DÉBORA DOS SANTOS CARVALHO

O ABASTECIMENTO ATRAVÉS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: OS
IMPACTOS NO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO E AVALIAÇÃO DE
CENÁRIOS PARA DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

SÃO PAULO

2018

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

DÉBORA DOS SANTOS CARVALHO

O abastecimento através das águas subterrâneas: os impactos no sistema elétrico brasileiro e avaliação de cenários para desenvolvimento sustentável

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo, como parte dos requisitos para
obtenção do grau de Mestre em Ciências
Área de concentração: Sistemas de
Potência
Orientador: Prof. Dr. José Aquiles Baesso
Grimoni

SÃO PAULO

2018

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, ____ de ____ de ____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Carvalho, Débora dos Santos

O abastecimento através de águas subterrâneas: os impactos no sistema elétrico brasileiro e avaliação de cenários para desenvolvimento sustentável / D. S. Carvalho -- versão corr. -- São Paulo, 2018.
105 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.

1. Águas subterrâneas 2. Bombeamento de águas subterrâneas 3. Setor energético 4. Abastecimento público 5. Eficiência energética I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas II. t.

Folha de aprovação

Nome: DÉBORA DOS SANTOS CARVALHO

Título: O abastecimento através de águas subterrâneas: os impactos no sistema elétrico brasileiro e avaliação de cenários para desenvolvimento sustentável

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Agradecimentos

Ao Dr. José Aquiles Baesso Grimoni, que nos anos de convivência, muito me ensinou, contribuindo para meu crescimento científico e intelectual.

À Fundação da Universidade São Paulo, pela concessão da bolsa de mestrado e pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

Resumo

O estudo visa investigar os impactos do abastecimento por águas subterrâneas no setor energético brasileiro, as dinâmicas das tomadas de decisões no gerenciamento hídrico e gerenciamento energético brasileiro, e apontar onde as ações para a sustentabilidade no bombeamento de águas subterrâneas devem ser tomadas. A geração, consumo e gestão de energia interagem de muitas formas com os recursos hídricos, contudo o gerenciamento das águas superficiais difere do gerenciamento das águas subterrâneas. Cerca de 2,6% do consumo energético brasileiro é utilizado para abastecimento por águas subterrâneas. Ações para eficiência energética neste setor podem trazer economia de energia.

PALAVRAS-CHAVE

Águas subterrâneas, Bombeamento, Setor energético, Abastecimento, Eficiência energética

Abstract

The study aims to investigate the impacts of groundwater supply in the Brazilian energy sector, the dynamics of decision making in water management and Brazilian energy management, and to point out where actions for sustainability in pumping groundwater must be taken. Power generation, consumption and management interact in many ways with water resources, yet surface water management differs from groundwater management. About 2.6% of Brazilian energy consumption is used for groundwater supply. Actions for energy efficiency in this sector can bring energy savings.

KEY WORDS

Groundwater, Pumping, Power Sector, Supply, Energy efficiency

Lista de Ilustrações

Figura 1.1 - Visão sistêmica do ciclo hidrológico	2
Figura 1.2 - Taxa anual de depleção dos principais aquíferos do mundo	3
Figura 2.1 - Representação esquemática da distribuição da água subterrânea	6
Figura 2.2 - Variação sazonal da água subterrânea	7
Figura 2.3 - Estresse hídrico por país, cenário de 2040	8
Figura 2.4 - Distribuição de poços por região hidrográfica do Brasil	9
Figura 2.5 - Retirada de água para irrigação por unidade de área	12
Figura 2.6 - Configuração do Fluxo de Água Subterrânea resultante das cargas hidráulicas internas ao sistemas aquíferos e das relações com o sistema hidrográfico e oceanográfico	13
Figura 2.7 - Representação esquemática dos principais aquíferos brasileiros	14
Figura 2.8 - Área de recarga dos principais sistemas aquíferos do país	15
Figura 2.9 - Volumes anuais explotados de água subterrânea no Brasil	16
Figura 2.10 - Potencialidades hídricas subterrâneas para o Estado de São Paulo	21
Figura 2.11 - Disponibilidade Hídrica (Q ₉₅) e Sub-bacias com estresse hídrico no Estado de São Paulo	22
Figura 2.12 - Aspectos gerais da ocupação do solo paulista	23
Figura 2.13 - Distribuição da área do aquífero Guarani por Estado	24
Figura 2.14 - Impacto do bombeamento excessivo de água subterrânea e depleção dos níveis potenciométricos de água subterrânea	26
Figura 2.15 - Perdas crescentes no bombeamento conforme as condições do aquífero	28
Figura 2.16 - Sistema Cantareira durante crise hídrica com bombeamento emergencial em janeiro de 2015	31
Figura 2.17 - Municípios de abastecimento exclusivo por águas subterrâneas no Brasil	33
Figura 2.18 - Demanda hídrica por município do Estado de São Paulo	35
Figura 2.19 - Evolução da demanda total de energia por fontes até 2050, Brasil	40
Figura 2.20 - Evolução do consumo e das despesas com energia elétrica na Universidade de São Paulo entre 2010 e 2014	42
Figura 2.21 - Poços de água da Cidade Universitária USP	43

Figura 2.22 - Poço 3 e Poço 2 da Cidade Universitária da USP.....	44
Figura 2.23 - Evolução do consumo final por fonte de energia	50
Figura 2.24 - Oferta interna de energia no Brasil	51
Figura 2.25 - Regionalização de Diretrizes de Utilização e Proteção das Águas Subterrâneas.....	54
Figura 2.26 - Perfil típico onde são perfurados poços profundos e conjunto moto-bomba submersa	57
Figura 3.1 - Curva característica de uma bomba centrífuga.....	59
Figura 3.2 - Seleccionador online de válvulas e bombas	61
Figura 3.3 - Número de poços cadastrados no SIAGAS e Volume Anual Explotado	61
Figura 4.1 - Principais sistemas aquíferos	66
Figura 4.2 - Classes de consumo de energia por aquíferos no Brasil – Cenário 1: normal.....	67
Figura 4.3 - Box Plot e histograma dos dados de consumo de energia (GWh) dos Sistemas Aquíferos brasileiros – Cenário 1: normal	68
Figura 4.4 - Área de recarga dos aquíferos estudados (km ²).....	70
Figura 4.5 - Mecanismos de eficiência energética	75
Figura 4.6 - Demanda de água no Campus USP - CUASO	78
Figura 6.1 - Curvas características bomba para profundidade média e vazão média Bacia Hidrogeográfica Solimões	90
Figura 6.2 - Principais medidas em eficiência energética	92

