram que de 3 a 7 % da energia elétrica produzida por um país são utilizados nos sistemas de tratamento e distribuição de água e na coleta e tratamento de efluentes (WAKEEL et al., 2016). No caso brasileiro, esse valor é de aproximadamente 2% da produção total de energia elétrica (GUANAIS, COHIM; MEDEIROS, 2017). Em termos percentuais, isso pode não parecer muito, mas esse valor equivale a 25 % do consumo registrado pelo estado de Minas Gerais em 2017 (BRASIL, 2018b) ou, em termos mais práticos, o equivalente ao consumo de mais de 7 mil equipamentos de ar condicionado ligados 24h por dia durante um mês, 10 mil cafeteiras ligadas 24h por dia durante o mês, ou seja, cerca de 320 milhões de xícaras de café por mês.

Grande parte da energia elétrica consumida pelos sistemas de abastecimento de água está associada ao funcionamento de estações elevatórias, transformando a energia elétrica em energia hidráulica, o que possibilita a transposição de zonas elevadas e distantes. Estima-se que seus custos de operação sejam a segunda maior despesa das companhias de água, perdendo apenas para os gastos com recursos humanos.

Uma primeira pergunta que pode ser feita é: como reduzir o consumo de energia nos sistemas de abastecimento? Ou, em outras palavras, quais ações podem ser adotadas para elevar a eficiência das estações elevatórias? A primeira pergunta está diretamente relacionada a intervenções possíveis nas estruturas das estações elevatórias ou na forma de operá-las para se obter, então, uma redução no consumo de energia. No entanto, a segunda pergunta, que versa sobre aumento da eficiência energética do sistema, tem um significado mais profundo. Isso porque a ideia de eficiência não está relacionada apenas ao consumo de energia. Se o sistema de abastecimento fosse capaz de gerar energia elétrica, um saldo positivo no balanço energético existiria e poderia compensar parte da energia consumida.

No desejo de responder às duas questões mencionadas, este trabalho apresenta, nas seções seguintes, ações possíveis para a redução do consumo de energia e formas como a geração distribuída pode auxiliar no aumento da eficiência energética dos sistemas.

A relação abastecimento de água e energia

Com o objetivo de inserir energia hidráulica no sistema por meio da energia elétrica, as estações elevatórias são parte fundamental dos sistemas de abastecimento de água e têm especial atenção das empresas, uma vez que são responsáveis por grande parte de seu consumo de energia. De maneira geral, bombas centrífugas acopladas a motores elétricos são utilizadas nesse processo de transformação de energia elétrica em energia hidráulica. O fluido entra pelo centro da parte girante e sai dali escoando no sentido radial das bombas com alta velocidade. Nessa etapa, a energia elétrica foi transformada em energia cinética, transferida então ao fluido pelas partes girantes. Ao escoar no sentido radial, o fluido é captado pela voluta, uma das partes não girantes, onde a energia cinética é transformada em energia de pressão.

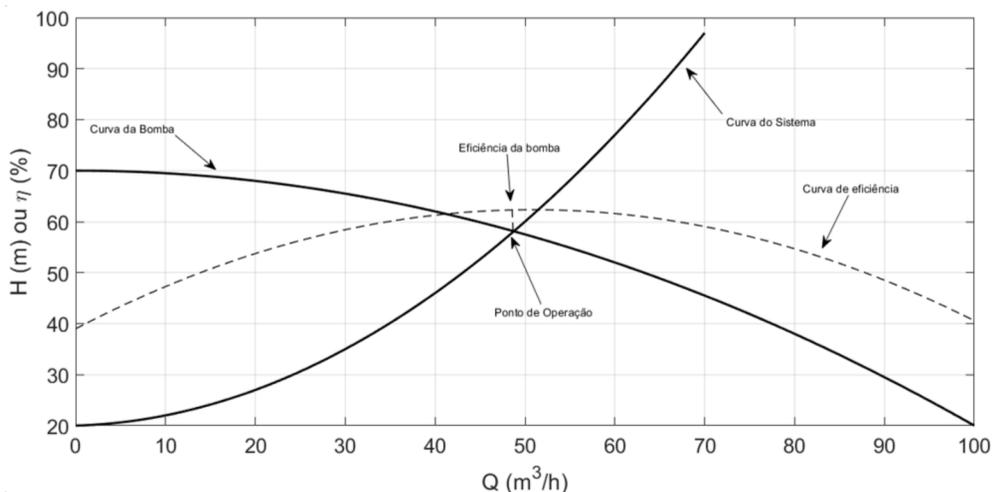
Como se pode imaginar, a cada transformação, uma quantidade de energia é perdida. Como resultado final, a eficiência dos conjuntos moto-bomba agrega a eficiência do motor, do rotor, dos cabos e da instalação hidráulica (MORENO, 2007). Muitas vezes superdimensionados, os conjuntos moto-bombas têm sido objeto de estudo há algumas décadas, com o objetivo de melhorar a eficiência energética dos sistemas de abastecimento de água.

Um marco nos estudos de eficiência foi o relatório apresentado pelo Ministério da Defesa dos Estados Unidos da América, no ano de 1989, que teve o objetivo de apresentar técnicas para avaliação de sistemas de bombeamento existentes e a criação de rotinas operacionais das bombas. De acordo com esse relatório, o primeiro passo para a melhoria da eficiência das estações elevatórias é a avaliação individual das bombas para identificar a melhor ação a ser implementada.

De maneira geral, as estações elevatórias são dimensionadas a partir de uma curva de perda de carga do sistema, de tal forma que o ponto de operação da estação elevatória esteja o mais próximo possível do ponto de máxima eficiência, como mostra a Figura 1, a seguir.

Ainda que possível, a operação no ponto de máxima eficiência é rara em razão das variações de consumo ao longo do dia, manobras de abertura e do fechamento de válvulas. Ou mesmo em razão do envelhecimento das tubulações, comum com o passar do tempo. Todos esses fatores alteram a curva de perda de carga do sistema e, além

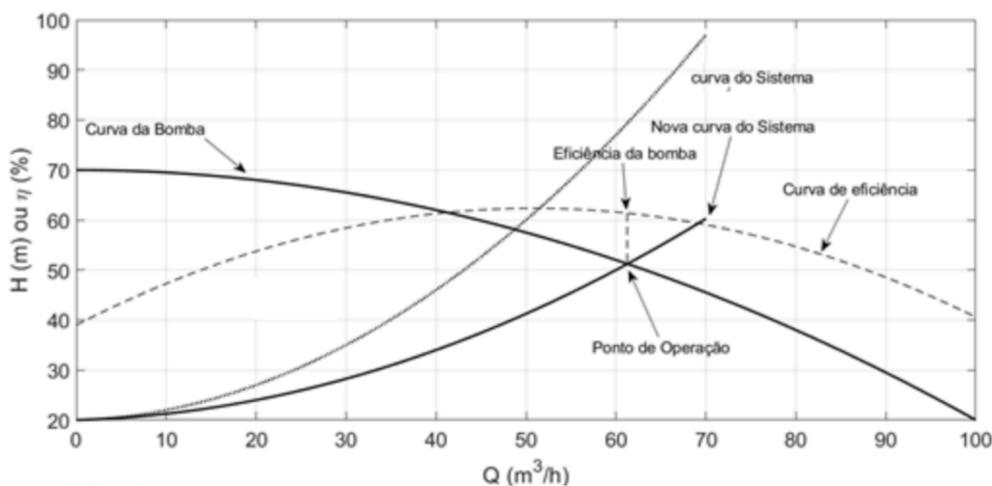
Figura 1 - Ilustração do ponto de operação de um sistema de bombeamento



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

deles, normalmente se considera a vazão de projeto majorada, visando a outros horizontes. Isso faz o sistema de recalque operá-la, frequentemente, com vazões diferentes daquelas de projeto e, conseqüentemente, fora do ponto de máxima eficiência. A Figura 2 mostra o deslocamento da curva de perda de carga de uma linha de recalque. Essa alteração é observada quando é feita a abertura parcial de válvulas, reduzindo a perda de carga no sistema.

Figura 2 - Ilustração da alteração do ponto de operação pela mudança de características do sistema



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Reduzir o consumo de energia: um desafio possível ou uma ação utópica?

Observando a Figura 2, uma primeira ideia de controle ótimo de sistemas de abastecimento é identificada. Se a curva opera fora do ponto de máxima eficiência, e manobras de válvulas fazem essa curva se deslocar, é possível determinar o ponto de operação das válvulas de tal forma que, aumentando ou diminuindo a perda de carga, o sistema opere próximo ao ponto de máxima eficiência.

Ainda que essa abordagem seja possível, esse uso não seria suficientemente inteligente. Isso porque o uso de válvulas para regulação do ponto de operação das bombas muda a curva do sistema, adicionando uma perda de carga que outrora não existia. Insere-se uma energia no sistema que precisa ser dissipada, o que começa a não fazer sentido, no contexto da eficiência energética.

Ainda há um outro fator que influencia diretamente no custo de energia, mesmo que provoque diretamente impactos no consumo por parte do bombeamento. De maneira geral, os contratos tarifários preveem custo maior nos horários de pico. Segundo a Eletrobras (BRASIL, 2011), em um período de três horas consecutivas, definido entre 17h e 21h, o consumo em dias úteis tem uma tarifa maior, em razão da maior exigência do sistema elétrico nesse período.

Surgem, então, algumas questões relacionadas às possíveis ações para redução do consumo de energia elétrica e das despesas relativas a esse consumo. A primeira delas é: seria possível operar as bombas fora do horário de pico a fim de que se reduzam os custos envolvidos no bombeamento?

A resposta a essa pergunta é simples, mas ao mesmo tempo bastante vaga: depende da configuração e das necessidades do sistema. Aqueles que têm armazenamento de água com capacidade suficiente possibilitam a elaboração de uma rotina de bombeamento, de tal forma que, nos horários de pico, os consumidores sejam abastecidos apenas por reservatórios que operem por gravidade, enquanto que, fora desse período, as estações elevatórias operam para recuperar seus níveis, bombeando um volume maior que o consumido nesse período.

Problemas de otimização operacional têm sido propostos por meio de uma abordagem matemática desde os primeiros anos da década de 1990 (JOWITT e XU, 1990;

JOWITT; GERMANOPOULOS, 1992). A ideia principal por trás dessas abordagens está na minimização do custo relacionado ao bombeamento de água. Esse custo pode ser assim escrito:

$$C = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \frac{Q_{i,t} \cdot H_{i,t} \gamma}{\eta_{i,t}} \cdot c_t \cdot \Delta t \quad (I)$$

em que CC é o custo total do bombeamento de N bombas para o período de operação de T horas, $Q_{i,t}$ é a vazão bombeada pela bomba i no passo de tempo t , $H_{i,t}$ é a carga inserida no sistema pela bomba i no mesmo passo de tempo, operando com um rendimento $\eta_{i,t}$. A fração dentro do somatório descreve a potência da bomba i no passo de tempo t . Quando essa potência é multiplicada pelo passo de tempo Δt e, finalmente, pelo custo da energia no passo de tempo, c_t , obtém-se o custo individual das bombas para cada passo de tempo. Fica evidente que a minimização ao longo de todo o horizonte T possibilitará que a operação acione ou desligue bombas de tal modo que o consumo seja mínimo.

Ainda que seja intuitivo, é preciso dizer que, caso restrições não sejam impostas, o processo de otimização encontrará um custo de bombeamento igual a zero, deixando todas as bombas desligadas – uma solução matemática plausível, mas operacionalmente errônea. Em problemas de otimização da vida real, as restrições têm papel fundamental para que a solução encontrada seja coerente com o que se espera do problema otimizado.

No caso do controle ótimo de bombas, algumas restrições físicas e operacionais devem ser impostas. Classicamente, as restrições de pressão mínima (P_{min}) e máxima (P_{max}), atendendo à normativa para o abastecimento de água, níveis máximo ($T_{max,k}$) e mínimo ($T_{min,k}$) de reservatórios, de forma a garantir o atendimento em casos emergenciais e o não transbordamento dos reservatórios são as mais utilizadas (AL-ANI et al., 2012; MALA-JETMAROVA; SULTANOVA; SAVIC, 2017). Ainda, para evitar o acionamento e desligamento constante das bombas, o que causaria um alto desgaste do motor, um limite de ciclos por dia (m_{max}) pode ser estipulado. Transcrevendo matematicamente, o problema de otimização de operação tem a seguinte forma: em que $P_{j,t}$ é a pressão no nó j no passo de tempo t , $T_{k,t}$ é o nível do tanque k no passo

$$\begin{aligned}
 \min C &= \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \frac{Q_{i,t} \cdot H_{i,t} \cdot \gamma}{\eta_{i,t}} \cdot c_t \cdot \Delta t \\
 \text{s. a} \\
 P_{\min} &\leq P_{j,t} \leq P_{\max} \\
 T_{\min,k} &\leq T_{k,t} \leq T_{\max,k} \\
 m_i &\leq m_{\max}
 \end{aligned} \tag{2}$$

de tempo t , e m_i é o número de ciclos de acionamento e desligamento de bombas para a bomba i .

Visando à solução ótima, uma das primeiras abordagens em termos de algoritmo de otimização foi apresentada por Jowitt e Germanopoulos (1992), aplicando a programação linear. Os autores apresentam todo o equacionamento para o problema hidráulico, com as simplificações necessárias ao método, e concluem que, ainda que o método seja efetivo para a determinação das manobras ótimas de bombas, as simplificações do modelo hidráulico podem afetar a solução final.

Yu, Powell e Sterlin (1994), com base no trabalho desenvolvido por Jowitt e Germanopoulos (1992), apresentam a aplicação de uma variante da programação linear baseada no método do gradiente reduzido generalizado com análise de sensibilidade de não linearidade. Essa análise teve o objetivo de reduzir as dificuldades da linearização do problema hidráulico, melhorando o processo de otimização.

O trabalho de Jowitt e Germanopoulos (1992) apresenta uma formulação completa do problema hidráulico, com as restrições operacionais clássicas, mas com técnica de solução menos sofisticada. Por outro lado, anterior a esse trabalho, Zessler e Shamir (1989) apresentaram uma versão do problema hidráulico simplificada, mas com o uso de programação dinâmica para encontrar a rotina ótima de operação. A abordagem via programação dinâmica seria retomada anos mais tarde, com a complementação do problema hidráulico por Lansey e Awumah (1994). Os autores não só deixam de simplificar as equações hidráulicas que regem o funcionamento das redes de abastecimento como inserem a restrição do número de ciclos para o bombeamento.

Ainda que as equações que regem o problema de otimização estejam bem determinadas, o problema matemático a ser resolvido envolve não linearidade e desconti-

nuidade nas funções, o que torna os métodos clássicos de otimização inaplicáveis em redes de dimensões reais. As simplificações necessárias para aplicação da programação linear ou programação dinâmica deixam o problema com menos detalhes, a ponto de se perder a informação necessária.

Com a popularização do computador e os avanços nas observações e compreensão da natureza, um grupo de algoritmos não derivativos ganhou força para a solução de problemas de engenharia hidráulica, sobretudo nas últimas duas décadas. Esses algoritmos têm como base a busca exaustiva de possíveis soluções ótimas para um problema, em meio a soluções, *a priori* aleatórias, que são testadas sistematicamente. Entre os métodos de busca exaustiva, os meta-heurísticos têm a vantagem de inserir uma estratégia de melhoria de busca a cada iteração. Diferentemente dos métodos clássicos, cada algoritmo busca estratégias observadas na natureza, para que a iteração seguinte não seja um passo no escuro, mas um passo em direção a uma boa solução (BINITHA; SATHYA, 2012). Destacam-se métodos baseados na evolução das espécies – Algoritmo Genético (GOLDBERG; KORB; DEB, 1989), na busca de cardumes ou pássaros por comida – Otimização por Enxame de Partículas (EBERHART; KENNEDY, 1995) – e no caminho feito por formigas – Otimização por Colônia de Formigas (DORIGO; DI CARO, 1999).

Tendo em conta o desenvolvimento desses algoritmos, principalmente o Algoritmo Genético, os problemas de controle ótimo de bombas passaram a ser abordados com um binômio simulador hidráulico e otimizador bioinspirado. Um dos pioneiros nessa abordagem foi o trabalho apresentado por Brdys et al. (1995). Os autores também integram aspectos de qualidade de água no processo de otimização e utilizam o Algoritmo Genético para a solução do problema. Alguns anos mais tarde, outros algoritmos inspirados na natureza foram aplicados ao controle ótimo de bombas, como é o caso do recozimento simulado (GOLDMAN; MAYS, 1999), otimização por enxame de partícula (WEGLEY; EUSUFF; LANSEY, 2000) ou otimização por colônia de formigas (LÓPEZ-IBAÑES; PRASAD; PAECHTER, 2008).

Com o advento do simulador hidráulico de código aberto Epanet 2.0 e sua versão programável (ROSSMAN, 2000), a integração das equações hidráulicas a códigos de otimização ficou mais simples. A literatura corrobora essa afirmação, tendo em vista os diversos artigos publicados entre 2000 e 2010 utilizando algoritmos bioinspirados e o simulador hidráulico (MALA-JETMAROVA; SULTANOVA; SAVIC, 2017).

Otimizando a operação otimizada

Retomando o problema hidráulico de eficiência energética, observa-se que o ponto de operação das bombas (FIG. 2) pode estar deslocado do ponto de máxima eficiência, o que conduz à seguinte pergunta: seria possível deslocar a curva das bombas e consequentemente, a curva de eficiência a fim de que o ponto de operação do sistema fosse o mais próximo possível do ponto de máxima eficiência? Sendo possível, como esse artifício poderia ser escolhido de maneira ótima?

Os parâmetros hidráulicos das bombas seguem as leis de semelhança que podem ser facilmente obtidas por meio da análise dimensional, como mostrado por Stepanoff e Stahl (1961). Considerando o mesmo fluido e a mesma máquina hidráulica, algumas relações de semelhança em termos de carga, vazão e potência podem ser obtidas, como apresentado nas Equações (3-5),

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (3)$$

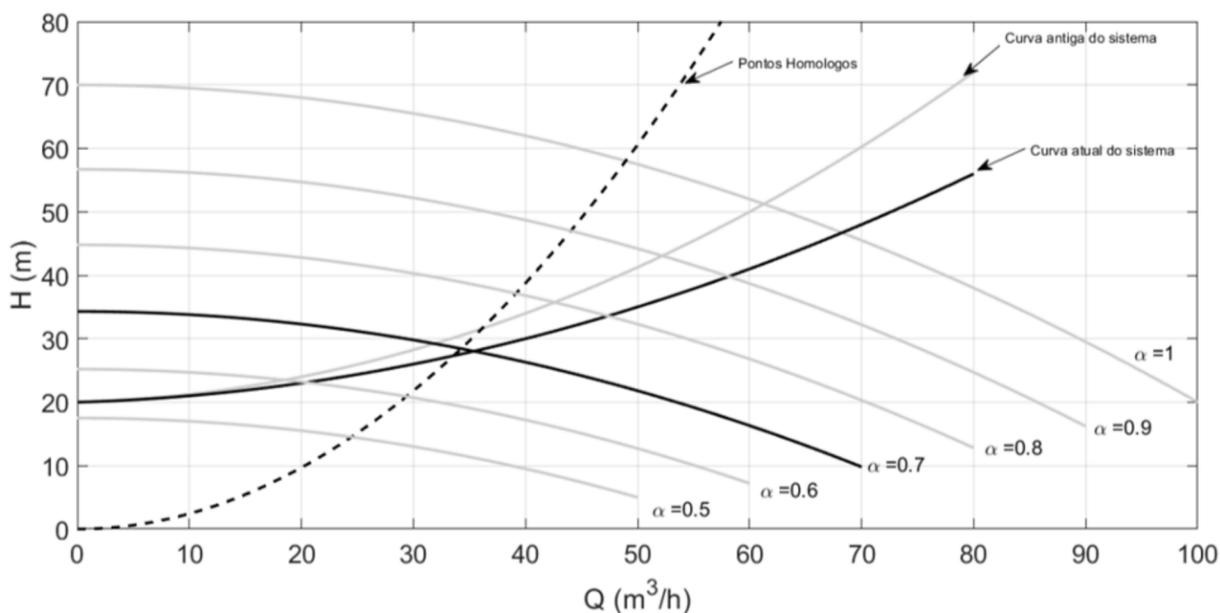
$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad (4)$$

$$\frac{Pot_1}{Pot_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad (5)$$

em que Q_1 é a vazão bombeada pela bomba sob rotação n_1 , adicionando uma carga H_1 , com uma potência P_1 . O subíndice 2 representa as condições hidráulicas para a rotação n_2 . Seguindo as leis de semelhança, curvas de carga x vazão diferentes daquelas em rotação nominal podem ser encontradas e, consequentemente, novos pontos de operação. Do ponto de vista prático, a variação da rotação pode ser obtida via uso de inversores de frequência, que, desde os anos 2000, vêm sendo instalados nas estações de bombeamento do Brasil, principalmente para maior segurança das operações de parada e partida de bombas. Uma importante característica que provém das relações adimensionais é a curva de pontos homólogos. Para um determinado rendimento η , a bomba operando na rotação nominal terá um par carga-vazão (Q_n, H_n) , conhecido

pela curva do fabricante. Dessa forma, é possível determinar um conjunto de pares carga-vazão, em diferentes rotações, que terão o mesmo rendimento da bomba operando na rotação nominal, conhecidos como pontos homólogos. A Figura 3 mostra as curvas carga x vazão para algumas rotações relativas ($\alpha = \frac{n_1}{n_2}$).

Figura 3 - Representação de curvas de bomba com rotação diferente da nominal e representação da curva de pontos homólogos



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Dada a possibilidade de operações não binárias, ou seja, a possibilidade de escolher uma certa rotação relativa para que as bombas operem sempre no seu ponto de máxima eficiência, alguns trabalhos aplicaram métodos de otimização para encontrar um cenário ótimo de rotações ao longo de um horizonte operacional (BRENTAN et al., 2015; BRENTAN et al., 2018; LINGIREDDY; WOOD, 1998; RIBEIRO, 2007; RODRIGUES, 2007; SHAMIR; SALOMONS, 2008).

De maneira geral, os trabalhos que abordam a operação ótima de bombas via inversor de frequência utilizam o mesmo equacionamento matemático apresentado na Equação (1). No entanto, carga, vazão e rendimento dependem da rotação relativa α , como se observa na Figura 3.

Se do ponto de vista hidráulico e matemático as diferenças são pouco significativas, do ponto de vista computacional, o problema de trabalhar com variáveis contínuas (rotação específica) no lugar de variáveis binárias (o status operacional das bombas) torna o processo de convergência dos algoritmos mais lento e, por sua vez, computacionalmente mais custoso. Ainda assim, como apresentado por Brentan et al. (2018), o uso de operações via inversor de frequência pode trazer ganhos ainda maiores para as empresas de água quando comparado à operação otimizada apenas com ciclos de acionamento das bombas.

As outras variáveis do problema de eficiência energética

Um gargalo importante no controle ótimo está na demanda. Qual demanda deverá ser atendida pelo sistema de abastecimento de forma que as bombas operem de maneira ótima? Via de regra, essa demanda é desconhecida e adota-se uma demanda média de um determinado setor. Ainda que essa abordagem responda bem aos dias típicos, o uso da demanda média faz o sistema ainda não trabalhar em sua máxima eficiência.

Nos últimos anos, devido ao avanço da coleta de dados referentes à vazão distribuída, as abordagens híbridas previsão-otimização ganharam força na literatura. Essas abordagens possibilitam não só o controle ótimo para um conjunto moto-bomba, mas também o conhecimento prévio da demanda a ser bombeada, o que torna possível a determinação do ponto de operação de máxima eficiência.

Desde meados dos anos 2000, técnicas de previsão de demanda aplicadas ao controle ótimo têm aparecido na literatura (MARTINEZ et al., 2007). Via de regra, algoritmos de aprendizado de máquinas são aplicados para previsão de demanda, que, acoplados ao simulador hidráulico, possibilitam a atualização das demandas nodais. Por sua vez, o simulador hidráulico serve de base para os cálculos das variáveis fundamentais no processo de otimização do controle. Nessa abordagem tríplice, destacam-se os trabalhos de Brentan et al. (2018), Broad, Maier e Dandy (2010), Martinez et al. (2007), Odan, Reis e Kapelan (2015) e Rao e Salomons (2007).

Se de um lado as ferramentas computacionais de otimização mono-objetivo são as mais populares na literatura (87% dos trabalhos de controle ótimo de bombas em

abastecimento de água abordam otimização mono-objetivo, segundo Mala-Jetmarova, Sultanova e Savic (2017)), essas abordagens devem necessariamente tratar as restrições do problema, tarefa árdua e campo aberto para discussões, como apresentado por Manzi et al. (2018).

Além disso, olhando para o problema de controle ótimo, ainda que o ganho em eficiência energética seja o primário e mais importante, um segundo componente pode aparecer, relativo à redução de pressão excessiva na rede. Ao reduzir o consumo de energia das bombas, tende-se a reduzir as pressões nas redes e, conseqüentemente, diminuir as perdas físicas por vazamento. Esse ganho poderia ser inserido no processo de otimização, desde que se deseje maximizar a eficiência energética e maximizar a redução de perdas. No entanto, para algoritmos mono-objetivo, o trabalho com grandezas distintas pode ser tarefa difícil.

Como forma de lidar com as restrições e a otimização de objetivos distintos, os algoritmos multiobjetivos também ganharam força na busca pelo controle ótimo de redes de abastecimento de água. Por serem capazes de trabalhar com diversos objetivos ao mesmo tempo, as restrições do problema físico podem ser trabalhadas como objetivos almejados. Por exemplo, em vez de criar uma penalização para a pressão mínima, busca-se minimizar o *déficit* de pressão na rede, representado pela diferença entre a pressão mínima e a pressão operacional (CARPITELLA et al., 2018).

Com essa abordagem, seja visando à operação de ciclos de acionamento (otimização binária) ou o conjunto de rotações ótimas (otimização contínua), diversos trabalhos são apresentados na literatura (BARÁN; VON LÜCKEN; SOTELO, 2005; CARPITELLA et al., 2018; LÓPEZ-IBAÑES; PRASAD; PAECHTER, 2005; ODAN; REIS; KAPELAN, 2015; SAVIC; WALTERS; SCHWAB, 1997).

Ainda que vantajoso para o tratamento de problemas com restrições, os algoritmos multiobjetivos não apresentam uma única solução ótima, mas um conjunto de soluções, chamado de frente Pareto. Esse conjunto tem a característica de não dominância entre soluções, ou seja, dentro desse conjunto, todas as soluções são ótimas, a depender do objetivo observado. Dessa forma, o operador ainda precisa realizar uma decisão sobre a qual solução ótima que será implementada a cada instante. Como auxílio a essa tomada de decisão e visando à escolha automática da solução ótima para o controle em tempo real, Carpitella et al. (2018) apresentam um pós-processamento da frente Pareto

utilizando análise multicritério. Essa análise, baseada na experiência dos operadores, ordena as soluções da frente Pareto de acordo com uma série de critérios. Dessa forma, os operadores podem implementar a solução que tem maior compromisso com os critérios eleitos.

Como é possível observar, muitas são as abordagens, tanto em termos hidráulicos quanto matemáticos e computacionais, para o controle ótimo de bombas nos sistemas de abastecimento. Mesmo que amplamente explorada na literatura, a busca por eficiência nas estações elevatórias é ainda campo vasto para pesquisas e sobretudo para aplicações práticas por parte das empresas. Além disso, é preciso pensar na eficiência energética do sistema integralmente. Ou seja, além de reduzir o consumo por parte das estações elevatórias, é fundamental ter em conta possíveis fontes de geração de energia a fim de que o balanço consumo-produção possa ser melhorado.

Consumir energia para abastecer ou abastecer para gerar energia?

Como visto anteriormente, as estações elevatórias são fundamentais para o abastecimento de água, já que possibilitam que grandes desníveis e distâncias entre o ponto de consumo e a captação sejam superados. Entretanto, essa operação exige uma grande quantidade de energia, e, portanto, as medidas de eficiência citadas são fundamentais para que os recursos naturais sejam utilizados de forma racional e sustentável.

Contudo, existem casos em que esse cenário é oposto: a captação está localizada em uma altitude superior ao ponto de consumo e uma distância relativamente pequena. Soffia et al. (2010) e Kougias et al. (2014) citam regiões montanhosas da Itália, Áustria e Suíça onde esse cenário é comum. Dessa forma, a energia utilizada para o abastecimento é a gravitacional, ou seja, não há necessidade de estações elevatórias e, conseqüentemente, o consumo de energia elétrica é nulo. Nesse contexto, surge a seguinte questão: um sistema onde não há consumo de energia elétrica é considerado 100% eficiente? A Associação Brasileira de Empresas de Serviço de Conservação de Energia (ABESCO, s.d.) define eficiência energética como a relação entre a quantidade

de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização. A Empresa de Pesquisa Energética (BRASIL, 2018b), por sua vez, diz que a eficiência energética consiste em obter o mesmo serviço, com a mesma qualidade e quantidade, mas com um menor consumo de energia e recursos naturais.

Ao aplicar essas definições no caso do abastecimento de água por gravidade, é possível identificar um ponto de ineficiência no sistema: as Válvulas Redutoras de Pressão (VRPs). Essas válvulas inserem uma perda de carga ao sistema para evitar que pressões elevadas causem danos às tubulações. Ou seja, parte da energia gravitacional empregada no abastecimento de água está sendo dissipada no processo, na forma de perda de carga localizada e não é efetivamente empregada no “serviço” de fornecimento de água, deixando o sistema menos eficiente.

Além disso, outra característica deve ser levada em conta para determinar a eficiência energética do abastecimento de água. A energia potencial leva em consideração, além do desnível geométrico, a massa do corpo, nesse caso representado pelo volume de água que deve ser transportado. É de se esperar que esse volume seja igual ao volume de água consumido. Entretanto, em razão das imperfeições no assentamento das tubulações, envelhecimento de juntas e pequenas rupturas, vazamentos ocorrem constantemente nas redes de distribuição. No Brasil, de acordo com o Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (BRASIL, 2018a), a perda de água na distribuição é de 38%. Esse número está bem acima dos níveis atingidos por cidades de referência como Melbourne e Copenhague, que têm perdas da ordem de 5% (HAMANAKA, 2017). O aumento do investimento no combate às perdas poderia melhorar esse desempenho, mas, como ressaltam Islam e Babel (2013), existe um limite econômico em que o investimento necessário não gera uma economia de água e energia suficientes para que a ação seja viável, principalmente devido ao fato de que a localização de vazamentos de pequeno porte é uma tarefa difícil (MOSER; PAAL; SMITH, 2015).

Consertar vazamentos é uma tarefa complexa e onerosa, o que tem sido feito amplamente é minimizar o volume de água perdido, reduzindo-se a pressão do sistema, uma vez que esses dois parâmetros estão diretamente relacionados conforme a Equação (6). Assim, apesar de desperdiçarem parte da energia potencial, as VRPs exercem um papel importante nos sistemas de abastecimento de água, pois, ao reduzirem a pressão nas redes de distribuição, diminuem o desperdício de água em vazamentos.

Consequentemente, o volume total de água necessário para abastecimento será reduzido, ou seja, a energia potencial disponível será utilizada de forma mais eficiente.

$$Q_2 = Q_1 \cdot \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^n \quad (6)$$

onde Q_2 é a vazão do vazamento após o controle de pressão, Q_1 é a vazão de vazamentos sem controle de pressão, p_1 é a pressão inicial do sistema (sem VRP), p_2 é a pressão da rede de distribuição após a instalação da VRP, e n é um expoente que depende do material da tubulação.

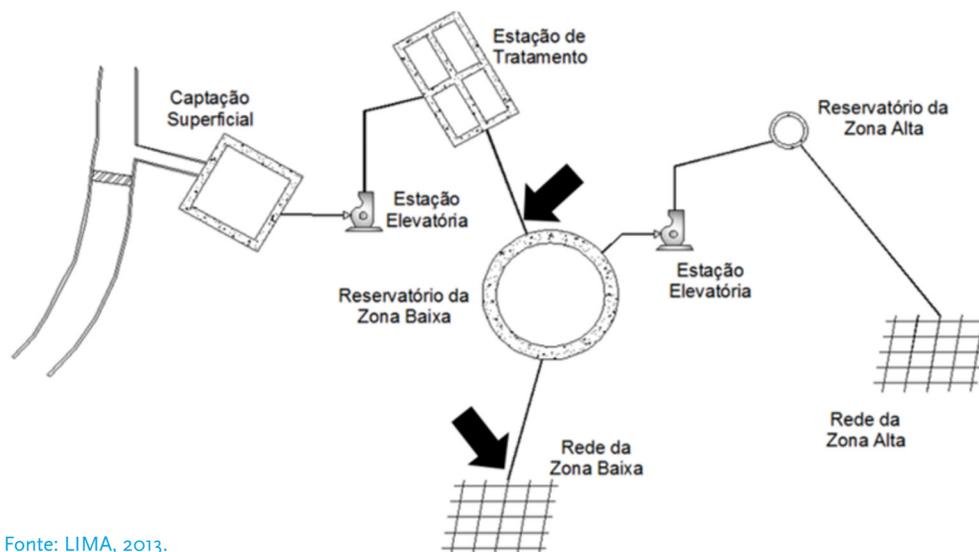
Surge, pois, a questão: é possível aproveitar a energia dissipada pelas VRPs e ainda assim realizar o controle de pressão na rede de distribuição? Muhammetoglu et al. (2018) apresenta uma instalação piloto da cidade de Antalya, na Turquia, em operação desde 2016, que demonstra a viabilidade técnica e econômica dessa alternativa. Contudo, essa aplicação não é simples e requer estudos detalhados que serão descritos a seguir. Desse modo, sistemas de abastecimento de água que operem por gravidade poderão efetivamente se tornar mais eficientes com relação ao consumo de energia.

Como identificar um potencial energético em um sistema de abastecimento de água?

Os sistemas de abastecimento de água são compostos de diversos subsistemas interligados por tubulações e canais, conforme ilustra a Figura 4. As adutoras são tubulações que transportam um grande volume de água, normalmente entre a captação e a estação de tratamento ou entre reservatórios de água tratada. Caso essas adutoras operem com energia gravitacional, é possível realizar o aproveitamento energético integral do excesso de pressão nesses locais, uma vez que a água é descarregada à pressão atmosférica nos reservatórios, como indicado na Figura 4, no transporte de água tratada da estação de tratamento ao reservatório principal da cidade. Apesar de se assemelharem com pequenas centrais hidrelétricas, os potenciais existentes nesses locais, conforme Afshar, Jemma e Mariño (1990), podem ser comprometidos devido ao excesso de perda de carga nas tubulações, uma vez que elas são projetadas apenas para

transporte de água, sem considerar a geração de energia, ou seja, são dimensionadas para que seu diâmetro seja o menor possível, reduzindo os custos de instalação. Lima et al. (2018) demonstram que o custo relativo a um pequeno aumento no diâmetro dessas tubulações é amplamente superado pelo benefício obtido com a geração de energia proporcionada.

Figura 4 – Locais com potencial para geração de energia em um sistema de abastecimento de água



Fonte: LIMA, 2013.