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Vazões médias e vazões de estiagem nas regiões hidrográficas de água superficiais no país	10
Tabela 2.2 - Vazão de retirada água superficial por região hidrográfica	11
Tabela 2.3 - Vazão de retirada de água superficial para irrigação	11
Tabela 2.4 - Disponibilidade de águas subterrâneas nos principais sistemas aquíferos do país	18
Tabela 2.5 - Disponibilidade hídrica e demanda potencial de água nos principais sistemas aquíferos do país	19
Tabela 2.6 - Disponibilidade potencial de águas subterrâneas para o Estado de São Paulo	25
Tabela 2.7 - Custos internacionais da água (não inclusos seu transporte)	32
Tabela 2.8 - Tipos de abastecimento nos municípios brasileiros	34
Tabela 2.9 - Perspectiva da redução de custos dos sistemas fotovoltaicos	50
Tabela 3.1 - Parâmetros de vazão e profundidade médias dos sistemas aquíferos	60
Tabela 3.2 - Determinação da Potência do bombeamento	62
Tabela 3.3 - Tabela dos cenários considerados	64
Tabela 4.1 - Consumo de energia por ano para bombeamento de água subterrânea – Cenário 1: normal.....	67
Tabela 4.2 - Consumo de energia por ano para bombeamento de água subterrânea em Cenário 3: crise hídrica	70
Tabela 4.3 - Consumo de energia elétrica por ano para bombeamento de água subterrânea para Cenário 5 de estratégias de eficiência.....	71
Tabela 4.4 - Relação de eficiência energética kWh/m ³ para cenário 1 normal	72
Tabela 4.5 - Relação de eficiência energética kWh/m ³ para cenário 3 de crise hídrica	73
Tabela 4.6 - Ganhos financeiros com as reduções no consumo de energia R\$/mês para Cenário 3 - Eficiência Energética	73
Tabela 4.7 - Consumo de energia elétrica para diferentes cenários	74
Tabela 4.8 - Redução da demanda hídrica do Campus CUASO	78
Tabela 4.9 - Energia consumida das bombas no Campus CUASO implementadas e melhor opção simulada com o valor hachurado estimado	79

Tabela 4.10 - Impacto do abastecimento por água subterrânea da CUASO nos custos de energia da USP	80
---	----

Lista de Símbolos e Abreviaturas

ABAS	Associação Brasileira de Águas Subterrâneas
ANA	Agência Nacional de Águas
BHAT	Bacia Hidrográfica do Alto Tiete
BDEW	Associação Alemã de Indústrias de Energia e Água
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
DER	Departamento de Estradas e Rodagem
EB	Estação de Bombeamento
FABHAT	Fundação Agência da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê
FUSP	Fundação da Universidade de São Paulo
GD	Geração Distribuída
GWh	Gigawatt-hora
IF	Instituto de Física
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
kWh	Quilowatt-hora
L/s/km ²	Vazão específica litros por segundo por quilômetro-quadrado
ONU	Organização das Nações Unidas
Q ₉₅	Vazão mínima em 95% do tempo
ReCESA	Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental
RMSP	Região Metropolitana da Cidade de São Paulo
SAG	Sistema Aquífero Guarani
TWh	Terawatt-hora
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
UNESP	Universidade do Estado de São Paulo
USGS	Serviço Geológico dos Estados Unidos

Sumário

<i>Folha de aprovação</i>	<i>iv</i>
<i>Agradecimentos</i>	<i>v</i>
<i>Resumo</i>	<i>vi</i>
<i>Abstract</i>	<i>vi</i>
<i>Lista de Ilustrações</i>	<i>vii</i>
<i>Lista de Tabelas</i>	<i>ix</i>
<i>Lista de Símbolos e Abreviaturas</i>	<i>xi</i>
<i>Sumário</i>	<i>xii</i>
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Justificativas e comparações com outros trabalhos	5
2.2 Estresse hídrico	7
2.2.1 Crise hídrica de 2014	29
2.2.2 Crise hídrica de 2014 na Região Metropolitana de São Paulo	30
2.3 Mapa da quantidade energia elétrica	31
2.4 Modelo de utilização energética	36
2.5 Desenvolvimento sustentável e eficiência energética	37
2.6 Sustentabilidade no campus	41
2.7 Cenários futuros	44
3. METODOLOGIA	59
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	65

4.1 Crise hídrica	65
4.2 Consumo de energia	66
4.3 Estratégias para desenvolvimento sustentável	74
4.4 Estudo de caso Campus USP - CUASO	77
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	81
6. REFERÊNCIAS	83
7. ANEXOS	88
7.1 Curvas características das bombas	89
7.2 Principais medidas de eficiência energética	91

1. INTRODUÇÃO

O objetivo geral do presente trabalho é explorar os impactos do bombeamento de águas subterrâneas no sistema elétrico brasileiro.

Para tanto é necessário um maior entendimento da exploração de águas subterrâneas no Brasil e como o setor energético é impactado pelo abastecimento de águas através de águas subterrâneas.

A configuração de um modelo de simulação do consumo energético do bombeamento de águas subterrâneas se faz necessário para propor ações de eficiência e tomar decisões levando em consideração o cenário.

A afluência dos corpos hídricos de todo o mundo fornece de 2,5% a 3% de água doce, isto é, a água propícia para o consumo de cerca de sete bilhões de seres humanos. Estes percentuais seriam suficientes para abastecer toda a população global, mas há um problema: a água doce é um recurso natural que não se distribui igualmente onde grande parte é de difícil acesso (localizada em rios, lagos, geleiras e aquíferos). Abundante em alguns países, escasso em outros, é usada intensamente pela agricultura, pela indústria e pelas atividades domésticas – só que de forma cada vez mais insustentável. (FERREIRA, 2013)

Apesar da abundância e das características que favorecem o uso das águas subterrâneas, os modelos de desenvolvimento do seu uso desencadearam efeitos indesejáveis e situações de conflito, levando algumas regiões dependentes desses mananciais subterrâneos ao estresse hídrico. (SIMONATO, 2013)

Enquanto as cidades desempenham um papel cada vez mais dominante na economia global como centros de produção e consumo, este rápido crescimento urbano em todo o mundo em desenvolvimento ultrapassa a capacidade da maioria das cidades e centros urbanos de prestarem serviços adequados aos seus cidadãos. Cohen (2006) apud (UN-Habitat, ICLEI – Local Governments for Sustainability, 2009, Sec1:8)

O crescente aumento demográfico da população mundial, o desenvolvimento econômico e social, a evolução tecnológica, as conseqüentes pressões advindas da necessidade por maior volume de alimentos, o atendimento aos atuais paradigmas de consumo

e os modelos de uso e ocupação da superfície terrestre têm sido os responsáveis pelo aumento do estresse hídrico, provocado por excessivas taxas de exploração e/ou por contaminações das águas. (SIMONATO, 2013)

Em 2050 o mundo atingirá a marca de 9 bilhões de pessoas. Se apenas um terço deste total adotar padrões de consumo de uma pessoa da classe média, será necessário produzir 50% a mais de alimentos, a oferta de energia terá de crescer 45% e o consumo de água aumentará 30%: a pressão sobre os recursos naturais do planeta se tornará insustentável. Dois terços da população global poderão sofrer com escassez de água doce até 2025, de acordo com a ONU (que, declarou 2013 como o Ano Internacional da Cooperação pela Água). (FERREIRA, 2013)

As águas subterrâneas têm um papel estratégico em tempos de mudanças climáticas, principalmente, porque os aquíferos podem fornecer água por longos períodos, mesmo durante a estiagem muito longa e severa. A redução ou alterações no padrão de precipitação pode diminuir a recarga principalmente no aquífero freático, causando restrição de águas subterrâneas disponíveis. (HIRATA, CONICELLI, 2012, p. 311)

Um sistema aquífero e suas relações com os sistemas meteorológico, hidrográfico e oceanográfico podem ser representados, esquematicamente, pela Figura 1.1 - Visão sistêmica do ciclo hidrológico, mostrando as relações hidráulicas e hidrológicas internas do sistema aquífero e deste com os demais sistemas componentes do ciclo. (Albuquerque, José do Patrocínio Tomaz, RÊGO, 2008)

Fonte: Albuquerque, José do Patrocínio Tomaz, RÊGO, 2008

Os aquíferos, por sua natureza são mais protegidos quanto à contaminação do que as águas superficiais. Assim, a exploração das águas subterrâneas precisa observar a proteção dos aquíferos durante a fase de perfuração e operação dos poços; o perímetro de proteção dos poços; o equilíbrio regional do aquífero quanto às recargas e descargas e os limites outorgados pelo poder público. (GIAMPÁ, GONÇALES, 2005, p. 19)

O desequilíbrio deste ciclo hidrológico seja por pressões antrópicas ou naturais, por exploração maior do que as disponibilidades, ou por alterações nos ciclos terrestres, pode levar à escassez de recursos hídricos, no caso em tela à depleção dos níveis subterrâneos. A Figura 1.2 revela a taxa anual de depleção dos principais aquíferos do mundo.

Figura 1.2 - Taxa anual de depleção dos principais aquíferos do mundo

Fonte: COLLINGS, 2015

Capítulo 0 Na

Introdução são abordados e delimitados o tema e sua relevância para os dias atuais. E também são definidos os propósitos gerais e específicos para o presente trabalho.

Capítulo 2

Revisão bibliográfica, são realizadas as comparações deste trabalho com os análogos, as justificativas para o presente trabalho, bem como apresentadas as discussões iniciais sobre estresse hídrico. Também são apresentadas as informações para a construção do mapa da quantidade de energia elétrica utilizada nos principais aquíferos do Brasil. Além disso, é

explorado o conceito de desenvolvimento sustentável e delimitado o estudo de caso sobre sustentabilidade no campus da Universidade de São Paulo.

Capítulo 3 Na metodologia, são apresentadas as etapas dos cálculos para o modelo hidroenergético e as hipóteses assumidas.

Capítulo 4 Nos resultados e discussão, é realizado um estudo de caso envolvendo o Campus da Cidade Universitária da Universidade de São Paulo, também apresenta um segundo resultado que é a modelagem da utilização da energia elétrica, capaz de calcular os o consumo de energia para cinco diferentes cenários futuros da utilização dos recursos hídricos.

Capítulo 5 Nas conclusões e sugestões de trabalhos futuros, é abordada a continuidade deste trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As análises dos impactos ambientais e energéticos dos serviços de abastecimento de água estão se tornando um tema corrente para a gestão de águas. As razões para este crescente interesse podem ser encontradas na busca pela redução dos custos dos serviços e pela difusão de políticas sustentáveis na exploração de recursos naturais. (SAMBITO, PULEO, FRENÍ, 2015, p. 68).

Os aquíferos são classificados em função da forma como as rochas armazenam e transmitem a água, classificando-se em aquíferos porosos, fraturados e fraturados-cársticos. (Agência Nacional de Águas, 2005b, p. 46) Para tanto, há diversas formas de captação de águas subterrâneas, tais como cacimbas, poços perfurados e poços sedimentares. Os principais parâmetros que norteiam a exploração das águas subterrâneas são: vazão (m^3/hora), nível estático (m), nível dinâmico (m), leitura dos parâmetros elétricos dos motores e bombas (tensão e corrente), análise físico-química e bacteriológica das águas. (GIAMPÁ, GONÇALES, 2005, p. 14–15)

2.1 Justificativas e comparações com outros trabalhos

No Brasil, o setor de saneamento básico apresenta grandes oportunidades de melhoria, pois ainda é insuficiente a toda população. As ações de eficiência energética visam aumentar a disponibilidade dos serviços sem, necessariamente, ampliar as estruturas existentes. (MARQUES et al., 2015)

O Brasil, segundo a ONU, detém 13,3% de toda reserva hídrica da Terra, com 180.000 m^3/s , o que representa uma disponibilidade hídrica de cerca de 47.000 $\text{m}^3/\text{habitante/ano}$, porém não está distribuída uniformemente, o que leva ao aparecimento de regiões críticas. (GIAMPÁ, GONÇALES, 2005, p. 13)

Por exemplo, a região hidrográfica Amazônica (Norte e Centro-Oeste) equivale a 45% do território nacional e detém 81% da disponibilidade hídrica. As regiões litorâneas (Sul, Sudeste e Nordeste), que respondem por apenas 3% da oferta nacional, abrigam 45% da população do país. Em outras palavras, onde se concentram cada vez mais brasileiros, há cada vez menos água, o que acarreta em estresse hídrico. (FERREIRA, 2013).