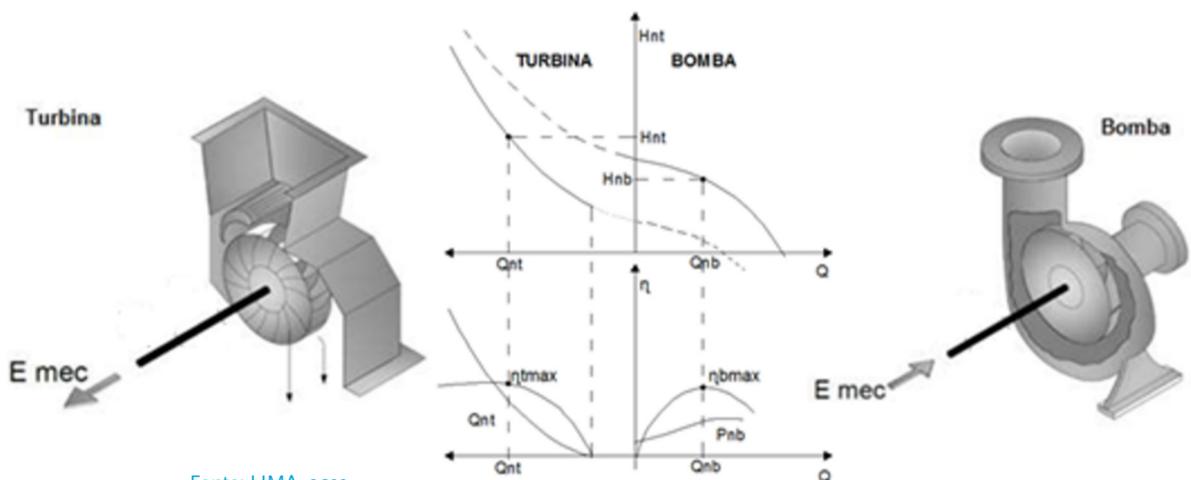
As redes de distribuição de água, por sua vez, têm uma configuração complexa, com a possível formação de anéis de distribuição que possibilitam que a água seja distribuída por diferentes caminhos de acordo com o consumo populacional, aumentando, assim, sua confiabilidade. Além disso, as redes de distribuição de água devem operar com uma pressão mínima para evitar a intrusão de patógenos por rupturas e para garantir o funcionamento de equipamentos hidrossanitários nas residências. Assim, identificar o trecho em que é possível realizar o aproveitamento energético não é uma tarefa simples e requer estudos técnicos e econômicos para garantir qualidade operacional do sistema. Lima, Brentan e Luvizotto Junior (2017b) propõem identificar o trecho que maximize o benefício obtido no sistema, ou seja, aquele que seja capaz de gerar a maior quantidade de energia e reduzir com mais eficiência o volume de vazamentos. Apesar dos bons resultados, os autores ressaltam que essa metodologia se baseia exclusivamente no critério econômico, podendo resultar em uma configuração em que o controle de vazamentos seja preterido à geração de energia.

Bomba centrífuga: um equipamento multifuncional

Uma das grandes questões relacionadas ao aproveitamento energético em sistemas de abastecimento de água é sua viabilidade econômica. Ao contrário de usinas hidrelétricas convencionais, onde barragens e reservatórios são construídos para elevar quedas disponíveis e regularizar o fluxo de água, em sistemas de abastecimento de água, essas variáveis são dependentes do consumo da população e, em geral, propiciam um potencial energético muito inferior ao de usinas hidrelétricas.

Essa característica exige que o projeto tenha custos reduzidos para que seja viável economicamente. Nesse cenário, os equipamentos eletromecânicos, turbina e gerador, representam a maior parcela do investimento necessário (CHAPALLAZ; EICHENBERGER; FISCHER, 1992). Isso se deve ao fato de esses equipamentos serem fabricados sob demanda, ou seja, eles são produzidos de acordo com as características do empreendimento, o que os torna um produto único. Entretanto, os rotores de turbinas e bombas se assemelham geometricamente, apresentando um fluxo radial em seu interior. Na realidade, as máquinas hidráulicas são capazes de operar em diferentes zonas de acordo com o sentido de sua rotação, altura e vazão (WYLIE; STREETER; SUO, 1993). O mesmo ocorre com os motores de indução, que podem trabalhar como geradores. A Figura 5 ilustra as curvas características de uma máquina

Figura 5 - Curvas características de uma máquina hidráulica operando como bomba e turbina

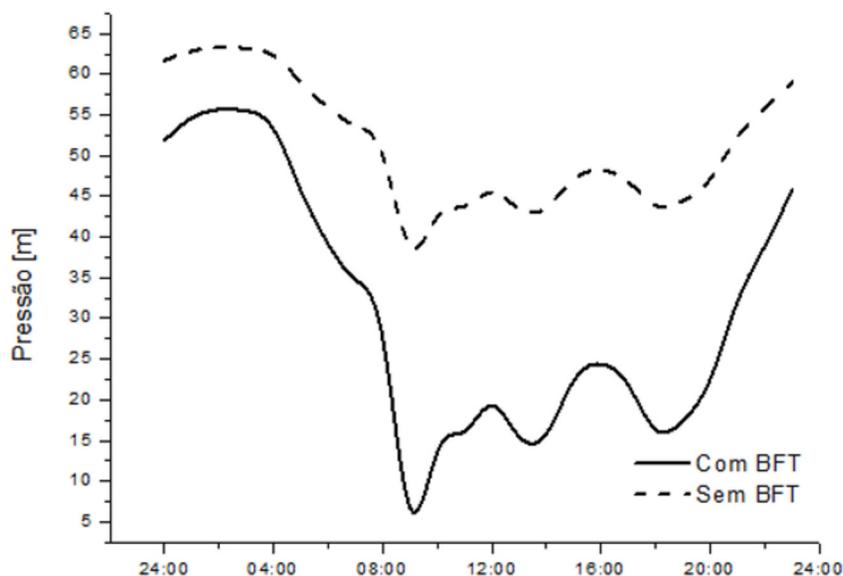


Fonte: LIMA, 2013.

hidráulica funcionando como bomba e turbina com suas vazões, alturas e potências nominais – Q_{nb} , H_{nb} , P_{nb} e Q_{nt} , H_{nt} , P_{nt} respectivamente, e também o sentido do fluxo da energia mecânica E_{mec} . Assim, surgiu a ideia de se utilizar bombas e motores, que são equipamentos fabricados em série, para realizar a geração de energia elétrica, reduzindo significativamente o custo dos equipamentos eletromecânicos.

Diversos estudos foram feitos mostrando viabilidade técnica e econômica das bombas para a geração de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água. Assim, a bomba hidráulica, projetada para recalcar água, é utilizada tanto como turbina quanto como válvula, gerando energia elétrica e reduzindo os vazamentos na distribuição. Apesar de ser um sistema relativamente eficiente, quando comparada aos equipamentos específicos, o rendimento da bomba, tanto na geração de energia quanto no controle de vazamentos, é inferior, conforme mostra a Figura 6, em que é possível verificar a grande variabilidade de pressão na rede de distribuição ao longo do dia, diferentemente da operação observada em uma VRP, em que a pressão se mantém constante.

Figura 6 - Controle de pressão em uma rede de abastecimento de água utilizando bomba funcionando como turbina - BFT



Fonte: LIMA, 2013.

A eficiência do aproveitamento energético

Do ponto de vista teórico, o aproveitamento energético e o controle de vazamentos simultâneos conseguidos por meio de bombas que funcionam como turbinas (BFTs) são excelentes, uma vez que os recursos são explorados de forma otimizada. Entretanto, em razão da baixa eficiência, tanto na geração de energia quanto no controle de vazamentos, sua aplicação em casos reais se torna questionável. Assim, diversos estudos foram realizados de forma a melhorar a performance global das BFTs.

A primeira alternativa proposta, feita por Carravetta et al. (2012), baseia-se no uso de BFTs em paralelo com VRPs já existentes. Dessa forma, o controle de vazamentos se mantém com uma alta eficiência devido à operação da VRP, mas a geração de energia é reduzida, uma vez que a BFT turbinará apenas uma parcela da vazão disponível.

Outra proposta feita por Carravetta, Fecarotta e Ramos (2018) é utilizar múltiplas BFTs em série e/ou em paralelo para operar com as diferentes pressões e vazões observadas ao longo do dia. Os autores ressaltam ainda que as máquinas podem ser dimensionadas diferentemente, considerando as características de períodos de menor e maior consumo para que operem com maior eficiência nessas condições. Essa alternativa visa realizar tanto o controle de vazamentos quanto a geração de energia de forma integral, garantindo uma grande eficiência do sistema. Entretanto, a complexidade operacional de um sistema com múltiplas BFTs e os custos de implantação são barreiras para a aplicação dessa alternativa.

Por fim, Lima et al. (2017a) propõem o uso da rotação variável para atender às variações de vazão e pressão durante o dia. Dessa forma, quando o consumo é elevado, a rotação da máquina é reduzida para que a perda de carga produzida seja menor, uma vez que a pressão disponível também é menor. Já no caso contrário, no período onde o consumo é reduzido, a máquina pode operar com uma rotação alta para gerar uma perda de carga elevada e, assim, reduzir a pressão na rede de distribuição. Essa alternativa agrega os mesmos benefícios de se utilizar múltiplas BFTs, mas de forma simplificada, pois apenas uma máquina deve ser controlada. Entretanto, os autores sugerem que, em locais onde a amplitude do consumo de água é elevada, a eficiência operacional dessa alternativa se reduz, sendo necessária a adição de uma outra BFT ou uma VRP para que se atinja uma performance satisfatória. O campo de operação de cada uma das alternativas apresentadas é ilustrado na Figura 7.

Figura 7 - Opções para uso de BFTs em redes de abastecimento de água: a) Múltiplas BFTs em paralelo; b) BFT associada em paralelo a uma VRP; c) BFT com rotação variável



Fonte: LIMA, 2017c.

Perspectivas

O crescimento da demanda de água, associada à escassez de recursos hídricos em grandes centros urbanos implica a exploração de mananciais cada vez mais distantes, o que faz elevar o consumo de energia para a produção de água tratada em razão, principalmente, da presença de estações elevatórias de grande porte. Silva Filho (2012) apresenta diversas ações de eficiência energética, como substituição de conjuntos moto-bombas, operação otimizada de estações elevatórias e limpeza de tubulações, demonstrando a grande viabilidade das ações de eficiência energética em estações elevatórias, com taxas de retorno variando de seis meses a dois anos. Lima (2013) também apresenta estudos sobre a viabilidade da geração de energia em sistemas de abastecimento de água, onde a taxa de retorno varia de um a cinco anos. Entretanto, o desenvolvimento e o aperfeiçoamento de tecnologias e rotinas operacionais ainda são necessários para reduzir a demanda desses insumos fundamentais para o desenvolvimento das cidades.

Entre os pontos ainda em aberto para discussão e inovação no que tange ao controle ótimo de redes, pode-se citar o aumento da eficiência computacional para abordagens em tempo real, a simulação de falhas para definição de controle em situações anômalas ou ainda a representação das perdas de maneira mais fidedigna às situações encontradas em campo.

A abordagem em tempo real pode trazer ganhos significativos para a operação dos sistemas de abastecimento. Isso porque válvulas e bombas são operadas de acordo com a demanda em tempo real, reduzindo ainda mais o excedente de pressão e o consumo de energia (BRENTAN et al., 2018). No entanto, tão complexa é essa abordagem quanto vantajosa para os sistemas de abastecimento. Isso porque o desafio de operação em tempo real passa pelo conhecimento do comportamento das redes frente às manobras e também do padrão de consumo por parte dos usuários. Além disso, operações remotas em tempo real devem ter em conta as possíveis falhas do sistema, de tal modo que sejam capazes de implementar controles ótimos, mesmo em situações de anomalia. Daí, a dificuldade dessa abordagem e a importância do monitoramento das redes.

No que se refere à produção de energia nas redes de abastecimento, Carravetta et al. (2018) destacam na Europa as ações do grupo de pesquisa REDAWN (*Reducing Energy Dependency in Atlantic Water Networks*), que busca desenvolver o aproveitamento de energia em redes de abastecimento de água. Nos EUA, a EPA (*Environmental Protection Agency*) tem diretrizes e planilhas para que as concessionárias de água façam o uso eficiente da energia, inclusive considerando a geração de energia nas redes de distribuição. No Brasil, podem ser destacados os esforços do Procel (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) ao desenvolver a etiquetagem de conjuntos moto-bombas em 2010 (Brasil, 2010), da Aneel, ao estabelecer em 2012 condições para que microgeradores tivessem acesso às redes de distribuição (Aneel, 2012), e do Ministério das Cidades, ao criar o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em 1996, como ferramenta de auxílio no planejamento, gestão e avaliação de desempenho do setor de saneamento (Brasil, 2018). Atualmente, a eficiência energética de sistemas de abastecimento de água passa pelo conceito de *Smart Cities*, em que a tecnologia da informação é utilizada para obter soluções otimizadas em um curto espaço de tempo. Assim, o desenvolvimento de sensores, *softwares* de análise de dados e a operação integrada com outras infraestruturas urbanas deverão ser o foco de estudo nos próximos anos.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, Resolução Normativa Aneel n. 482, de 17 de abril de 2012 (Diário Oficial, de 19 abr. 2012, seção I, p. 53), 2012.

AFSHAR, A.; JEMAA, F. B.; MARIÑO, M. A.. Optimization of hydropower plant integration in water supply system. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 116, n. 5, p. 665-675, 1990. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1990\)116:5\(665\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1990)116:5(665))

AL-ANI, D.; HABIBI, S.. Optimal pump operation for water distribution systems using a new multi-agent Particle Swarm Optimization technique with EPANET. In: 2012 25th IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE). IEEE, 2012. p. 1-6.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE SERVIÇO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA – Abesco. **O que é Eficiência Energética?** (EE). [s.d.]. Disponível em: <http://www.abesco.com.br/pt/o-que-e-eficiencia-energetica-ee/>. Acesso em: 8 nov. 2019.

BARÁN, B.; VON LÜCKEN, C.; SOTELO, A. Multi-objective pump scheduling optimisation using evolutionary strategies. *Advances in Engineering Software*, v. 36, n. 1, p. 39-47, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2004.03.012>

BINITHA, S.; SATHYA, S. S. A survey of bio inspired optimization algorithms. *International Journal of Soft Computing and Engineering*, v. 2, n. 2, p. 137-151, 2012.

BRASIL. Ministério Do Desenvolvimento, Indústria E Comércio Exterior Instituto Nacional De Metrologia, Normalização E Qualidade Industrial-Inmetro. Portaria n° 455, de 1 de dezembro de 2010.

BRASIL. Ministério das Cidades. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica-Procel. Manual de tarifação da energia elétrica. Brasília, 2011.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos - 2016. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2018a. 220 p. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2016>. Acesso em: 8 nov. 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balanco Energético Nacional 2018 - Ano Base 2017**. Rio de Janeiro: MME, 2018b. Disponível em: http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf. Acesso em: 08 nov. 2019.

BRDYS, M. A et. al. Operational control of integrated quality and quantity in water systems. *IFAC Proceedings Volumes*, v. 28, n. 10, p. 663-669, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)51596-7](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)51596-7)

BRENTAN, B. et al. Water pump scheduling optimization using agent swarm optimization. In: International Conference on Mathematical Modelling in Engineering & Human Behaviour, 2015, Valencia. *Proceedings* [...]. Valencia: IMM, 2015, p. 50-55.

BRENTAN, B. et al. Joint Operation of Pressure-Reducing Valves and Pumps for Improving the Efficiency of Water Distribution Systems. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 144, n. 9, 2018. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000974](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000974)

BROAD, D. R., MAIER, H. R.; DANDY, G. C. Optimal operation of complex water distribution systems using metamodels. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 136, n. 4, p. 433-443, 2009.

BUREK, P. et al. **Water futures and solution: fast track initiative** (final report). Austria: IIASA, 2016. Disponível em: <http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/13008/1/WP-16-006.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. (2018). Disponível em: <http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica>. Acesso em: 8 nov. 2019.

CARPITELLA, S. et al. Multi-objective and multi-criteria analysis for optimal pump scheduling in water systems. In: International Conference on Hydroinformatics - HIC2018, 13., 2018, Palermo. **Proceedings [...]**. Palermo: EPiC Engineering, 2018. DOI: <https://doi.org/10.29007/vk44>

CARRAVETTA et al. Energy production in water distribution networks: A PAT design strategy. **Water resources management**, v. 26, n. 13, p. 3947-3959, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0114-1>

CARRAVETTA, A.; FECAROTTA, O.; RAMOS, H. M. A new low-cost installation scheme of PATs for pico-hydropower to recover energy in residential areas. **Renewable Energy**, v. 125, p. 1003-1014, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.132>

CARRAVETTA, A. et al. Reducing the Energy Dependency of Water Networks in Irrigation, Public Drinking Water, and Process Industry: REDAWN Project. **Proceedings**, v. 2, n. 11, p. 681, 2018. Trabalho apresentado no The EWaS International Conference on “Insights on the Water-Energy-Food Nexus”. DOI: <https://doi.org/10.3390/proceedings2110681>

CHAPALLAZ, J. M.; EICHENBERGER, P.; FISCHER, G. Manual on pumps used as turbines. Braunschweig: Vieweg, 1992. MHPG series harnessing water power on a small scale. Vol. 11.

DORIGO, M.; DI CARO, G. Ant colony optimization: a new meta-heuristic. In: Congress on Evolutionary Computation-CEC99 (Cat. N°. 99TH8406), 1999, Washington. **Proceedings [...]**. Washington: IEEE, 1999. p. 1470-1477. DOI: <https://doi.org/10.1109/cec.1999.782657>

EBERHART, R.; KENNEDY, J. A new optimizer using particle swarm theory. In: International Symposium on Micro Machine and Human Science, 6., 1995, Nagoya. **Proceedings [...]**. Nagoya: IEEE, 1995. p. 39-43. DOI: <https://doi.org/10.1109/mhs.1995.494215>

GOLDBERG, D. E.; KORB, B.; DEB, K. Messy Genetic Algorithms: Motivation, Analysis, and First Results. **Complex systems**, v. 3, n. 5, p. 415-444, 1989. Disponível em: https://www.complex-systems.com/abstracts/v03_i05_a05/. Acesso em: 8 nov. 2019.