Para fins de aproveitamento hídrico, a zona de saturação, apresentada na Figura 2.1 - Representação esquemática da distribuição da água subterrânea, é a mais importante. Ela pode ser considerada como um vasto reservatório, ou um conjunto de reservatórios naturais, cuja capacidade de armazenamento é definida pelo volume total dos poros existentes nas rochas que, nesta zona, se encontram completamente cheios de água. (BARBOSA JR., 2000)

Figura 2.1 - Representação esquemática da distribuição da água subterrânea

Fonte: BARBOSA JR., 2000

A camada superior do solo, onde os espaços intergranulares estão parcialmente ocupados pela água, é denominada zona de aeração. A camada situada imediatamente abaixo se denomina zona de saturação conforme ilustra a Figura 2.1 - Representação esquemática da distribuição da água subterrânea. Por efeito da capilaridade, a água eleva-se acima do nível da zona de saturação, formando a água capilar (ou franja capilar). A altura da elevação capilar depende da dimensão dos interstícios e pode atingir valores desde 0,6m a 3,0m nas argilas, ou apenas alguns milímetros de altura em areias grossas. (BARBOSA JR., 2000) Figura 2.2 - Variação sazonal da água subterrânea ilustra como a reservação de água subterrânea é impactada pelos eventos pluviométricos incidentes nas zonas de recarga dos aquíferos. Em períodos chuvosos é que os aquíferos são recarregados e em períodos de seca a exploração permanece constante, fazendo, assim, rebaixar o nível dos aquíferos.

Figura 2.2 - Variação sazonal da água subterrânea

Fonte: PIMIENTA, 1980

Em períodos do ano em que não há precipitações pluviométricas ou em que as recargas são severamente diminuídas, pode haver o rebaixamento dos níveis freáticos que desencadeiem em estresse hídrico.

2.2 Estresse hídrico

A situação de estresse hídrico se caracteriza quando o consumo médio por habitante supera a oferta. (FERREIRA, 2013). O estresse hídrico é maior nas regiões que concentram maior população, não necessariamente nas mais secas. Segundo Rocha, 2005, irrigação, abastecimento urbano e uso industrial: são as principais atividades que demandam água.

Segundo Ferreira, 2013, dos 29 maiores aglomerados urbanos do país, 16 precisavam buscar de novas fontes de água para garantir o abastecimento em 2015. Em 2017, em todo o Brasil, já são 872 as cidades com reconhecimento federal de situação de emergência causada por um longo período de estiagem. (SINIMBU, JADE, 2017).

A Figura 3.5 ilustra bem o cenário para o ano de 2040 para os países que terão maiores dificuldades de conferir segurança hídrica aos seus respectivos sistemas de abastecimento.

Figura 2.3 - Estresse hídrico por país, cenário de 2040

Fonte: World Resources Institute, 2016

Dentre as novas fontes ressalta-se a exploração das águas subterrâneas e o reúso da água. Segundo Leal (1999) apud ABAS, 2017, praticamente todos os países, desenvolvidos ou não, utilizam água subterrânea para suprir suas necessidades. Países como a Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, França, Holanda, Hungria, Itália, Marrocos, Rússia e Suíça atendem de 70 a 90% da demanda para o abastecimento público (OECD, 1989 apud por REBOUÇAS et al., 2002). Outros utilizam a água subterrânea no atendimento total (Dinamarca, Arábia Saudita, Malta) ou apenas como suplementação do abastecimento público e de atividades como irrigação, produção de energia, turismo, indústria, etc. (PIMENTEL, 1999 apud ABAS, 2017).

De acordo com a Associação Alemã de Indústrias de Energia e Água (BDEW), a extração de águas subterrâneas (incluindo nascentes) para o fornecimento público caiu de 4,79 km³ em 1990 para 3,50 km³ em 2013. (BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2017)

Calcula-se que 20% das águas pluviais se infiltram no solo, constituindo imensas reservas subterrâneas, as quais são denominadas reservas renováveis. (MACINTYRE, 1997) As reservas exploráveis perfazem 20% das reservas renováveis (DINIZ et al., 2014).

As bacias hidrográficas são mostradas na Figura 2.4 - Distribuição de poços por região hidrográfica do Brasil, figura esta, que também mostra a densidade de poços em cada região hidrográfica.

Figura 2.4 - Distribuição de poços por região hidrográfica do Brasil

Fonte: DINIZ et al., 2014

Levando-se em consideração as vazões oriundas em território estrangeiro que entram no país (Amazônica – 86.321 m³/s, Uruguai – 878 m³/s e Paraguai – 595 m³/s e), a disponibilidade hídrica total atinge valores da ordem de 267 mil m³/s (8.427 km³/ano - 18% da disponibilidade mundial). A Tabela 2.1 - Vazões médias e vazões de estiagem nas regiões hidrográficas de água superficiais no país, a seguir, apresenta dados de vazões médias e de

estiagem do país e das doze regiões hidrográficas, ratificando que a disponibilidade hídrica baseada na vazão média brasileira, sem considerar afluentes estrangeiras, perfaz um valor de quase 180 mil m³/s. (Agência Nacional de Águas, 2005b, p. 31)

Tabela 2.1 - Vazões médias e vazões de estiagem nas regiões hidrográficas de água superficiais no país

Região hidrográfica	Área (km ²)	Vazão média (m ³ /s)	Vazão de estiagem ¹ (m ³ /s)
Amazônica ²	3.869.953	131.947	73.748
Tocantins/Araguaia	921.921	13.624	2.550
Atlântico Nordeste Ocidental	274.301	2.683	328
Parnaíba	333.056	763	294
Atlântico Nordeste Oriental	286.802	779	32
São Francisco	638.576	2.850	854
Atlântico Leste	388.160	1.492	253
Atlântico Sudeste	214.629	3.179	989
Atlântico Sul	187.522	4.174	624
Uruguai ³	174.533	4.121	391
Paraná	879.873	11.453	4.647
Paraguai ⁴	363.446	2.368	785
Brasil	8.532.772	179.433	85.495

¹: Vazão com permanência de 95%. ²: A bacia amazônica ainda compreende uma área de 2,2 milhões de km² em território estrangeiro, a qual contribui com adicionais 86.321 m³/s, em termos de vazão média. ³ A bacia do rio Uruguai ainda compreende adicionais 37 mil km² em território estrangeiro, a qual contribui com 878 m³/s. ⁴ A bacia do rio Paraguai compreende adicionais 118 mil km² em território estrangeiro e 595 m³/s.

Fonte: Agência Nacional de Águas, 2005b, p. 31

A Tabela 2.2 - Vazão de retirada água superficial por região hidrográfica, no ano de referência de 2000, mostra que aproximadamente 1,6 mil m³/s era a vazão de retirada brasileira para usos consuntivos no país, o que significava 0,9% da disponibilidade hídrica brasileira sem aportes externos. Cerca de 53% deste total (841 m³/s) são efetivamente consumidos e 751 m³/s retornam à bacia. (Agência Nacional de Águas, 2005b, p. 87)

Tabela 2.2 - Vazão de retirada água superficial por região hidrográfica

Região hidrográfica	Retirada		Consumo		Retorno
	m ³ /s	% do total	m ³ /s	% do total	
Amazônica	47	3	27	3	20
Tocantins/Araguaia	55	3	33	4	22
Atlântico Nordeste Ocidental	15	1	6	1	9
Parnaíba	19	1	11	1	8
Atlântico Nordeste Oriental	170	11	100	12	70
São Francisco	166	10	105	13	61
Atlântico Leste	68	4	33	4	35
Atlântico Sudeste	168	11	61	7	107
Atlântico Sul	240	15	155	18	85
Uruguai	146	9	109	13	37
Paraná	479	30	189	23	290
Paraguai	19	1	12	1	7
Brasil	1.592	100	841	100	751

Fonte: Agência Nacional de Águas, 2005b, p. 87

Do montante de 1,6 mil m³/s, menos da metade, isto 0,7 mil m³/s corresponde à vazão de retirada de água superficial para irrigação, como demonstra a Tabela 2.3 - Vazão de retirada de água superficial para irrigação a seguir.

Tabela 2.3 - Vazão de retirada de água superficial para irrigação

Região hidrográfica	Vazão de retirada		Vazão consumida
	(m ³ /s)	(L/s/ha)	
Amazônica	13,8	0,150	11,1
Tocantins/Araguaia	19,6	0,146	15,7
Atlântico Nordeste Ocidental	1,8	0,199	1,4
Parnaíba	8,9	0,215	7,1
Atlântico Nordeste Oriental	100,6	0,227	80,5
São Francisco	114,0	0,307	91,0
Atlântico Leste	22,10	0,178	17,7
Atlântico Sudeste	39,4	0,133	31,5
Atlântico Sul	168,2	0,247	134,5
Uruguai	128,0	0,226	102,4
Paraná	116,6	0,133	93,2
Paraguai	4,2	0,133	3,4
Brasil	717,1	0,201	589,5

Fonte: Agência Nacional de Águas, 2005b, p. 91

A Figura 2.5 - Retirada de água para irrigação por unidade de área, ilustra a densidade de retirada de água subterrânea para irrigação. mostra o aspecto geral da ocupação do território: as áreas urbanizadas, as áreas com cobertura vegetal natural e as áreas de uso do

solo rural (estas compreendendo áreas de pastagem e de agricultura). As áreas cultivadas abrangem 6,9 Mha, com destaque para cana-de-açúcar, laranja, milho, soja e café (IEA 2005).

As áreas de pastagem abrangem 10 Mha (IEA 2005) e a cobertura vegetal natural estende-se por 3,5 Mha (IF 2005).

Figura 2.5 - Retirada de água para irrigação por unidade de área

Fonte: Agência Nacional de Águas, 2005b, p. 91

Conforme ilustra a

Figura 2.6 - Configuração do Fluxo de Água Subterrânea resultante das cargas hidráulicas internas ao sistemas aquíferos e das relações com o sistema hidrográfico e oceanográfico. Dentro deste contexto sistêmico, uma mesma formação geológica pode participar de mais de um sistema aquífero, sendo estes sistemas separados por um divisor de água subterrânea, um acidente meramente hidráulico. Por outro lado, uma mesma formação aquífera pode ser parte integrante de um sistema ou de um subsistema aquífero e, também, constituir um sistema independente. É o caso, por exemplo, das formações aluviais que, quando se sobrepõem ou se justapõem a outras unidades aquíferas, perdem a sua

individualidade hidrogeológica, a elas se associando, compondo um subsistema livre de tal forma que, poços captando este reservatório, ao serem explotados, têm seus cones expandidos para além dos limites da unidade aquífera. (ABAS, 2017)

Figura 2.6 - Configuração do Fluxo de Água Subterrânea resultante das cargas hidráulicas internas ao sistemas aquíferos e das relações com o sistema hidrográfico e oceanográfico

Fonte: Albuquerque, José do Patrocínio Tomaz, RÊGO, 2008

A definição de potencialidade natural de água subterrânea é a quantidade de água que, em média de longo período, entra (recarga), flui internamente (circulação) e sai (descarga) nos seus exutórios naturais, o sistema hidrográfico (ou outro acidente hidrográfico) e o sistema oceanográfico, como ilustra a

Figura 2.6 - Configuração do Fluxo de Água Subterrânea resultante das cargas hidráulicas internas ao sistemas aquíferos e das relações com o sistema hidrográfico e oceanográfico. O volume de água armazenado nestes sistemas aquíferos é importante, na medida em que, por sua carga hidráulica, viabiliza o escoamento dentro e para fora do sistema aquífero, perenizando rios, lagos, etc. A segunda definição está relacionada com a parcela do fluxo de água subterrânea que pode ser objeto de retirada do potencial para atendimento de demandas socioeconômicas de recursos hídricos, através de sua extração do aquífero, seja por poços, seja por meio de captações a fio d'água ou outras. Esta é a denominada disponibilidade

de água subterrânea do Sistema. A exploração da potencialidade resultará em mudanças nos fluxos subterrâneos. (Albuquerque, José do Patrocínio Tomaz, RÊGO, 2008)