GOLDMAN, F. E.; MAYS, L. W. The application of simulated annealing to the optimal operation of water systems. In: Annual Water Resources Planning and Management Conference - WRPMD'99, 29., 1999, Tempe. **Proceedings [...]**. Tempe: American Society of Civil Engineers, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1061/40430\(1999\)56](https://doi.org/10.1061/40430(1999)56)

GUANAIS, A. L. R.; COHIM, E. B.; MEDEIROS, D. L. Avaliação energética de um sistema integrado de abastecimento de água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 1187-1196, jul. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522017146180>

HAMANAKA, S. Foreign Governmental Suppliers' Investment: Profit or Aid? The Case Study of Japanese City Water Bureau. In: CHAISSE, J. (Ed.). **The Regulation of the Global Water Services Market**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017. p. 220-241. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781316678442.010>

ISLAM, M. S.; BABEL, M. S. Economic analysis of leakage in the Bangkok water distribution system. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 139, n. 2, p. 209-216, 2013. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000235](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000235)

JOWITT, Paul W.; XU, Chengchao. Optimal valve control in water-distribution networks. **Journal of Water Resources Planning and Management**, 1990, 116.4: 455-472. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1990\)116:4\(455\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1990)116:4(455))

JOWITT, P. W.; GERMANOPOULOS, G. Optimal pump scheduling in water-supply networks. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 118, n. 4, p. 406-422, 1992. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1992\)118:4\(406\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1992)118:4(406))

KOUGIAS, I. et al. Exploring the potential of energy recovery using micro hydropower systems in water supply systems. **Water Utility Journal**, v. 7, p. 25-33, 2014. Disponível: https://www.ewra.net/wuj/pdf/WUJ_2014_07_03.pdf. Acesso em: 8 nov. 2019.

LANSEY, K. E.; AWUMAH, K. Optimal pump operations considering pump switches. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 120, n. 1, p. 17-35, 1994. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1994\)120:1\(17\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1994)120:1(17))

LIMA, G. M. Microgeração em Sistemas de Abastecimento de Água. 2013. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2013. Disponível em: <http://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/handle/123456789/963>. Acesso em: 8 nov. 2019.

LIMA, G. M. et al. Leakage Control and Energy Recovery Using Variable Speed Pumps as Turbines. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 144, n. 1, 2017a. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000852](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000852)

LIMA, G. M.; BRENTAN, B.; LUVIZOTTO JUNIOR, E. Selection and location of Pumps as Turbines substituting pressure reducing valves. **Renewable Energy**, v. 109, p. 392-405, 2017b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.03.056>

LIMA, G. M. Geração de Energia e Controle de Pressão em Redes de Abastecimento de Água Utilizando Bombas Funcionando como Turbina (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, 2017c. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/331097/1/Lima_GustavoMeirelles_D.pdf. Acesso em: 8 nov. 2019.

LIMA, G. M. et al. Trunk Network Rehabilitation for Resilience Improvement and Energy Recovery in Water Distribution Networks. **Water**, v. 10, n. 6, p. 693, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/w10060693>

LINGIREDDY, S.; WOOD, D. J. Improved operation of water distribution systems using variable-speed pumps. *Journal of Energy Engineering*, v. 124, n. 3, p. 90-103, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9402\(1998\)124:3\(90\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9402(1998)124:3(90))

LÓPEZ-IBÁÑEZ, M.; PRASAD, T. D.; PAECHTER, B. Multi-objective optimisation of the pump scheduling problem using SPEA2. In: Congress on Evolutionary Computation, 2005, Edinburgh. *Proceedings* [...].Edinburgh: IEEE, 2005. p. 435-442. DOI: <https://doi.org/10.1109/cec.2005.1554716>

LÓPEZ-IBÁÑEZ, M., PRASAD, T. D.; PAECHTER, B. Ant colony optimization for optimal control of pumps in water distribution networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 134, n. 4, p. 337-346, 2008. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2008\)134:4\(337\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2008)134:4(337))

MALA-JETMAROVA, H.; SULTANOVA, N.; SAVIC, D. Lost in optimisation of water distribution systems? A literature review of system operation. *Environmental modelling & software*, v. 93, p. 209-254, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.02.009>

MANZI, D. et al. Dimensionamento ótimo de redes de distribuição de água com uso de métodos de otimização inspirados na natureza. *Revista DAE*, v. 212, n. 66, p. 16-31, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4322/dae.2018.020>

MARTINEZ, F. et al. Optimizing the operation of the Valencia water-distribution network. *Journal of Hydroinformatics*, v. 9, n. 1, p. 65-78, 2007. DOI: <https://doi.org/10.2166/hydro.2006.018>

MCLEAN, B. **Before the House Committee on Transportation and Infrastructure, Subcommittee on Water Resources and Environment**. EPA online report, (2009).

MOSER, G.; PAAL, S. G.; SMITH, I. F. Performance comparison of reduced models for leak detection in water distribution networks. *Advanced Engineering Informatics*, v. 29, n. 3, p. 714-726, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2015.07.003>

MUHAMMETOGLU, A. et al. Evaluation of performance and environmental benefits of a full-scale pump as turbine system in Antalya water distribution network. *Water Science and Technology: Water Supply*, v. 18, n. 1, p. 130-141, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2166/ws.2017.087>

ODAN F. K.; REIS, L. F. R.; KAPELAN, Z. Real-time multiobjective optimization of operation of water supply systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 141, n. 9, 2015. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000515](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000515)

PROGRESS ON SAFE TREATMENT AND USE OF WASTEWATER: piloting the monitoring methodology and initial findings for SDG indicator 6.3. 1. Geneva: World Health Organization and UNHABITAT, 2018. 40 p. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/275967> . Acesso em: 7 nov. 2019.

RAO, Z.; SALOMONS, E. Development of a real-time, near-optimal control process for water-distribution networks. *Journal of Hydroinformatics*, v. 9, n.1, p. 25-37, 2007. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000515](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000515)

RIBEIRO, L. C. L. J. **Modelo híbrido multiobjetivo para obtenção de roteiros operacionais de bombas de rotação variável em instalações hidráulicas.** 2007. 103 f. – Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Unicamp, Campinas, 2007. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/handle/>

REPOSIP/258178. Acesso em: 8 nov. 2019.

RODRIGUES, Wlamir. Critérios para o uso eficiente de inversores de frequência em sistemas de bombeamento de água. 2007. 234p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/258179>. Acesso em: 9 ago. 2018.

ROSSMAN, L. A. **EPANET 2: users manual**. United States: EPA, 2000. Disponível em: https://epanet.es/wp-content/uploads/2012/10/EPANET_User_Guide.pdf. Acesso em: 8 nov. 2019.

SAVIC, D. A.; WALTERS, G. A.; SCHWAB, M. Multiobjective genetic algorithms for pump scheduling in water supply. *In: AISB International Workshop on Evolutionary Computing*, 1997, Berlin. **Proceedings** [...]. Berlin: Springer, 1997. p. 227-235. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF0027177>

SHAMIR, U.; SALOMONS, E. Optimal real-time operation of urban water distribution systems using reduced models. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 134, n. 2, p. 181-185, 2008.

SILVA FILHO, A. Q. da. Estudo de Diagnóstico Energético em Sistemas de Abastecimento. 2012. 190 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2012. Disponível em: <http://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/handle/123456789/1176>. Acesso em: 8 nov. 2019.

SOFFIA, C. et al. Hydropower potential from the drinking water systems of the Piemonte region. *In: International Conference on Sustainable Energy & Environmental Protection*, 4., 2010, Bari. **Proceedings** [...]. Bari, [s.n.], 2010. Disponível em: http://www.idrologia.polito.it/~claps/Papers/PCo6I_Soffia.pdf. Acesso em: 8 nov. 2019.

STEPANOFF, A. J.; STAHL, H. A. Dissimilarity laws in centrifugal pumps and blowers. **Journal of Engineering for Power**, v. 83, n. 4, p. 381-390, 1961. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.3673214>

WAKEEL, M et al. Energy consumption for water use cycles in different countries: A review. **Applied Energy**, v. 178, p. 868-885, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.06.114>

WEGLEY, C.; EUSUFF, M.; LANSEY, K. Determining pump operations using particle swarm optimization. *In: Joint Conference on Water Resource Engineering and Water Resources Planning and Management*, 2000, Minneapolis. **Proceedings** [...]. Minneapolis: ASCE Library, 2012. DOI: [https://doi.org/10.1061/40517\(2000\)206](https://doi.org/10.1061/40517(2000)206)

WYLIE, E. B.; STREETER, V. L.; SUO, L. **Fluid transients in systems**. Nova Jersey: Prentice Hall, 1993. 464 p.

YU, G.; POWELL, R. S.; STERLING, M. J. H. **Optimized pump scheduling in water distribution systems**. **Journal of optimization theory and applications**, 1994, 83.3: 463-488.

ZESSLER, U; SHAMIR, U. Optimal operation of water distribution systems. **Journal of water resources planning and management**, v. 115, n. 6, p. 735-752, 1989. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1989\)115:6\(735\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1989)115:6(735))



GLEICE PRADO



ENERGIA EM BIOLOGIA

ENIO CARDILLO VIEIRA*

RESUMO O alimento fornece energia para manutenção da vida. Carboidratos, lipídeos, proteínas e álcool são as principais fontes de energia, que fornecem, respectivamente, 4, 9, 4 e 7 quilocalorias por grama. A manutenção do peso ideal é importante para prevenção de doenças, que podem ser decorrentes da falta ou do excesso de energia ingerida. Deficiência de energia na criança causa marasmo e, no adulto, caquexia. Ingestão excessiva de energia promove obesidade, uma doença grave que predispõe a inúmeras outras doenças.

PALAVRAS-CHAVE Energia. Biologia. Metabolismo celular.

ENERGY IN BIOLOGY

ABSTRACT Food supplies energy for life maintenance. Carbohydrates, lipids, proteins, and alcohol are the main sources of energy producing, respectively, 4, 9, 4, and 7 kilocalories per gram. The maintenance of the ideal body weight is very important. Lack of energy in children and adults leads to marasmus and caquexia, respectively. Excessive ingestion of energy causes obesity, a severe disease that predisposes to several other diseases.

KEYWORDS Energy. Biology. Cell metabolism.

* Professor Emérito de Bioquímica, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) - enio.cardillo@terra.com.br

Aspectos gerais

A nutrição é uma ciência baseada na química que trata de processos químicos e fisiopatológicos, os quais, por sua vez, transformam os nutrientes em elementos corporais. A nutrição é um dos fatores ambientais que têm uma influência significativa sobre a habilidade dos seres vivos em atingir seu potencial genético pleno para crescimento, reprodução, saúde, longevidade e resposta a estímulos.

A nutrição, para todos os seres vivos, cumpre duas finalidades principais: fornecimento de energia e suprimento de substâncias essenciais ao organismo. Uma terceira finalidade ligada ao ato de se alimentar pode ser acrescentada: obtenção de prazer por meio da alimentação.

O alimento fornece ao organismo sete componentes: energia, proteínas, lipídeos, carboidratos, vitaminas, sais minerais e fibras. Água e oxigênio, cujos papéis na manutenção da vida são óbvios, poderiam ser acrescentados à relação de nutrientes.

Fontes de energia

Os principais componentes dos alimentos que fornecem energia são proteínas, lipídeos e carboidratos, que produzem, respectivamente, 4, 9 e 4 kcal/g. Os produtos da digestão são absorvidos e utilizados em processos metabólicos diversos para produção de energia ou para armazenamento. Outros componentes eventuais dos alimentos, como citrato, acetato e outros ácidos orgânicos, são metabolizados e fornecem energia. As bebidas alcoólicas contribuem para o aporte energético para grande parte da população. O álcool (etanol) fornece 7 kcal/g.

Unidades

A unidade de medida de energia, internacionalmente recomendada, é o *joule*. A conversão de caloria em joule faz-se pela equivalência:

$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ joules.}$$

Em nutrição, usa-se a quilocaloria (kcal), que equivale a 1.000 cal. Caloria é a energia necessária para elevar a temperatura da água em um grau centígrado (14,5 °C a 15,5 °C). Na linguagem popular, o termo caloria confunde-se com energia. Assim, fala-se de alimentos que fornecem muitas ou poucas calorias.

Necessidades

Quais são as demandas diárias de energia para o homem adulto? A resposta mais simples a essa pergunta é a seguinte: aquela quantidade de energia necessária para manutenção do peso ideal. A necessidade de energia depende de diversas variáveis: idade, sexo, massa corporal, estado fisiológico, atividade física e fatores individuais.

A Tabela 1 mostra as recomendações dietéticas de acordo com a *National Academy of Sciences* e o *National Research Council* dos Estados Unidos. Observam-se as diferenças nas recomendações para pessoas de idades e sexos diferentes e, ainda, os acréscimos que se devem fazer para gestantes e nutrízes.

Há que se distinguir necessidade de recomendação. Necessidade é a quantidade mínima de um determinado nutriente para manutenção da saúde. Essa necessidade baseia-se em extrapolações derivadas de dados de experiências com animais. As recomendações estão acima dos valores das necessidades para se garantir uma margem de segurança de modo a evitar deficiências decorrentes de variações individuais.

A necessidade de energia diminui quando se passa da idade adulta. À medida que a idade avança, a necessidade de energia diminui. Esse fato explica por que muitas pessoas engordam na maturidade. A necessidade de energia é maior para o homem do que para a mulher. Quanto maior a massa corporal, maior a necessidade energética. A superfície corporal mostra um paralelismo mais estreito com a necessidade energética do que o peso corporal. A necessidade de energia está relacionada com estados fisiológicos.

Tabela 1 - Recomendações Dietéticas de Nutrientes
(Food and Nutrition Board, National Academy of Sciences-National Research Council, USA)

Categoria ou Condição	Idade (anos)	Peso (Kg)	Altura (cm)	Proteína (g)	Vitaminas Lipossolúveis					Vitaminas Hidrossolúveis					Minerais							
					Vitamina A (µg RE) ^a	Vitamina D (µg) ^b	Vitamina E (mg α-TE) ^c	Vitamina K (µg)	Vitamina C (mg)	Tiamina (mg)	Riboflavina (mg)	Niacina (mg NE) ^d	Vitamina B6 (mg)	Folato (µg)	Vitamina B12 (µg)	Cálcio (mg)	Fósforo (mg)	Magnésio (mg)	Ferro (mg)	Zinco (mg)	Iodo (µg)	Selênio (µg)
Crianças	0.0-0.5	6	60	13	375	7.5	3	5	30	0.3	0.4	5	0.3	25	0.3	400	300	40	6	5	40	10
	0.5-1.0	9	71	14	375	10	4	10	35	0.4	0.5	6	0.6	35	0.5	600	500	60	10	5	50	15
	1-3	13	90	16	400	10	6	15	40	0.7	0.8	9	1.0	50	0.7	800	800	80	10	10	70	20
Homens	4-6	20	112	24	500	10	7	20	45	0.9	1.1	12	1.1	75	1.0	800	800	120	10	10	90	20
	7-10	28	132	28	700	10	7	30	45	1.0	1.2	13	1.4	100	1.4	800	800	170	10	10	120	30
	11-14	45	157	45	1.000	10	10	45	50	1.3	1.5	17	1.7	150	2.0	1.200	1.200	270	12	15	150	50
Mulheres	15-18	66	176	59	1.000	10	10	65	60	1.5	1.8	20	2.0	200	2.0	1.200	1.200	400	12	15	150	50
	19-24	72	177	58	1.000	10	10	70	60	1.5	1.7	19	2.0	200	2.0	1.200	1.200	350	10	15	150	70
	25-50	79	176	63	1.000	5	10	80	60	1.5	1.7	19	2.0	200	2.0	800	800	350	10	15	150	70
Grávidas	51+	77	173	63	1.000	5	10	80	60	1.2	1.4	15	2.0	200	2.0	800	800	350	10	15	150	70
	11-14	46	157	46	800	10	8	45	50	1.1	1.3	15	1.4	150	2.0	1.200	1.200	280	15	12	150	45
	15-18	55	163	44	800	10	8	55	60	1.1	1.3	15	1.5	180	2.0	1.200	1.200	300	15	12	150	50
Lactantes	19-24	58	164	46	800	10	8	60	60	1.1	1.3	15	1.6	180	2.0	1.200	1.200	280	15	12	150	50
	25-50	63	163	50	800	5	8	65	60	1.1	1.3	15	1.6	180	2.0	800	800	280	15	12	150	55
	51+	65	160	50	800	5	8	65	70	1.0	1.2	13	1.6	180	2.0	800	800	280	10	12	150	55
Lactantes	1-6 meses			65	1.300	10	12	65	95	1.6	1.8	20	2.1	280	2.6	1.200	1.200	355	15	19	200	75
	2-6 meses			62	1.200	10	11	65	90	1.6	1.7	20	2.1	260	2.6	1.200	1.200	340	15	16	200	75

^a Equivalentes de Retinol . 1 equivalente de retinol = 1 µg ou 6 µg de beta-caroteno para cálculo da atividade de vitamina A de dietas como equivalentes de retinol

^b Como colecalciferol. 10 µg de colecalciferol = 400 unidades internacionais de vitamina D

^c Equivalentes de alfa-tocoferol . 1mg de d-alfa-tocoferol = 1 equivalente de vitamina E

^d NE (equivalente de niacina) é igual a 1 mg de niacina ou 60 mg de triptofano dietética.