Para facilitar o estudo das águas subterrâneas o Brasil foi dividido em regiões homogêneas, formando 10 províncias hidrogeológicas. Os limites dessas províncias hidrogeológicas, mostrados na Figura 2.7 - Representação esquemática dos principais aquíferos brasileiros, não coincidem necessariamente com os das bacias hidrográficas mostradas na Figura 2.4 - Distribuição de poços por região hidrográfica do Brasil. As províncias hidrogeológicas são regiões onde os sistemas aquíferos apresentam condições semelhantes de armazenamento, circulação e qualidade de água. (Ministério do Meio Ambiente, 2015)

Figura 2.7 - Representação esquemática dos principais aquíferos brasileiros

MAPA 2.2 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS PRINCIPAIS AQUÍFEROS BRASILEIROS
FONTE: MMA, 2003

Fonte: MMA, (2003) apud ABAS, 2017

Os sistemas aquíferos brasileiros que constam na Figura 2.7 armazenam os importantes excedentes hídricos, que alimentam uma das mais extensas redes de rios perenes do mundo, com exceção dos rios temporários, que nascem nos domínios das rochas do

embasamento geológico subaflorante do semiárido da região Nordeste (REBOUÇAS et al., 2002).

De forma geral, as rochas sedimentares constituem os melhores aquíferos em termos de produtividade de poços e reservas hídricas. Os terrenos sedimentares ocupam cerca de 4.130.000 km² da área do território nacional, ou seja, aproximadamente 48% do total, com boa distribuição, ocorrendo na maioria das regiões hidrográficas. Deste total, 2.761.086 km² (32% do país) correspondem à área de recarga dos principais sistemas aquíferos do país. A ampla presença de bacias sedimentares no território brasileiro, aliadas a condições climáticas favoráveis denota grande potencial para a água subterrânea. (Agência Nacional de Águas, 2005b, p. 46)

A seguir, na Figura 2.8, são apresentados as áreas de recarga dos sistemas aquíferos brasileiros mais importantes. (Agência Nacional de Águas, 2005b, p. 46)

Figura 2.8 - Área de recarga dos principais sistemas aquíferos do país

Fonte: Agência Nacional de Águas, 2005b, p. 53

As águas subterrâneas no Brasil vêm sendo progressivamente exploradas para o abastecimento de cidades e núcleos urbanos, assim como para a indústria, irrigação e turismo. Estima-se que haja, pelo menos, 416 mil poços no país, com um aumento anual de 10,8 mil novas captações, atendendo a 30-40 % da população. Esse volume explorado ainda é muito

pequeno quando comparado às potencialidades de suas reservas renováveis de 42 mil m³/s. Apesar da sua expressiva contribuição para o desenvolvimento socioeconômico de muitas regiões do país e do seu papel ecológico na manutenção do fluxo de base dos corpos de água, a gestão da água subterrânea ainda é incipiente e não reflete sua relevância atual e estratégica. A falta de políticas públicas para o setor mostra-se na lacuna de conhecimento do estágio de utilização e das potencialidades dos aquíferos, bem como dos riscos de contaminação antropogênica a que estão submetidos e que afetam sua qualidade. (HIRATA, ZOBY, OLIVEIRA, 2011)

Figura 2.9 - Volumes anuais explotados de água subterrânea no Brasil

Fonte: DINIZ et al., 2014

Conforme a Figura 2.9, de uma maneira geral, pode-se considerar que os bombeamentos se intensificam da linha de costa, ou em faixa muito próxima a ela, e vai arrefecendo à medida que se penetra no interior do continente. (DINIZ et al., 2014).

O uso intensivo de mananciais superficiais é observado nos Estados do Espírito Santo, Rio de Janeiro e Paraíba, em que mais de 75% dos municípios são abastecidos somente por

águas superficiais. Nesses Estados, verifica-se a baixíssima presença de rochas sedimentares e de sistemas aquíferos com bom potencial hídrico. (Agência Nacional de Águas, 2010a, p. 36). Isso mostra como o Brasil apresenta uma grande variação espacial e temporal das vazões. Por isso, existe uma necessidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos.

Em São Paulo, no Paraná e no Rio Grande do Sul, mais de 50% dos municípios, majoritariamente localizados no oeste dos Estados, também são abastecidos exclusivamente por águas subterrâneas. (Agência Nacional de Águas, 2010a, p. 36)

A Tabela 2.4 - Disponibilidade de águas subterrâneas nos principais sistemas aquíferos do país mostra a vazão de reserva subterrânea renovável e a vazão de reserva subterrânea explorável. De toda a precipitação que ocorre sobre o respectivo sistema aquífero, apenas 20% compõem as reservas renováveis desses sistemas e totalizam cerca de 21 mil m³/s. A disponibilidade hídrica subterrânea (reserva explorável), considerada igual a 20% das reservas reguladoras (reservas renováveis), corresponde a cerca de 4.100 m³/s (Agência Nacional de Águas, 2005b, p. 53)

Cada um dos aquíferos destacados na Tabela 2.4 - Disponibilidade de águas subterrâneas nos principais sistemas aquíferos do país, insere-se no contexto geológico (lito-estratigráfico, estrutural e geotectônico) do conjunto de formações que compõem a bacia sedimentar que, quase totalmente saturada, tem seus aquíferos, hidraulicamente, conectados constituindo, assim, conjuntamente com aquíferos e aquíferos, um sistema aquífero. Este conceito foi introduzido pelo PLIRHINE - Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste do Brasil (1980) e aperfeiçoado por Albuquerque (2004 e 2007).

Tabela 2.4 - Disponibilidade de águas subterrâneas nos principais sistemas aquíferos do país

Sistema Aquífero	Tipo ¹	Região Hidrográfica dominante	Área de recarga (km ²)	Espessura média (m)	Precipitação (mm/ano)	Reserva (m ³ /s)	
						Renovável	Explotável ²
Solimões	P,L	Amazônica	457.664	-	2.206	4.481,5	896,3
Alter do Chão	P,L		312.574	-	2.098	1.247,5	249,5
Boa Vista	P,L		14.888	-	2.450	162,0	32,4
Parecis	P,L		88.157	150	1.890	2.324,0	464,8
Jandaíra	CF	Atl. NE Ori.	11.589	600	823	30,5	6,1
Açu	P,C		3.674	200	881	10,5	2,1
Itapecuru	P,L	Tocantins/Araguaia Parnaíba	204.979	100	1.836	1.074,0	214,8
Corda	P,L,C		35.266	160	1.371	46,0	9,2
Motuca	P,L		10.717		1.470	15,0	3,0
Poti-Piauí	P,L,C		117.012	400	1.342	650,0	130,0
Cabeças	P,L,C		34.318	300	1.104	36,0	7,2
Serra Grande	P,L,C		30.450	500	943	63,5	12,7
Barreiras	P,L,C	Atl. Leste Atl SE Atl. NE Ori. Atl. NE Ocid. Tocantins/Araguaia	176.532	60	1.938	1.085,0	217,0
Beberibe	P,L,C	Atl. NE Ori.	318	100	2.073	2,0	0,4
Marizal	P,L,C	Atl. Leste São Francisco	18.797	200	514	36,0	7,2
São Sebastião	P,L,C	Atl. Leste	6.783	-	1.358	41,0	8,2
Inajá	P,L,C	São Francisco	956	300	722	1,5	0,3
Tacaratu	P,L	São Francisco	3.890	200	965	14,5	2,9
Exu	P,L	Atl. NE Ori.	6.397	-	777	3,0	0,6
Missão Velha	P,L,C	Atl NE Ori.	1.324	130	1.115	1,0	0,2
Urucuaia-Areado	P,L	São Francisco Parnaíba	144.086	300	1.294	1.182,0	236,4
BambuÍ	CF	Tocantins/Araguai	181.868	-	1.165	201,5	40,3
Bauru-Caiuá	P,L	Paraná	353.420	200	1.457	2.939,5	587,9
Serra Geral	F	Paraná Atl. Sul Uruguai Paraguai	411.855	150	1.681	3.731,5	746,3
Guarani	P,L,C		89.936	250	1.487	805,7	161,1
Ponta Grossa	P,L,C	Tocantins/Araguaia Paraguai	24.807	300	1.543	145,5	29,1
Furnas	P,L,C		24.894	200	1.511	143,0	28,6
TOTAL			2.761.086			20.473,2	4.094,6

¹: P: Poroso; L: Livre; C: Confinado; F: Fraturado; CF: Cárstico-fraturado. ²: 20% das reservas renováveis.
-: Dados insuficientes.

Fonte: Agência Nacional de Águas, 2005b, p. 54

A Tabela 2.5 - Disponibilidade hídrica e demanda potencial de água nos principais sistemas aquíferos do país mostra, na sua primeira coluna, os principais sistemas aquíferos do país, na segunda coluna a vazão de retirada potencial. Esta vazão é o consumo total de água dos municípios situados sobre a área de recarga do sistema aquífero. Na terceira coluna a

referida Tabela mostra a Reserva Explotável, que é 20% das Reservas Renováveis, e na terceira coluna, mostra a razão entre a vazão de Retirada Potencial e a Reserva Explotável.

Tabela 2.5 - Disponibilidade hídrica e demanda potencial de água nos principais sistemas aquíferos do país

Sistema Aquífero	Vazão de Retirada Potencial (m ³ /s) ¹	Reserva Explotável (m ³ /s) ²	Vazão de Retirada Potencial/Reserva Explotável (%)
Solimões	3,3	896,3	0,4
Alter do Chão	15,5	249,5	6
Boa Vista	1,9	32,4	6
Parecis	13,2	464,8	3
Jandaíra	11,2	6,1	185
Açu	9,8	2,1	476
Itapecuru	17,9	214,8	8
Corda	7,4	9,2	81
Motuca	3,6	3,0	119
Poti-Piauí	13,5	130,0	10
Cabeças	5,7	7,2	79
Serra Grande	7,3	12,7	58
Barreiras	147,2	217,0	68
Beberibe	9,4	0,4	2.255
Marizal	7,1	7,2	99
São Sebastião	1,6	8,2	19
Inajá	2,0	0,3	643
Tacaratu	8,7	2,9	300
Exu	3,7	0,6	583
Missão Velha	4,5	0,2	2.380
Urucuia-Areado	26,7	236,4	11
Bambuí	81,4	40,3	202
Bauru-Caiuá	123,7	587,9	21
Serra Geral	298,8	746,3	40
Guarani	91,8	161,1	57
Ponta Grossa	15,1	29,1	52
Furnas	17,2	28,6	60
TOTAL	949,2	4.094,6	23

¹: Consumo total de água dos municípios situados sobre a área de recarga do sistema aquífero. ²: 20% das reservas renováveis.

Fonte: Agência Nacional de Águas, 2005b, p. 110

Os sistemas aquíferos em que há maiores desafios são aqueles com a razão maior de 100%, visto que a vazão de retirada potencial é maior do que a vazão explorável.

Na Tabela 2.5 - Disponibilidade hídrica e demanda potencial de água nos principais sistemas aquíferos do país são consideradas apenas as áreas de recarga dos aquíferos. O gerenciamento de recursos hídricos subterrâneos deverão considerar, além das áreas de recarga e as questões de vulnerabilidade e de necessidade de proteção, as porções não aflorantes e confinadas dos aquíferos. Como exemplo, podemos citar o sistema aquífero Guarani que possui uma pequena área de recarga (área aflorante) na região hidrográfica Atlântico Sul (1,5%), mas uma grande porção em que apresenta condições confinadas pelo sistema aquífero Serra Geral (área não-aflorante). A sua extensão nessa região hidrográfica, portanto, é ainda maior do que aquela apresentada considerando-se apenas a área de recarga. (Agência Nacional de Águas, 2005b, p. 45)

Os maiores volumes explorados são encontrados principalmente na região sudeste, com forte concentração no Estado de São Paulo, estendendo-se daí para a região oeste dos Estados do Paraná e Santa Catarina. (DINIZ et al., 2014)

Existia em 2005 um total de 70.660 outorgas de direito de usos dos recursos hídricos em águas de domínio dos estados e da União, relativas a usos consuntivos, totalizando 2.044 m³/s. Deste total, 1.955 m³/s são correspondentes a 50.112 outorgas de águas superficiais, e 89 m³/s correspondem a 20.548 outorgas de águas subterrâneas. (Agência Nacional de Águas, 2005b, p. 92)

Considerando todos os domínios, as reservas renováveis de águas subterrâneas no país atingem 42,3 mil m³ /s, ou 24% do escoamento médio dos rios em território nacional e 46% da disponibilidade hídrica superficial (Agência Nacional de Águas, 2010a, p. 34).