Na gravidez, na lactação e em idades em que o surto de crescimento é grande, há aumento na demanda de energia. A necessidade de energia está diretamente relacionada com a atividade física: quanto mais intensa é a atividade, maior é a necessidade energética. A Tabela 2 mostra as demandas de energia para o exercício de atividades diárias diversas. Uma variável importante reside nos fatores individuais. Assim, dois indivíduos do mesmo sexo, da mesma idade, com o mesmo peso e fazendo a mesma atividade física podem ter necessidades energéticas diferentes, cuja expressão se encontra na equação:

$$\text{Necessidade energética} = \text{metabolismo basal} + \text{termogênese} + \text{atividade física}$$

Tabela 2 - Gasto em calorias, em atividades físicas diversas

Gasto energético em calorias, em 10 minutos de atividades físicas diversas					
Atividade	Peso em kg				
	57	68	80	90	115
Dormindo	10	12	14	16	20
Em pé	12	14	16	19	24
Descer escadas	56	67	78	88	111
Subir escadas	146	175	202	229	288
Caminhar 6km/h	52	62	72	81	102
Correr 10 km/h	118	141	164	187	232
Bicicleta 20 km/h	89	107	124	142	178
Trabalho doméstico	34	41	47	53	68
Lavar chão	38	46	53	60	75
Cozinhar	32	39	46	52	65
Escrever sentado	15	18	21	24	30
Mecânica de automóvel	35	42	48	54	69
Voleibol	43	52	65	75	94
Basquetebol	58	70	82	93	107
Futebol	69	83	96	110	137
Dança Moderada	35	42	48	55	69
Dança movimentada	48	57	66	75	94
Pingue-pongue	32	38	45	52	64
Natação(20m/min)	32	38	45	52	64
Tênis	56	67	80	92	115

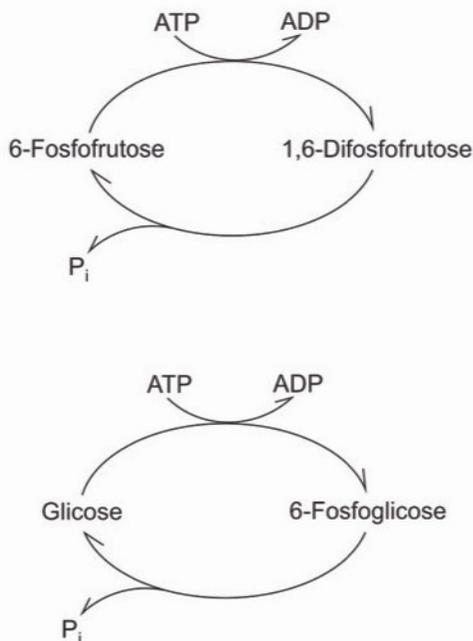
Fonte: Food and Nutrition Board, National Academy of Sciences – National Research Council, USA.

Metabolismo Basal

O metabolismo basal varia de um indivíduo para outro. Representa a energia necessária para manutenção dos processos vitais. As células trabalham 24 horas por dia. Esse gasto de energia ocorre mesmo que o indivíduo se encontre em repouso absoluto. Estima-se que cerca de dois terços do gasto diário de energia sejam representados pelo metabolismo basal.

A bomba de sódio é responsável por 20-30% do gasto energético do metabolismo basal. Isso significa que o organismo gasta grande quantidade de energia para

Figura 1 - Ciclos fúteis



Em cada volta do ciclo, há consumo de uma molécula de ATP. Fonte: VIEIRA, EC, FIGUEIREDO, EA, ALVAREZ-LEITE, JI et al., 1995, p. 247.

manutenção do sódio fora da célula. Essa quantidade de energia varia de indivíduo para indivíduo. Demonstrou-se que pessoas com dificuldades de perder peso ou animais geneticamente obesos têm bomba de sódio mais eficiente, isto é, mantêm o sódio fora da célula com um dispêndio menor de energia. Isso explicaria a dificuldade que certos pacientes obesos têm para perder peso a despeito de reduções apreciáveis no aporte calórico (ERDMAN JUNIOR; MACDONALD; ZEISEL et al., 2012).

Outra contribuição importante para o metabolismo basal é dada pelos chamados ciclos fúteis. Exemplos de ciclos fúteis encontram-se na Figura 1. A fosforilação de alguns compostos consome ATP, e a desfosforilação deles leva-os ao ponto inicial. Quanto maior a intensidade dos ciclos fúteis, maior será o gasto sem aproveitamento de energia. Não se conhece, precisamente, a contribuição dos ciclos fúteis para o gasto de energia.

Termogênese

Termogênese é a produção de calor no organismo. Há dois tipos de termogênese: adaptativa ou reguladora e induzida pela dieta.

A termogênese reguladora ou adaptativa, ainda conhecida como termogênese sem tremores, é responsável pela geração de calor no organismo. Ela torna possível a adaptação do animal às variações de temperatura ambiente. Esse tipo de termogênese é particularmente importante em animais que sobrevivem em temperaturas muito baixas, sobretudo durante o período de hibernação. Esses animais têm quantidades apreciáveis de tecido adiposo pardo.

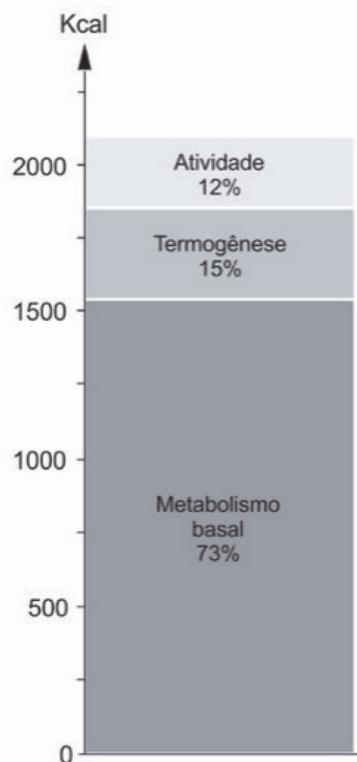
A termogênese induzida pela dieta reflete a produção de calor que acompanha a ingestão de alimentos. Mastigação, produção de enzimas digestivas, absorção, deposição dos produtos da digestão requerem energia. É também chamada de ação dinâmica específica. Acreditava-se haver diferenças na ação dinâmica específica de acordo com o tipo de alimento ingerido. Sabe-se que dietas diferentes influem muito pouco em seu valor.

Atividade física

A atividade física é um fator muito variável. O requerimento energético de diversos tipos de exercícios está mostrado na Tabela 2.

A Figura 2 mostra a contribuição relativa do metabolismo basal, da termogênese e da atividade física no gasto total de energia de um adulto sedentário. Observa-se a maior participação do metabolismo basal e a pequena contribuição da atividade física. Mostrou-se que a atividade física aumenta o metabolismo basal. Esse efeito persiste por 15 horas. Assim, se um indivíduo faz exercício pela manhã, seu metabolismo basal está mais elevado à noite. É importante que o indivíduo se mantenha em atividade física durante toda a vida. O exercício físico é importante na prevenção de diversas doenças. Descrevem-se mais de trinta benefícios para a saúde (KAMEN, 2001), inclusive na prevenção de câncer (WCRF-AICR, 2017). A manutenção da atividade física é importante para a prevenção de sarcopenia (diminuição da massa muscular).

Figura 2— Componentes do gasto de energia



Fonte: VIEIRA, EC, FIGUEIREDO, EA, ALVAREZ-LEITE, JI et al., 1995, p. 248.

Balanço energético

O homem, à semelhança de todos os seres vivos, obedece à primeira lei da termodinâmica, a lei da conservação de energia. Animais armazenam energia na forma de gordura. Já os vegetais armazenam energia em carboidratos. A ingestão de energia além do necessário resulta no aumento do tecido adiposo. Se a ingestão de energia está aquém das necessidades, os animais mobilizam as reservas energéticas – as gorduras – para suprimento da deficiência.

Deficiência de ingestão de energia

A Organização Mundial de Saúde considera que o problema nutricional maior no mundo é o da quantidade de alimento. Acredita-se que, se houver alimento em quantidade suficiente para atender às necessidades energéticas, é muito provável que as necessidades de nutrientes sejam satisfeitas, inclusive a de proteínas.

A deficiência na ingestão de energia provoca a caquexia no adulto e o marasmo na criança. O adulto caquético é exageradamente magro e anêmico e torna-se apático. A hipoalbuminemia é responsável por edema – edema de fome – que se instala. A criança marasmática é esquelética e apática. O emagrecimento é acentuado. A apatia é consequência da deficiência calórica e representa uma defesa do organismo na tentativa de economizar energia. No marasmo, existe uma poliarência, isto é, deficiência de muitos nutrientes.

Excesso de ingestão energética

O excesso de ingestão de energia resulta na obesidade, que é o resultado do acúmulo de gordura no tecido adiposo. Há muitos conceitos falsos e muitas crendices a respeito dessa doença. O que causa obesidade é o excesso de energia ingerida, independentemente da sua origem. Em outras palavras, proteínas, gorduras e carboidratos produzem energia e, portanto, ingeridos em excesso, podem engordar. O organismo não distingue calorias fornecidas por carboidratos daquela proveniente de proteínas ou de gorduras. O custo metabólico para a conversão de gordura dietética em gordura corporal é de cerca de 3% da energia ingerida. Por outro lado, o custo metabólico para conversão de carboidratos em gorduras chega a 26% da energia ingerida. Deduz-se daí que a gordura da dieta favorece mais o acúmulo de gordura corporal do que o de carboidrato, por um fator maior do que 8. Países onde há maior prevalência de obesidade são aqueles onde o consumo de gordura é muito elevado. Já no Oriente, onde a base da alimentação é o arroz – alimento rico em carboidrato –, a incidência de obesidade é baixa.

A prevalência de obesidade está aumentando em todo o mundo. Em algumas regiões do planeta, chegou a quadruplicar (POPKIN; ADAIR.; NG., 2012). Obesidade é uma doença temível. Inúmeras causas de morte afetam mais o indivíduo obeso quando comparado com o magro.

Aporte de energia e longevidade

McCay e colaboradores (1935), em experiências clássicas, mostraram que ratos mantidos com ingestão calórica baixa, isto é, ingerindo menos alimento do que o fariam nas condições normais de laboratório, viviam mais do que seus pares alimentados *ad libitum*. Esses dados foram confirmados por inúmeros autores em diversas espécies animais. Claro que a ética não permitiria a execução de experiências desse tipo em seres humanos. Contudo, há um dado interessante. A maior proporção de centenários no mundo vive em uma ilha do Japão: Okinawa (DIRKS & LEEUWENBURGH, 2006). A população dessa ilha ingere os mesmos alimentos consumidos por japoneses de outras ilhas. Contudo, por tradição, a população nessa ilha consome menor quantidade de alimentos quando comparada com a ingestão de alimentos por japoneses de outras ilhas. Atualmente, estudam-se experimentalmente os tipos de nutrientes cuja diminuição afeta a longevidade e a faixa etária em que essa diminuição é mais eficaz para aumentar o tempo de vida dos animais. De qualquer forma, permanece a ideia segundo a qual, havendo parcimônia na ingestão de alimentos, investe-se em longevidade.

Referências

- DIRKS, A. J.; LEEUWENBURGH, C. Caloric Restriction in Humans: Potential Pitfalls and Health Concerns. **Mechanisms of Ageing and Development**, v. 127, n. 1, p. 1-7, jan. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mad.2005.09.001>
- ERDMAN JUNIOR., J. W.; MACDONALD, I. A.; ZEISEL, S. H. (edit.). **Present Knowledge in Nutrition**. 10. ed. Oxford: Wiley, Blackwell, 2012.
- KAMEN, G. **Foundations of Exercise** Philadelphia: Lippincott, Williams & Wilkins, 2001.
- MCCAY, C. M.; CROWELL, M. F.; MAYNARD, L. A. The Effect of Retarded Growth upon the Length of Life Span and upon the Ultimate Body Size. **The Journal of Nutrition**, v. 10, n. 1, p. 63-79, jul. 1935. DOI: <https://doi.org/10.1093/jn/10.1.63>
- POPKIN, B. M.; ADAIR, L. S.; NG, S. W. Global nutrition transition and the pandemic of obesity in developing countries. **Nutrition Reviews**, v. 70, n. 1, p. 3-21, jan. 2012
- VIEIRA, E.C.; FIGUEIREDO, E.A.; ALVAREZ-LEITE, J.I.; GOMEZ, E.C. **Química Fisiológica**. 2. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 1995.
- WORLD CANCER RESEARCH FUND, AMERICAN INSTITUTE FOR CANCER RESEARCH -WCRF/AICR. Food, Nutrition, Physical Activity, and the Prevention of Cancer: A Global Perspective. WCRF/AICR, 2007.

ARTS



ARTES

ENERGIA EM MOVIMENTO

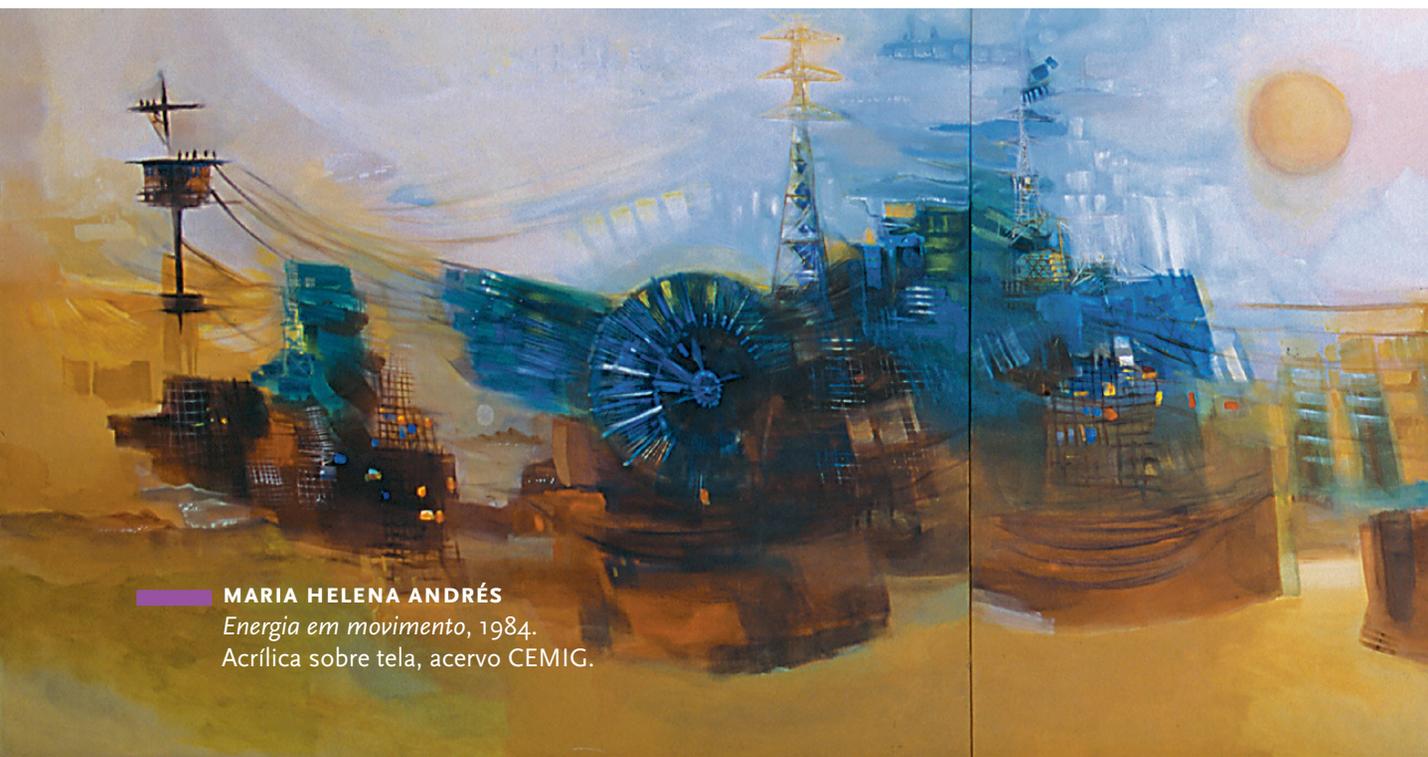
de Maria Helena Andrés

MARÍLIA ANDRÉS RIBEIRO*

Maria Helena Andrés (1922) é uma artista brasileira que tem atuado nos campos das artes visuais, da educação, da literatura e do intercâmbio cultural entre o Brasil e a Índia.

A artista apresenta uma trajetória diversificada, iniciada nos anos 1940, quando frequentou o Instituto de Arte de Alberto da Veiga Guignard (1896-1962), em Belo Horizonte. Maria Helena dirigiu a Escola Guignard nos anos 1960 e hoje é professora emérita da Escola. Trabalhou também como professora de artes visuais na Fundação Cidade da Paz, em Brasília.

* Instituto Maria Helena Andrés - marilia.andres@gmail.com



MARIA HELENA ANDRÉS

Energia em movimento, 1984.

Acrílica sobre tela, acervo CEMIG.

Durante sua trajetória, tem experimentado diversas expressões artísticas (pintura, desenho, gravura, tapeçaria, colagem, escultura, fotografia e serigrafia). Participou de salões e bienais internacionais de arte e recebeu vários prêmios e homenagens, entre as quais, a homenagem da Associação Brasileira de Críticos de Arte (ABCA) em 2017¹.

Publicou vários livros de reflexão sobre arte, educação, filosofia oriental e intercâmbios culturais entre o Brasil e a Índia: *Vivência e Arte* (Agir, 1966); *Os Caminhos da Arte* (Vozes, 1977, C/Arte, 2000); *Oriente/Ocidente – Integração de Culturas*, (Morrison Knudsen, 1984); *Encontro com Mestres no Oriente* (Luz Azul, 1993); *Maria Helena Andrés – Depoimento* (C/Arte, 1998) e *Maria Helena Andrés* (C/Arte, 2004). Atualmente, escreve, semanalmente, dois blogs sobre arte, artistas, patrimônio cultural, ecologia, ioga, viagens e família (*Minha Vida de Artista* e *Memórias e Viagens*)².

Recentemente, foi lançado o documentário *Maria Helena Andrés. Arte e Transcendência*, que mostra a sua trajetória artística, associada aos diversos elementos da natureza: terra, água, fogo, ar e éter³.

Sua extensa obra se constitui de várias etapas, desde a fase figurativa, passando pela fase geométrica construtiva, até os diversos desdobramentos da fase abstrata

¹ Ver textos de Almerinda da Silva Lopes e Fernando Cocchiarale sobre a artista no livro *Maria Helena Andrés* (C/Arte, 2004) e o depoimento da artista em *Maria Helena Andrés – Depoimento* (C/Arte, 1998).

² Os blogs podem ser acessados no link: mariahelenaandres.blogspot.com.br.

³ O documentário, dirigido por Evandro Lemos da Cunha e Danilo Vilaça, foi produzido em 2017 pelo Instituto Maria Helena Andrés (IMHA) e pelo Laboratório Inovatio da EBA/UFMG, com o patrocínio do Fundo de Cultura do Estado de Minas Gerais.



informal. Atualmente, a artista está realizando releituras de suas fases anteriores e experimentando novas expressões artísticas, tais como a fotografia, a serigrafia, a colagem e o livro de artista.

O painel “Energia em movimento”, realizado em 1984 para a sede da Cemig em Belo Horizonte, insere-se no contexto da arte abstrata informal, embora apresente alguns elementos figurativos recorrentes em sua obra, como os postes de luz e as cidades iluminadas.

Em seu depoimento sobre o painel, Maria Helena dá destaque para o diálogo com as fases anteriores de sua trajetória e o seu processo criativo:

Energia em movimento foi o título escolhido para o meu painel da Cemig, que está sendo restaurado. Na ocasião, eu dei testemunho de uma pesquisa iniciada em anos anteriores através de pequenos croquis feitos durante as viagens de carro pelo interior de Minas. Naquela época, o meu tema constante eram os postes de luz, receptores que transmitiam energia, verdadeiras esculturas colocadas na beira das estradas. Nos estudos preliminares para o painel, procurei associar os croquis às fotografias de vários receptores de energia. Sobre o fundo abstrato do painel, coloquei as “esculturas transmissoras” como forma de equilibrar a composição. Trabalhei com tinta acrílica sobre tela e escolhi cores quentes, cores de terra, amarelos e ocres, integradas aos verdes e azuis. Durante aquela época em que eu estava envolvida com a realização do painel, aproveitei também vários estudos que foram utilizados nas minhas tapeçarias⁴.

⁴ Depoimento da artista, realizado em Belo Horizonte, em 9 de outubro de 2019.

Nos anos 1970-1980, a artista realizou vários painéis para as instituições públicas, entre os quais, o criado para a Escola Municipal Adauto Lúcio Cardoso, em Belo Horizonte (1975), e o painel *Plataforma Espacial*, para o Aeroporto Internacional de Confins (1986).

Nesse mesmo depoimento, a artista enfatiza a criatividade presente na energia em movimento, expandindo esse conceito para integrá-lo à sua arte e vida:

⁵ Idem. Cada painel possibilita uma expansão da criatividade não somente durante a sua realização. A partir dos anos 1960, toda a minha pintura foi energia em movimento: nos barcos, nos astronautas, na conquista do espaço, nos cosmos, sempre houve energia em movimento⁵.

Finalmente, Maria Helena nos oferece um poema – “Energia em Movimento” –, que complementa o conceito expandido de energia em movimento, presente na sua vida e obra.

A energia
está associada
a tudo que existe.
Aos ventos,
aos mares,
às tempestades,
aos vulcões,
aos terremotos,
aos rios,
às chuvas.
Tudo que existe na natureza,
tudo que é
criado,
renovado,
transmutado,
vem desta energia,
em movimento.
Todo o universo
é
energia
em constante
movimento.
Os astrofísicos
descobrem
estrelas
que existem
há milênios.
Os poetas,
os músicos,
os dançarinos,
os atores,
os esportistas
movimentam
sua própria
energia.
E nos trazem
respostas
nos aplausos
de multidões,
que se associam
a esta energia
em movimento⁶.

6 Poema inédito de Maria Helena Andrés para a *Revista UFMG*, escrito em 9/10/2019.

JOSÉ NUNES DE OLIVEIRA E MARILENE RIBEIRO
Retrato de José Nunes (detalhe), 2016



RIOS-DESERTOS:

constatações durante o processo de construção do trabalho Água Morta

MARILENE CARDOSO RIBEIRO*

RESUMO Trata-se de uma reflexão da autora – com base nas vivências em campo e nas trocas com os participantes do trabalho documental *Água Morta* – sobre as transformações nos rios, indivíduos e comunidades ribeirinhas em decorrência da construção de barragens para hidrelétricas. O ensaio é apresentado na forma de um diálogo entre imagem e texto e culmina com a concepção de rios-desertos, de acordo com o que é observado e interpretado durante o processo de trabalho do *Água Morta*.

PALAVRAS-CHAVE Hidrelétricas. Impactos Socioambientais. Rios. Ribeirinhos. Fotografia. Colaboração.

DESERTED RIVERS:

lessons learnt during the making of Dead Water

ABSTRACT This essay draws on the author's fieldwork and on her encounters with the participants of the documentary project *Dead Water* as a point of departure for a reflection on the transformative effect of hydroelectric dams on rivers, individuals and riverine communities. Set out as a dialogue between image and text, this essay culminates with the concept of 'deserted rivers', closely based on observations and interpretations made during the work process of *Dead Water*.

KEYWORDS Hydropower Plants. Socio-environmental Impacts. Rivers. Riverside Dwellers. Photography. Collaboration.

* Artista Visual; Doutora em Artes Criativas/Fotografia pela University for the Creative Arts; Mestre em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG); Colaboradora do Latin America Bureau e do Fast Forward – Women in Photography - mcardosoribeiro@gmail.com

Em resposta ao “clamor” dos últimos anos pela construção de grandes hidrelétricas como solução para o crescimento econômico sustentável de países como o Brasil, a China, a Índia e a África do Sul, resolvi contar a história da hidreletricidade na perspectiva de quem julga entender esse assunto com profundidade, ou seja, na perspectiva dos atingidos por esses empreendimentos. Nesta investigação, construímos juntos – fotógrafa e fotografados – uma narrativa sobre os impactos da energia hidrelétrica.

Para esse projeto, intitulado *Água Morta*, convidei pessoas de diferentes regiões do Brasil a me dirigirem na execução de um retrato de si próprias, fornecendo informações sobre como desejam ser vistas pelos potenciais interlocutores deste trabalho e, principalmente, sobre o significado das mudanças vivenciadas com esses empreendimentos hidrelétricos. Trata-se de pessoas que foram realocadas para as obras das usinas hidrelétricas Sobradinho (no Rio São Francisco) e Belo Monte (no Rio Xingu) e outras que seriam realocadas para as obras das usinas Garabi e Panambi (ambas no Rio Uruguai). As sessões fotográficas são baseadas nos testemunhos dos entrevistados (meus colaboradores neste projeto), que escolhem o local onde desejam ser fotografados e um objeto para representar seus sentimentos frente à situação que enfrentam. Durante a sessão, cada uma dessas pessoas retratadas sugere modificações no seu próprio retrato.

Água Morta é o resultado dessa troca e constitui-se de depoimentos, fotografias feitas em campo, acervos pessoais das famílias participantes, desenhos, anotações e sentimentos garimpados junto com os atingidos por essas grandes obras, ao longo desse nosso encontro. O trabalho trafega pela imaterialidade dos custos envolvidos no barramento de rios e nos impactos dessa ação nesses ambientes e nas comunidades a eles associadas. Os retratos do *Água Morta* são embebidos por uma perspectiva híbrida fotógrafa-fotografados que floresce no momento de produção.

O recorte de imagens do *Água Morta* aqui apresentado concentra-se em uma questão que me inquietou durante o trabalho de campo: a fusão dos opostos água e deserto.

O imaginário de deserto – que, para além da imagem mental coletiva, é, por definição técnica, espaço de negação da água – era recorrente durante as minhas conversas com meus colaboradores (os ribeirinhos que participaram do *Água Morta*), numa referência à área que seria inundada pelo barramento, imaginando-a já transfigurada em um deserto – “Isto aqui vai virar um deserto!” (Marinês Nicolli dos Santos, participante do projeto e moradora de Linha do Rio, Porto Xavier, RS, referindo-se à região em que vive, que se transformaria no reservatório da hidrelétrica de Garabi). “Como deserto?”, eu me perguntava, “se estamos falando de rios caldalosos e grandes áreas alagadas, se estamos falando de água, muita água!”.

Fato é que a potência desses rios, vívida nas suas corredeiras, é roubada do seu percurso e transferida para um local puntual no seu curso, local sistemático, transversal, onde se encontram implantadas as turbinas da hidrelétrica – componente da engenharia do barramento. À montante desse local das turbinas – onde a água invade impiedosa, engolindo e sufocando, à medida que as comportas da barragem são fechadas para iniciar-se o funcionamento da usina – resta a morte. Cláudia Maria Gonçalves da Silva, habitante da margem do Rio Xingu desde que nasceu e também participante do projeto, apresenta-me um pouco de como esse agonizante processo opera.

[...] Eu quero falar sobre os animais, não os nossos pra cá pra baixo da barragem [do Complexo Belo Monte], os acima da barragem. Eu mesma acompanhei com meu esposo, uma vez que a gente fez uma viagem pra Altamira, depois que fechou as comportas [da barragem]. A gente ia indo no barco [a montante do barramento] e a gente olhou uma ilha já toda danificada, já tinham arrancado todas as árvores dela, mas ainda tinha umas três árvores grandes, enormes! É porque a gente andava desprevinido, não tinha celular e não tinha uma máquina pra filmar: se você visse o tanto de macaco – que, pra nós, chama guariba – numa árvore só, tipo, pedindo socorro! E eles [os responsáveis pelo projeto da hidrelétrica] falaram que iam ter pessoas fazendo pesquisa nas ilhas, resgatando os animais, colocando na terra firme. Eles podem até ter feito isso, mas não com todos, porque nós vimos macacos descendo nas águas, aboiado. Macacos, preguiças descendo nas águas. [...] Eu mesma mais meu marido, nós via preguiça boiando morta, sufocando no meio daquele lago [do reservatório]. A gente viu macaco guariba. Nós mesmos, eu mais o meu esposo, ainda peguemos um e coloquemos no seco, sabe? [...] A gente viu esses macacozinhos lá, nessa ilha, no meio do lago, trepados, tipo, pedindo socorro. Agora, me diga só: se eles fossem tirar os animais, de que maneira eles iam conseguir subir numa árvore daquelas pra tirar aqueles animais? Porque não tinha como subir naquelas árvores pra tirar aqueles animais [porque

as árvores eram muito altas]. Eu passei horas olhando pra eles lá, trepados. Aí, aqueles bicho fica lá trepados sem alimentação? Porque qual é a fruta que eles ia comer, se eles tavam ilhados e sem vegetação? Tudo isso a gente pensa. Então, isso pra mim foi um impacto que atingiu os seres humanos, os animais e, principalmente, os peixes. [...]

(13 de outubro de 2016)

Ao dilúvio, segue a formação de uma paisagem lacustre empobrecida, lívida, quase inerte: o reservatório (que consuma esse ato de usurpação, domínio e morte). Nas minhas incursões de barco pelos reservatórios, durante os meus campos, não se ouvia mais o barulho das corredeiras que eu vi nas imagens de arquivo pessoal dos participantes. A paisagem, agora, ecoava o oco do silêncio. Nenhuma vida percebida. Nem acima nem abaixo da lâmina d'água. Talvez somente um esboço de vida dos sobreviventes. Havia ali de fato uma paisagem desértica. Além dos rios visíveis aos olhos, também os rios que correm dentro daqueles ribeirinhos se desertificam: senso de localização, de identidade, de pertencimento, de comunidade, memórias, legados e culturas são cobertos pelo alagamento daqueles lugares, daquelas paisagens.

De fato, testemunhei desertos cheios de água. De uma água morta (como vários dos ribeirinhos participantes deste projeto também frisaram), desertificada em seu cerne, já que nada nela habita, já que não provê vida. Uma paisagem árida, ironicamente, consequência do afogamento e não da privação de líquido.

Pelas vivências compartilhadas com as famílias participantes do trabalho *Água Morta*, concluo que a geração de energia obtida por meio de barramento de cursos d'água, tão divulgada como energia limpa e sustentável, cria, na realidade, desertos, cria rios-desertos.

O trabalho *Água Morta* foi desenvolvido com o apoio do Movimento dos Atingidos por Barragens (MAB) e financiado pelo CNPq. Contou também com fundo proveniente do prêmio da Royal Photographic Society concedido à artista.

Resumo do projeto está disponível em: <https://www.marileneribeiro.com/deadwater>.

© Camila Grzeza e Marilene Ribeiro 2016

1) Retrato de Camila

Sentimento de Camila: perda e tristeza por todas as formas de vida que serão sacrificadas para a barragem existir.

(Mas ela também cita oportunidade de levar seus pais para a vida urbana).

Objeto escolhido por Camila: seus peiquitos

Local: lajeado Inácio

(Local que será encoberto pelas águas se a barragem de Panambi for construída.)



Camila – Ah [tom sarcástico], eles falam: “vamos reflorestar, vai ficar tudo tranquilo”. Mas, quanto tempo vai demorar pra crescer essa árvore pra ficar como tava quando eles, simplesmente, cortaram pra construir uma usina [de Panambi]?

Esse valor eles não falam, isso eles não dizem, né?! Então, começa por aí!

Os animais: o habitat deles vai ser afetado. Então, quanto tempo eles vão levar para se adaptar a um novo habitat? Muitos nem vão conseguir chegar a um novo habitat, vão ficar por ali, vão morrer por ali mesmo.

Então, tem tudo isso! Tem toda essa questão. [...] A natureza [pausa] Gente, nós ganhamos o meio ambiente, a floresta, tudo de graça! Deus não cobrou nada pra nos dar. Daí, o homem vai lá e destrói por quê? Por interesse! “P-r-o-d-u-z-i-r energia!” [tom sarcástico] E tem outras formas de produzir energia. Por que é que não é trabalhado essas outras formas de produzir energia?

Querem tudo pro lado mais simples, parece, mais prático pra eles.

Não pensam no meio ambiente e na população.

É bem isso que eu penso, sabe? É isso aí.

(24 de fevereiro de 2016)

© Claudinei Zuehl e Marilene Ribeiro 2016



2) Retrato de Claudinei

Sentimento de Claudinei:

tristeza e perda

Objeto escolhido por Claudinei: peixes

Local: sua marcenaria

Claudinei – Tu já imagina como é que vai ser isso aí [após a construção da barragem de Panambi], porque não será mais uma água limpa, correndo livre, que nem nestas fotos que eu mostrei pra você – uma água correnteza, que a gente enxerga o pedregulho no fundo, até criança pode brincar nesta água, na parte

mais rasa do rio. É um lugar bonito mesmo.

Marilene – Você acha que isso iria se perder [se a barragem Panambi for construída]?

Claudinei – Isso com certeza vai sumir do mapa! [...] Vai ficar uma água verde, com caldo...

Imagina a tristeza do pessoal. Os tipos de peixes que a gente encontra aqui agora, eles vão desaparecer. [...] Esse rio aqui [de agora]: pode esquecer! Tomar banho e pescar: já era. [...]

Marilene – O que você não gostaria de esquecer, se você tivesse de sair daqui por causa da barragem [de Panambi]?

Claudinei – Mas, eu? O rio [Uruguai].

(5 de fevereiro de 2016)



Claudinei e Márcio (filho de Claudinei) em uma das corredeiras do Rio Uruguai, 2009 (Acervo pessoal de Claudinei Zuehl, original em papel fotográfico)

3) Retrato de Maria das Graças e Delcilene

Sentimento de Delcilene: tristeza e humilhação

Sentimento de Maria das Graças: tristeza

Objeto escolhido por Delcilene: cajus

Objeto escolhido por Maria das Graças (mãe de Delcilene): areia

Local: quintal do antigo local de moradia da família, ilha do Caju (atualmente, parcialmente submersa pela barragem de Belo Monte)

© Maria das Graças da Silva, Delcilene Gomes da Silva e Marilene Ribeiro 2016

[Nós três conversando, Delcilene, Maria das Graças e eu, Marilene]
Delcilene – Nossa ilha, nossas praias, nossas árvores, nossa casa [pausa] tudo se acabou.

Maria das Graças – Porque as ilhas, as árvores, morreu tudo, tá tudo morto.

Tá parecendo um sertão. Não é? Aquele que só se vê aqueles toco reto, que passa na reportagem [em] dia de domingo. Tá a mesma coisa.

(...) Menina, como diz o ditado, quando a gente olha, é só tristeza, né? Eu te

falo, primeira vez que nós fomos pra lá [para a área da ilha do Caju], depois do enchimento do lago [reservatório da barragem], que nós cheguemo na boca do canal, que eu olhei pra um lado e pro outro, eu falei, “Não, o rumo é este, mas não é pra cá” – eu ali, sentadinha no banco, na popa da voadeira, mais [junto com] ela [Maria das Graças aponta para Delcilene], aí, eu falei, “Neném [apelido de Delcilene], onde é que nós tamo, Deus do céu?”, e ela [Delcilene] falou, “Mamãe, nem eu mesma sei”. Aí, quando nós vinha de subida, foi que vi o morro e eu disse, “Aquele morrão é o morro da Arundina?”, Aí, o piloto falou assim, “É aí.”

Aí foi que eu [re]conheci aquele lugar, mas, o resto, eu não [re]conhecia mais nada.

Aí [Maria das Graças aponta para Delcilene], ela falou, “Mãe, aquela ilha lá é a ilha que nós morava [a ilha do Caju]”, eu falei, “Não, menina!”, e ela falou, “É, mamãe, é a ilha do Caju.”

Porque eu ainda vi a ilha, mas, pra mim, de jeito nenhum que era a nossa ilha.

(15 de outubro de 2016)





© José Nunes de Oliveira e Marilene Ribeiro 2016

4) Retrato de José Nunes

Como é que tá, hoje, a ilha que a gente morava?

A que tinha as seringas [seringueiras] e as árvore tudo?

Lá ficou um deserto.

Eles [os funcionários da Norte Energia] derrubaram as árvore e enterraram tudo.

O que não enterraram, queimaram.

Quando eu passo lá de barco, eu vejo. Tá um deserto só.

© Marilene Ribeiro 2016



5) Árvore cortada e queimada. Queimada para supressão vegetal feita pela empresa responsável pelo projeto da hidrelétrica na área a ser transformada no reservatório principal do Complexo Hidrelétrico Belo Monte. Ilha do Zé Maria Preto, Rio Xingu, 2016

Mais de 3 milhões de árvores foram cortadas e queimadas pelos funcionários da Norte Energia (empresa responsável pelo projeto da hidrelétrica) nas áreas que seriam ocupadas pelos reservatórios do Complexo Hidrelétrico Belo Monte – uma ação denominada pelos engenheiros de “supressão vegetal”. O céu da cidade de Altamira (cidade mais próxima da obra) e seus arredores permaneceu escuro e cheio de fuligem por três meses, devido à fumaça que vinha da extensa área da floresta amazônica em chamas. Oficialmente, a hidrelétrica suprimiu 400km² de floresta amazônica.

© Marilene Ribeiro 2016



6) Caranguejo morto pelo calor das chamas. Queimada para supressão vegetal feita pela empresa responsável pelo projeto da hidrelétrica na área destinada ao reservatório principal do Complexo Hidrelétrico Belo Monte. Ilha do Arapujá, Rio Xingu, 2016

7) Retrato de Maria Helena, Maria Dalva e Larissa

Sentimento de Maria Helena e Maria Dalva: tristeza

Objeto escolhido por Maria Helena: imagem de São José

Objeto escolhido por Maria Dalva (filha de Maria Helena): uma das folhas mortas de açaí (e também seu vestido de casamento; Maria Dalva casou-se na ilha do Pivela)

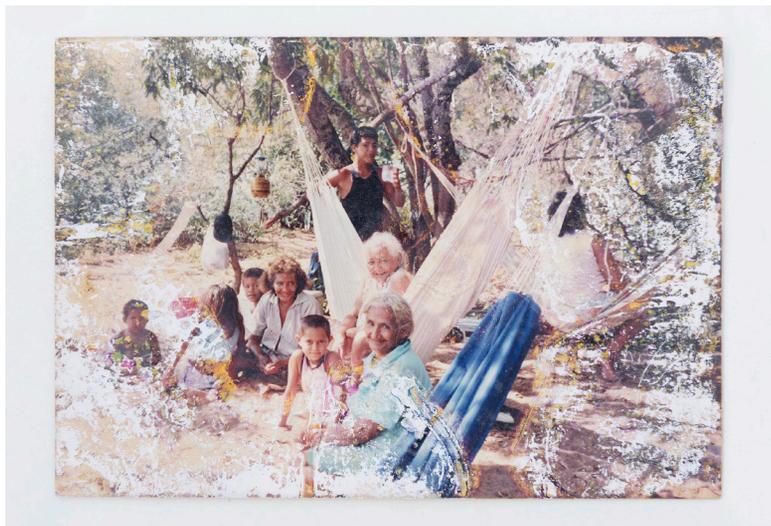
Objeto escolhido por Larissa (neta de Maria Helena): solo da ilha do Pivela

Local: plantação de açaí no quintal do antigo local de moradia da família, ilha do Pivela (atualmente, parcialmente submersa pela barragem de Belo Monte)



© Maria Helena Almeida, Maria Dalva Almeida, Larissa Almeida e Marilene Ribeiro 2016

Maria Helena seguiu os passos de seu pai: sua família organizou a festa do Dia de São José por cerca de um século. Todo dia 19 de março, os moradores da região se reuniam na ilha de sua família para batismos, cerimônias de casamento, procissão de barcos e também para rezar, cantar e dançar. Maria Helena lembra que sua família produzia fogos de artifício artesanais para a festa e oferecia um banquete para os convidados. Os moradores também decoravam os barcos e o local com fitas e laços. Quando as obras da barragem de Belo Monte começaram, os habitantes das ilhas locais tiveram de se mudar, o que levou essa tradição a desaparecer, segundo Maria Helena. Ela comenta que desejava que sua neta, Larissa, pudesse continuar com essa tradição, assim como ela própria fez quando seu pai faleceu.



Maria Helena (terceira da esquerda para a direita) e sua família (mãe de Maria Helena na rede azul, no primeiro plano), em uma das ilhas atualmente submersas pela barragem de Belo Monte, Rio Xingu, 1984. (Acervo pessoal de Maria Helena, original em papel fotográfico)

8) Retrato de Ailton

Ailton – [...] Cada propriedade é uma vida, é uma história. Isso aqui ficou com nossos avós, passou pra os nossos pais e passou pra nós, né? [...] Eu acho que, na minha opinião, uma barragem, ela não tapa só a terra e o que tá em cima da terra, ela tapa o emocional, ela tapa a amizade, ela tapa muito mais do que a simples terra que tá ali.

Marilene – Caso acontecesse a barragem de Panambi, o que você não queria perder?

Ailton – Eu não queira perder a minha profissão. Eu não queira perder o ofício que eu aprendi. Lidar no que eu lidei, né? [...]

Marilene – E quando você pensa nessa situação, por causa da barragem [de Panambi], o que é que vem, aí dentro de você? O que é que você sente?

Ailton – Vem um sentimento de impotência, de você estar dominado, de você não... Porque, hoje, dizem que a gente está numa democracia. Mas, aí, eu te pergunto: “onde é que tá essa democracia? Que democracia é essa que a nossa opinião não vale nada?!” A Eletrobras mandou esses funcionários deles [para reunir com a comunidade]. Nas reuniões, [eles] diziam: “Nós queremos saber da opinião do povo, se o povo é contra ou se o povo é a favor [da barragem].” Aí, me vem outro sentimento, assim, ó: pra que é que eles querem a nossa opinião, se eles não vão respeitar ela igual? Se o que eu estou dizendo não vai ser levado em consideração, não vai ser levado em conta, então, pra que é que serve a minha opinião?

(4 de fevereiro de 2016)

© Ailton Carvalho dos Santos e Marilene Ribeiro 2016





© Marinês Nicolli dos Santos e Marilene Ribeiro 2016

9) Retrato de Marinês Nicolli

Eu sinto pelos meus filhos: pelo futuro que eles não vão ter.

Porque, se [a barragem] Garabi acontecer, eles não vão poder ficar aqui na nossa terra.

A visão do sol

“O que você não queria perder?” [caso a barragem de Garabi aconteça] Fotografias feitas pelos participantes do campo Complexo Garabi-Panambi em resposta a esta pergunta)



A VISÃO DO SOL
POR MARINÊS NICOLLI
18/02/2016

Filme instantâneo. Título e fotografia © Marinês Nicolli dos Santos 2016

© João Evangelista do Espírito Santo e Marilene Ribeiro 2015

10) Retrato de João Evangelista

Sentimento de João Evangelista:
saúde

Objeto escolhido por João Evangelista:
mandioca e batata-doce

Local: seu atual local de moradia
(que contém algumas partes da sua casa de Alto do Melão)



Eu sinto é muita saudade de lá, daquela terra que tudo dava.
(9 de maio de 2015)



Ilustração feita por João Evangelista, representando algumas das comunidades que foram submersas pela barragem de Sobradinho, em 1978. Coluna da esquerda (de cima para baixo): Fazenda das Pedras, Tamanduá, Jatobá, Fazenda Nova e Cajueiro. Coluna da direita (de cima para baixo): Serrote, Boqueirão, Alto do Melão, (local onde João Evangelista vivia), Saco da Arara, Xique-Xique e Encaibro. Linhas onduladas (em grafite) na margem direita dos dois papéis representam o Rio São Francisco.

© João Evangelista do Espírito Santo 2015



© Geovan Carvalho Martins e Marilene Ribeiro 2016

11) Retrato de Geovan

Eu vejo meu retrato no rio. O pescador per-
tence ao rio, né?

... O objeto para representar meu sentimento...

Eu queria poder levar a fachada da minha casa...

Mas ela tá debaixo d'água...

(21 de outubro de 2016)

12) Rio Xingu, atual reservatório principal do Complexo Hidrelétrico Belo Monte

Maria Rosa (participante do projeto) – A verdade eles nunca
contam! A gente que tá por dentro daquilo, a gente tá vendo, mas
nunca é divulgado.

Abafam aquele negócio ali!

Só vai coisa boa pra frente [para ser divulgada].

Inclusive, a gente vê, quando passa no Fantástico – algumas vezes
que a gente assistiu, mostrando só os assentamentos que eles
fizeram, só coisa boa!

Marilene – Do seu ponto de vista, o que seria a verdade? Pra você.

Maria Rosa – A verdade era eles mostrarem tudo que as pessoas
estão passando: a necessidade, o sofrimento. Eles mostram uma
coisa que não é! Aquilo que eles desmataram, que eles deixaram
tudo do jeito que eles quiseram, eles não mostram! [pausa] A
gente vê que a natureza [pausa] Quantas ilhas [pausa]

O menino acabou de me dizer que as ilhas estão morrendo!

(2 de novembro de 2016)



© Marilene Ribeiro 2016



REVIEW



RESENHA

DENIS REZNIK
Pripjat-Chernobyl (detail),
2013



VOZES DE TCHERNÓBIL:

a história oral do desastre nuclear

CAROLINA CARNEIRO LIMA*

LUCAS EMANUEL GOECKING LIESNER DE SOUZA**

RESUMO A resenha analisa criticamente o livro *Vozes de Tchernóbil*, da jornalista Svetlana Aleksievitch. A obra é construída com base em pesquisa de história oral com os sobreviventes do acidente nuclear ocorrido na Ucrânia em 1986, e promove reflexões acerca do acontecimento. Descreve o comportamento da população, do governo, dos envolvidos, de forma a desencadear conjecturas, para além das denúncias contidas no texto, sobre os caminhos que devem ser observados doravante no que se refere à geração de energia como necessidade social. Ou seja, como produzi-la na atualidade? O texto oferece margem para fazer uma separação entre as falhas humanas, a falta de informação e as lesões aos cidadãos e a geração de energia nuclear, fazendo-nos concluir que a diligência das ações e o respeito ao Estado de Direito seriam um promissor recomeço.

PALAVRAS-CHAVE Acidente nuclear. Tchernóbil. Direito à informação.

VOICES OF TCHERNÓBIL: the oral history of the nuclear disaster

ABSTRACT The review critically analyzes the book by the journalist Svetlana Aleksievitch - "Voices of Tchernóbil". The work is built on oral history research with survivors of the nuclear accident in Ukraine in 1986, allowing for objective and subjective reflections. It describes the behavior of the population, of the government, of those involved, allowing reflections on the paths that must be observed hereafter, beyond the denunciations in the text - the generation of energy is a fact and social need, how to produce it today? The text separates human failures, lack of information and injuries to citizens; from nuclear power itself, leading us to conclude that the diligence of actions and respect for the rule of law would be a promising restart.

KEYWORDS nuclear accident; Tchernóbil; right to information.

* Graduada em Direito pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (Puc Minas), especialista em Direito Público pela Universidade Cândido Mendes e mestre em Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável pela Escola Superior Dom Helder Câmara (ESDHC) - carolcarneirolima@yahoo.com.br

** Graduado em Direito pela Escola Superior Dom Helder Câmara (ESDHC), pós-graduado em Direito Público pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (Puc Minas) - lkemanuel@hotmail.com

Vozes de Tchernóbil foi publicado originalmente em língua russa no ano de 1997, ou seja, onze anos após o maior acidente nuclear da história mundial. Trata-se de uma coletânea de depoimentos, em entrevistas de história oral, realizadas com sobreviventes e testemunhas do ocorrido à 1h23m58s do dia 26 de abril de 1986 no prédio do quarto bloco da Central Elétrica Atômica (CEA) da cidade de Tchernóbil, Ucrânia, localizada próximo à fronteira com a Bielorrússia. O livro foi vencedor do prêmio National Book Critics Circle de obras de não ficção na categoria geral. No Brasil, foi editado no trigésimo ano a contar da ocorrência dos fatos em Tchernóbil. Tem 383 páginas, e, na composição de sua capa, foi utilizada uma foto de Robert Poliodoro em uma sala de aula em Pripjat, no ano de 2001. A tradução do texto original em russo é de Sônia Branco, com revisão de Jane Pessoa e Angela das Neves.

O livro é organizado em dez capítulos, uma nota histórica e um apêndice. Inicia-se com a seção “Nota histórica”, constituída de trechos sobre Tchernóbil publicados formalmente por variadas fontes, e se finda com o apêndice intitulado “A batalha perdida”, que apresenta a transcrição do discurso proferido pela autora, em 7 de dezembro de 2015, na cerimônia do prêmio Nobel de Literatura ocorrida na Academia Sueca, em Estocolmo.

Os capítulos de desenvolvimento trazem a organização de todo o material coletado pela autora e “destilam a voz da memória para transformá-la numa forma de literatura” (FIGES, 2016). São depoimentos de mulheres, crianças, soldados, liquidadores e profissionais que tiveram a vida transformada pelo evento de Tchernóbil. São histórias orais, descrições da vida real, reproduzidas pela autora. Segundo Figes (2016), apresentam-se sob a forma de monólogos e estão menos preocupadas com o registro dos acontecimentos do que com os sentimentos dos entrevistados, isto é, a maneira pela qual a vida interior das pessoas foi moldada por esses eventos históricos.

O primeiro e o último capítulos intitulam-se “Uma solitária voz humana” e marcam a forma como o livro foi construído. Deixa claro não ser um estudo sobre a política pública da antiga União das Repúblicas Socialistas Soviéticas – URSS ou sobre a geração de energia nuclear, mas sobre as pessoas impactadas por todas as decisões

político-governamentais, por todas as tecnologias colocadas à disposição da população, pela defesa do direito à informação, à dignidade e à sustentabilidade da vida. Apresentam-se dados objetivos sob a ótica subjetiva de duas sobreviventes, de duas pessoas, até então com vidas comuns, que se dispuseram a falar – uma é Liudmila Ignátienko, viúva de um bombeiro que foi um dos primeiros a chegar ao local onde, a princípio, havia apenas um incêndio, não tendo sido alertado das explosões e da radiação; a outra é Valentina Timofiévna Apanassiévitch, esposa de um falecido liquidador.

A primeira não abandonou seu marido mesmo ouvindo frases dos médicos e enfermeiros acerca da gravidade de seu estado – “[...] isso que está na sua frente não é mais o seu marido, a pessoa que você ama, mas um elemento radioativo com alto poder de contaminação”. Em outros momentos, escutou “você é jovem. O que está inventando? Isso já não é um homem, é um reator nuclear. Vão queimar os dois” (p. 28-29). A entrevista de Liudmila se inicia com uma dúvida que se vê presente em diversas declarações no mesmo livro: “não sei do que falar... da morte ou do amor? Ou é a mesma coisa? Do quê?” (p. 16) e conclui dizendo: “mas eu falei de amor... De como eu amei” (p. 38).

A segunda senhora, Valentina, viu seu marido retornar do trabalho em Tchernóbil e morrer acometido por diversas enfermidades, juntamente com seus colegas de profissão – “restou-nos ainda um ano. Durante esse ano, ele foi morrendo aos poucos. Piorava a cada dia e sabia que os seus companheiros estavam morrendo, nós já vivíamos com isso. Com essa espera” (p. 355). A doença foi desfigurando seu corpo e seu rosto – “você me perguntará como morrem depois de Tchernóbil. Um homem que eu amava, que queria de uma maneira que não poderia ser maior se eu mesma o houvesse parido, esse homem se converteu diante dos meus olhos num... num monstro” (p. 355).

O segundo capítulo apresenta a justificativa da própria autora por ter escrito o livro. Afirma que conheceu o homem pré-Tchernóbil e aquele que se converteu no homem de Tchernóbil, dedicando-se, nessa obra, à história omitida ou que se perde na passagem do tempo. Esclarece que nada é ordinário no desastre nuclear retratado e que, para as pessoas, Tchernóbil não é “uma metáfora ou um símbolo, mas sua casa”. Conclui que “quantas vezes a arte ensaiou o Apocalipse, experimentou diversas versões tecnológicas do fim do mundo, mas agora sabemos com certeza que a vida é mais fantástica ainda” (p. 40).

Os outros seis capítulos reafirmam, cada um sob a ótica de seus representantes (os soldados, o povo e as crianças), o amor pela terra, pelos animais, pela paisagem, pelas pessoas que pereceram em decorrência dos efeitos do desastre nuclear, pelo modo de vida que levavam até aquele dia de abril do ano de 1986. Fala-se da vida antes e depois desse evento marcante “você vive como uma pessoa normal. [...] E de repente, de um dia para o outro, você se torna um homem de Tchernóbil. Um animal raro!” (p. 65).

O acidente gerou dor e sofrimento, mas, sobretudo, ocasionou a incerteza sobre verdades e valores até então bastante sólidos: “a imagem que eu tinha da central nuclear era totalmente idílica. Na escola e no instituto nos ensinavam que eram fantásticas fábricas que produziam energia tirada do nada, onde trabalhavam pessoas de jalecos brancos que apertavam botões” (p. 257). As pessoas não tinham “a menor ideia de que o átomo de uso pacífico também matava” (p. 242). A visão difundida pelo governo e pelos meios de comunicação relatava a completa segurança das centrais atômicas “que poderiam ser construídas até na Praça Vermelha, junto ao Krémelin. Mais seguras que um samovar” (p. 132).

A realidade vivenciada pelos indivíduos atingidos pelo acidente é descrita como uma guerra, mas dela difere-se. Segundo um soldado: “ao regressar do Afeganistão, eu sabia que iria viver! Mas Tchernóbil é o contrário: você morre justamente quando já está em casa. Voltei. Mas tudo está só começando...” (p. 110). Outro diz que, quando regressou para casa, jogou todas as roupas usadas no lixo, mas por insistência do filho, deu-lhe o barrete – “pegou e não largou mais. Depois de dois anos, veio o diagnóstico: tumor de cérebro” (p. 108) e não mais conseguiu falar na entrevista concedida à autora.

As crianças, protegidas pelos ordenamentos jurídicos nacionais, por normas internacionais e único futuro da humanidade são uma realidade particular, igualmente não poupada nesse cenário. Sofrem as consequências da exposição à radiação e do preconceito das pessoas. Sabem melhor que as mães o nome dos tratamentos e diagnósticos, mas continuam brincando e acreditando na vida, ainda que com as dificuldades impostas – “eu vejo nossos filhos: onde quer que estejam, são rejeitados. Espantalhos vivos. Alvos de zombaria. No acampamento dos pioneiros, onde uma vez a minha filha esteve, tinham medo de tocá-la: ‘vaga-lume de Tchernóbil; ela acende no escuro’” (p. 291). Nos hospitais, um pediatra descreve que brincam nos corredores “correm pela enfermaria uma atrás da outra e gritam: ‘eu sou a radiação! Eu sou a radiação!’ Quando

elas morrem, o rostinho me parece tão surpreso... tão perplexo... jazem na cama com uma expressão de tal assombro...” (p. 234).

Tudo foi eliminado e enterrado, só as pessoas foram removidas e passaram a viver em outros lugares. Enterrava-se a terra com a própria terra. Um engenheiro químico, doutor em ciências químicas, descreve que a pá era o objeto de trabalho mais usado para retirar os destroços, para cavar e para enterrá-los – pergunta a si próprio: “e como me utilizaram? Põem nas minhas mãos uma pá. Esse foi praticamente o meu único instrumento. Foi aqui que nasceu o aforismo: contra o átomo, a pá” (p. 247).

O epílogo, por sua vez, com um texto bem curto, de duas páginas, deixa claro o inconformismo da autora com a transformação do cenário descrito ao longo do livro em objeto e atração turística. As informações descritas e reproduzidas no livro foram obtidas de materiais jornalísticos bielorrussos – “o ponto alto da viagem ou, como assinala a propaganda, ‘a cereja do bolo’, é a visita ao ‘Abrigo’, nomeado mais propriamente de sarcófago. [...] Visitem a Meca nuclear. A preços módicos” (p. 365-366).

A obra *Vozes de Tchernóbil* é importante referencial para todo cidadão interessado em leituras históricas e em compreender a trajetória humana sobre a Terra. Trata-se, entretanto, de uma leitura e um estudo essencial para os profissionais do Direito, principalmente aqueles vinculados ao Direito Público, pois organiza e tutela tudo que aconteceu e poderia ter sido evitado, assim como pondera as consequências dos fatos para a dinâmica ambiental, para o Direito de Energia, para os Direitos Humanos, entre outros ramos.

Não se pode desconectar a energia elétrica da vida na atualidade, tampouco é possível eliminar a fonte nuclear para a sua geração. Estamos em outra realidade tecnológica e em outra concepção político-governamental, ao menos de maneira declarada. Se naquele momento existia um regime totalitário na URSS, e as democracias eram elitistas, hoje não se pode conceber um conceito de democracia que não se pautar na ideia da universalidade (COUTINHO; MORAIS, 2016). Assim, hodiernamente, os fatos concretos envolvidos na produção de energia nuclear encontram padrões diversos que possibilitam aplacar o medo com informação e com licenciamentos ambientais bem presididos na conformidade dos princípios do desenvolvimento sustentável, da precaução e da prevenção.

A informação é base para a cidadania e para a participação democrática. Segundo Paulo Affonso Leme Machado, o “desinformado é um mutilado cívico. Haverá uma

falha no sistema democrático se uns cidadãos puderem dispor de mais informações que outros sobre um assunto que todos têm o mesmo interesse de conhecer, debater e deliberar” (2006, p. 50). O que se verifica na maioria das entrevistas do livro-tema é uma total desinformação, desde as características da energia produzida até a maneira de evacuação da área e a melhor forma de proteger-se. Fica patente que se buscou a evolução tecnológica a qualquer custo sem observar um mínimo de critérios de prevenção para que o desenvolvimento pretendido fosse sustentável.

Nesse aspecto, criou-se uma celeuma entre confiar e continuar no caminho do desenvolvimento ou recuar pela assunção, em seu mais alto grau, do princípio da precaução. Uma doutora em ciências agrícolas mencionada no livro sustenta: “estou defendendo a ciência, estou demonstrando que o culpado por Tchernóbil não é a ciência, e, sim, o homem. Não é o reator, mas o homem. Não posso responder por questões políticas. Não é a mim que você deve dirigi-las” (p. 204).

O ponto adequado é a prevenção, por meio de estudos de impacto, procedimentos de licenciamento ambiental e audiências públicas, realmente participativas, para que as questões possam ser discutidas e deliberadas democraticamente. Barrar a evolução simplesmente pelo medo, sob o subterfúgio de precaução, é tolher a ciência, a sagacidade e a genialidade humana em prol de conquistas boas para a humanidade. Para Luc Ferry “o medo nos torna tolos e maus, incapazes de pensar livremente, ou de nos abrir ao outro” (2015, p. 11).

A energia nuclear precisa ser redimida na sociedade. A energia elétrica é um mínimo existencial, é dignidade humana, é bem-estar social. Trata-se, portanto, de bem jurídico do qual a sociedade não ficará distante,

[...] pois eu sou a favor do progresso! Da ciência! Porque nenhum de nós hoje pode renunciar à luz elétrica. Estão fazendo comércio com o medo. Vendem medo de Tchernóbil porque já não temos mais nada que vender no mercado internacional. Esta é a nossa nova mercadoria: vendemos o nosso sofrimento (p. 206).

É necessário observar que as externalidades negativas da tecnologia nuclear já são controladas, e seus efeitos, mitigados. Há que se esclarecer e iniciar a abertura para as possibilidades existentes. A história mostrou – e o livro também – que o desastre foi gerado pelo homem, em razão da sua negligência ou do seu menosprezo pelos riscos. Não houve falha técnica. Falhou o próprio homem com seu semelhante.

Obviamente, o crescimento tecnológico e as inovações, mesmo que boas notícias, são tudo “exceto um longo rio tranquilo”, mas a “síntese inovadora” é um momento mágico de relevante progresso (FERRY, 2015, p. 22-25) que precisa ser comemorada. A coletividade não pode fechar-se, precisa permanecer aberta ao novo, ao diálogo e ao exercício da cidadania, pois assim terá capacidade decisória e não apenas medo e opinião.

A estrutura formal do texto é metodologicamente adequada para possibilitar uma interpretação (hermenêutica) aberta para as diversas ciências e para as mais variadas percepções. Trabalha a subjetividade, elemento essencial e identificador do ser humano, sem olvidar os aspectos objetivos que precisavam ser descritos e abordados. Fala de homens e mulheres, mas igualmente dos animais e das paisagens. Não se esquece dos prédios militares, das casas, das escolas, estruturas de concreto abandonadas e que ainda mantêm em si vestígios das vidas que ali foram vividas: “na nossa aldeia deixaram três cemitérios: em um, descansam as pessoas, é o mais velho; em outro, os cachorros e gatos que tivemos que abandonar e que fuzilaram; no terceiro, as nossas casas. Eles enterraram até as nossas casas...” (p. 228).

Tal característica é marcante no trabalho da autora, que busca na técnica da fonte oral, em sentido estrito, história oral (MEIHY; HOLANDA, 2007), o sustentáculo para as pesquisas e para a identidade do povo de Tchernóbil.

O livro possibilita um olhar multitudinário sobre o cenário em enfoque, percepção característica dos juristas atentos ao cidadão e ao meio que os cerca, pois é esse o ponto de partida em qualquer seara jurídica. Por esse motivo, a opção pela fonte oral para coleta das informações mostra-se tão útil à análise da ciência do Direito.

A “História oral é a soma articulada, planejada, de algumas atitudes pensadas como um conjunto. Não é apenas a entrevista ou outra fonte oral que marca a história oral” (MEIHY; HOLANDA, 2007, p.15). Trata-se, sempre, de um compêndio vastamente elucidativo dos fatos, como na obra em enfoque que trabalha uma das questões mais nevrálgicas da história contemporânea.

Uma questão fica explícita: como caminhar, doravante, com as necessidades, o crescimento populacional e a evolução tecnológica? Precisa-se de sapiência e políticas públicas adequadas para promover igualmente o crescimento social. A evolução científica é benéfica para as pessoas se for baseada no discernimento, se ceder espaço para a participação democrática, com direito a acesso amplo às informações. O livro mostra

que a tecnologia não se desenvolve por si só. O ponto central é o ser humano, objetiva e subjetivamente.

Essa obra literária foi desenvolvida pela escritora Svetlana Aleksíévitch, que nasceu em 23 de novembro de 1948 na Ucrânia. Graduiu-se em jornalismo na Universidade Minsk e escreveu seus livros e textos em língua russa. Foi laureada com o Prêmio Nobel de Literatura em 2015, passando a ser mais conhecida em diversos países do mundo. Acredita-se que o obstáculo à difusão de seus trabalhos no Brasil tenha sido a língua em que foram editados, mas, após o prêmio, esse empecilho se tornou menor.

Svetlana Aleksíévitch é autora de outros livros, como *A guerra não tem rosto de mulher*, editado em 1985, que descreve a Guerra Patriótica de 1941 a 1945; *Garotos de Zinco*, publicado em 1989, que aborda a guerra do Afeganistão. Após a conquista do Nobel de Literatura, escreveu *O fim do homem soviético*, em que fala sobre o colapso do sistema soviético e como as vidas foram afetadas por ele. Todas as suas obras são oriundas de entrevistas de história oral, cujas informações colecionadas e organizadas testemunham, com uma expressiva carga emocional e de fidedignidade, a realidade vivida pelas pessoas do próprio local onde ocorreram os eventos históricos relatados. Essa é a marca da autora em seus trabalhos que se constituem numa maneira de mostrar ao leitor uma face ou algumas faces reais da história.

Referências

- ALEKSIEVITCH, Svetlana. **Vozes de Tchernóbil**: a história oral do desastre nuclear. Tradução de Sonia Branco. São Paulo: Companhia das Letras, 2016. 383p. Título original: Чернобыльская молитва: Хроника будущего.
- COUTINHO, Carlos Marden Cabral; MORAIS, Jose Luis Bolzan de. Direito fundamental ao meio ambiente como elemento constitutivo da democracia. **Veredas do Direito**, Belo Horizonte, v. 12, n. 25, p. 173-198, jan./abr. 2016.
- FERRY, Luc. **A inovação destruidora**: ensaio sobre a lógica das sociedades modernas. Tradução de Véra Lucia dos Reis. Rio de Janeiro: Objetiva, 2015. 119 p. Título original: L'Innovation Destructrice.
- FIGES, Orlando. A nova história de Svetlana Aleksievitch: um quadro sombrio da Rússia contemporânea. **Revista Piauí**, São Paulo: Abril, ano 10, n. 122, s/p, 2016. Disponível em: <<http://piaui.folha.uol.com.br/materia/a-nova-historia-de-svetlana-aleksievitch>>. Acesso em: 4 jun. 2017.
- MACHADO, Paulo Affonso Leme. **Direito à informação e meio ambiente**. São Paulo: Malheiros, 2006. 288 p.
- MEIHY, José Carlos Sebe B.; HOLANDA, Fabíola. **História oral**: como fazer, como pensar. São Paulo: Contexto, 2007. 175p.

NORMAS PARA A PUBLICAÇÃO

A Revista da Universidade Federal de Minas Gerais publica originais de autores convidados e também daqueles que desejam submeter seus trabalhos por iniciativa própria. As contribuições são avaliadas pela Comissão Editorial e por pareceristas *ad hoc*, por meio de revisão às cegas, reservando-se o direito da Revista de propor modificações com a finalidade de adequar os artigos e demais trabalhos aos seus padrões editoriais.

Os originais submetidos à Revista não podem estar em processo de avaliação simultânea em outra publicação e devem ser inéditos no Brasil, cabendo à Comissão Editorial avaliar a conveniência de publicar ou não trabalhos já divulgados em outros idiomas por revistas e órgãos editoriais de outros países.

A Revista aceita para publicação artigos, comentários, notas, ensaios, resenhas e entrevistas, cabendo à Comissão Editorial, no entanto, uma análise preliminar dos originais recebidos, a fim de verificar a conformidade com as linhas editoriais, podendo recusá-los ou, caso aprovados, encaminhá-los para o posterior processo de avaliação com vistas à sua publicação ou não. Poemas e outras modalidades de produção artístico-literária e iconográfica são também publicados, mas unicamente mediante convite da Comissão Editorial.

O crédito dos autores deve conter titulação, filiação institucional e endereço eletrônico. Os originais encaminhados à Revista devem ser apresentados em editor de texto Word, fonte Times New Roman, corpo 12, entrelinhas de 1,5, margens de 3 cm e em formato A4. Devem estar acompanhados de resumo de até 120 palavras e três palavras-chave, em português e inglês. Citações com até três linhas devem constar no corpo do texto, entre aspas. A partir de quatro linhas, devem estar em destaque, sem aspas, com corpo de fonte 10 e margens recuadas em quatro centímetros à esquerda.

Artigos, ensaios e entrevistas devem ter no mínimo 17 e no máximo 25 páginas, incluindo tabelas, mapas, gráficos e outras imagens e informações não textuais. Comentários, notas e resenhas não podem ultrapassar 10 páginas.

Pede-se que os artigos e ensaios submetidos à Revista obedçam às normas fixadas pela NBR 6022, editada pela ABNT em maio de 2003, e contenham, pelo menos, as seguintes seções: 1) introdução, 2) desenvolvimento, 3) considerações conclusivas e 4) referências. O envio de manuscritos e demais trabalhos implica a cessão dos direitos autorais à Revista, caso os textos venham a ser aceitos para publicação.

Tabelas e quadros devem ser inseridos e indicados no texto. Devem ser também enviados em arquivos separados nas extensões "doc" ou "xls". O mesmo procedimento deve ser adotado em relação às figuras (mapas, gráficos, ilustrações e fotos). Além de indicadas e inseridas no texto, devem ser remetidas em arquivos separados, com resolução de 300dpi e tamanho mínimo de 10x10 cm. Preferencialmente, gráficos devem ser enviados em formato que possibilite edição (por exemplo, com extensão "xls"), para que sejam adequados ao projeto gráfico da Revista. As imagens, como fotos e ilustrações, entre outras, devem ser acompanhadas de autorização de seus respectivos autores.

Nomes de organizações e entidades devem ser apresentados por completo, seguidos por sua sigla na primeira inserção no texto. No restante, utilizar apenas a sigla anteriormente empregada (ex.: Organização das Nações Unidas (ONU)). Números de um a dez devem ser escritos por extenso e termos estrangeiros marcados em itálico.

Referências bibliográficas devem obedecer aos critérios estabelecidos pela ABNT NBR 10520:2002 e pela NBR 6023:2018.

PUBLICATION NORMS

Revista da Universidade Federal de Minas Gerais publishes manuscripts written by invited authors and by those who spontaneously wish to submit their works. The contributions are assessed by the Editorial Board and by ad hoc reviewers through the blind review method. Revista may propose alterations at its own discretion in an effort to adapt the articles and further works to its editorial standard.

The manuscripts submitted to Revista may not be assessed simultaneously by another publication team, and must be unpublished in Brazil. The Editorial Board will assess the convenience of the publication of works already disseminated in other languages by journals and editorial entities in foreign countries.

Revista accepts articles, comments, notes, essays and interviews for publication, but the Editorial Board will preliminarily analyze the manuscripts and works received in order to verify the compliance with the editorial lines, when the same may be refused or, in case of approval, referred to a further evaluation process, aiming at their publication or not. Poems and other artistic-literary and iconographic productions may also be published, although only if duly invited by the Editorial Board.

The authors' credits must contain their title, institutional affiliation and electronic address. The texts submitted to Revista should be written in Word Editor, Times New Roman source, size 12, space 1.5 between lines, margins of 3 cm, and in A4 format. An abstract with 120 words at most and three keywords, both in Portuguese and in English, must be submitted with the corresponding text. Quotations containing up to three lines are inserted in the text between quotation marks; if longer, they must outstand the text without quotation marks, size 10 and margins with a four-centimeter indentation to the left.

Articles, essays and interviews should be at least 17 pages long, but not surpass 25 pages, including tables, maps, graphs and other images and non-textual information. Comments and notes should not have more than 10 pages.

Articles and essays submitted to Revista should follow the norms set forth by NBR 6022, published by ABNT in May, 2003, and contain at least the following sections: 1) Introduction; 2) Development; 3) Conclusions, and 4) Bibliography. The remittance of manuscripts and other works implies copyright assignment to Revista if they are accepted for publication.

Tables and charts must be inserted and indicated in the text, and sent in separate files in doc or xls extensions. The same procedure must be followed in the case of figures (maps, graphs, illustrations and photos). Besides their insertion and indication in the text, they must also be remitted in separate files, in 300dpi resolution, and 10x10 cm minimum size. Graphs are best sent in a format that allows the edition (for instance, in xls extension), so that they can be adapted to the graphic design of the journal.

The images, photos and illustrations, among others, must be authorized for publication by their authors.

The name of organizations and entities must be written in full, followed by their abbreviation when first mentioned in the text, and after that, only the abbreviation should be used; for example: United Nations Organization (UNO). Numbers from one to ten must be written in full, and foreign terms in italics.

Bibliography must obey the criteria set forth by ABNT NBR 10520:2002 and ABNT NBR 6023:2018.