A Figura 2.10 - Potencialidades hídricas subterrâneas para o Estado de São Paulo ilustra as potencialidades de exploração de vazão específica m³/h/m, que é um importante indicador de como um sítio hidrogeológico poderia ser explorado.

Figura 2.10 - Potencialidades hídricas subterrâneas para o Estado de São Paulo

Fonte: DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, UNESP, Governo do Estado de São Paulo, 2013

A disponibilidade hídrica subterrânea total (reserva explotável) corresponde a 20% das reservas renováveis, totalizando 8.457,8 m³/s. (Agência Nacional de Águas, 2005b, p. 55)

O mapa de disponibilidades hídricas por sub-bacias Hidrográficas foi elaborado com base no parâmetro Q_{95} , que corresponde à vazão mínima de permanência com frequência de 95% do tempo, como ilustra a Figura 2.11 - Disponibilidade Hídrica (Q_{95}) e Sub-bacias com estresse hídrico no Estado de São Paulo. Esse é o parâmetro adotado pelo DAEE nos relatórios de situação dos recursos hídricos do estado, para definição da disponibilidade mínima global (superficial e subterrânea). Esse tema é composto por elementos do tipo polígono, associados às sub-bacias do Estado de São Paulo. (DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, UNESP, Governo do Estado de São Paulo, 2013)

A disponibilidade hídrica do Estado de São Paulo pode ser distribuída em três grandes setores, conforme ilustra a Figura 2.11 - Disponibilidade Hídrica (Q_{95}) e Sub-bacias com estresse hídrico no Estado de São Paulo. No extremo oeste, a disponibilidade hídrica é classificada como baixa, apresentando valores entre 2,30 L/s/km² e 3,81 L/s/km². Na região

central do Estado, a disponibilidade apresenta-se média, com valores entre 2,46 L/s/km² e 5,05 L/s/km². No extremo leste do Estado são verificadas disponibilidades hídricas altas, com valores variando entre 5,05 L/s/km² e 21,29 L/s/km². Estão representadas no mapa as sub-bacias com e sem stress hídrico. Esse parâmetro foi calculado a partir do quociente entre a vazão de captação total (superficial e subterrânea) e a vazão mínima Q₉₅. As bacias com índices de extração maiores que 50% do Q₉₅ foram consideradas com stress hídrico, e aquelas com índice abaixo de 50%, sem stress hídrico. (DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, UNESP, Governo do Estado de São Paulo, 2013)

Figura 2.11 - Disponibilidade Hídrica (Q₉₅) e Sub-bacias com estresse hídrico no Estado de São Paulo

Fonte: DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, UNESP, Governo do Estado de São Paulo, 2013

Convém ressaltar que a disponibilidade hídrica superficial está diretamente relacionada à pluviosidade da região considerada e, conseqüentemente, às taxas de infiltração da água que transita intra-anualmente nos aquíferos, enquanto a potencialidade hídrica subterrânea reflete a capacidade de fornecimento de água em poços, por unidade de rebaixamento do aquífero. Essa distinção explica parcialmente, por exemplo, a relativa diminuição das disponibilidades no extremo oeste do estado, onde se sobressaem as potencialidades do Sistema Aquífero Bauru. (DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, UNESP, Governo do Estado de São Paulo, 2013)

Figura 2.12 - Aspectos gerais da ocupação do solo paulista

Fonte: IF (2005), cobertura vegetal natural. DER (2004), área urbana apud ROCHA, 2005

Por exemplo, a Figura 2.12 - Aspectos gerais da ocupação do solo paulista, aponta a localização do conglomerado urbano da Região Metropolitana de São Paulo – RMSP, que se encontra bacia hidrográfica Alto Tietê, que possui elevada taxa de disponibilidade hídrica pelos critérios adotados supracitados.

Um dos maiores reservatórios de Água Doce do Planeta, o Sistema Aquífero Guarani, localiza-se na Bacia Geológica do Paraná, ocupando cerca de 1.200.000 km², abrangendo quatro países do Mercosul - Uruguai, Argentina, Paraguai e Brasil.

No Brasil são 840.000 km², distribuídos em 8 estados da região leste e centro – sul : MS (213.200 km²), RS (157.600 km²), SP (155.800 km²), PR (131.300 km²), GO (55.000 km²), MG (51.300 km²), SC (49.200 km²) e MT (26.400 km²). A população estimada na área de ocorrência do aquífero é de 15 milhões de habitantes.

O aquífero Guarani é constituído por rochas areníticas friáveis, com espessuras de até 300 metros e que foram depositadas num ambiente predominantemente desértico há cerca de 150 milhões de anos. No Brasil também é conhecido como “Formação Botucatu” e é encontrado desde a superfície, na cidade de Ribeirão Preto até a profundidade de 1.800 metros na região do Pontal do Paranapanema. (GIAMPÁ, GONÇALES, 2005, p. 16)

Figura 2.13 - Distribuição da área do aquífero Guarani por Estado

Estado	Área total (km²)	Área recarga (km²)
Goiás	55.000	9.057
Mato Grosso	26.400	7.218
Mato Grosso do Sul	213.200	25.324
Minas Gerais	52.300	409
Paraná	131.300	4.358
Rio Grande do Sul	157.600	21.469
Santa Catarina	49.200	3.660
São Paulo	155.800	18.441
TOTAL	840.800	89.936

Fonte: Chang (2001).

Fonte: Agência Nacional de Águas, 2005b, p. 82

A chuva média plurianual que ocorre no território é da ordem de 1380 mm/ano ou 10.800 m³/s. Deste total, apenas 30% (3120 m³/s) constituem a vazão média que escoam pelos rios, que durante o período seco; corresponde a 40% (1280 m³/s) do escoamento total. Uma parcela desta vazão média constitui o chamado escoamento básico, isto é, o volume de águas subterrâneas que, na fase terrestre do ciclo hidrológico, mantém o nível de base dos rios. (ROCHA, 2005)

A demanda por água superficial do Estado de São Paulo é da ordem de 350 m³/s assim repartida (ROCHA, 2005):

- abastecimento público: 110 m³/s
- uso industrial: 93 m³/s
- irrigação: 143 m³/s
- uso doméstico rural: 4 m³/s

Segundo dados do DAEE (1999) apud GIAMPÁ, GONÇALES (2005, p. 18), apresenta-se na

Tabela 2.6 - Disponibilidade potencial de águas subterrâneas para o Estado de São Paulo, abaixo, a disponibilidade potencial estimada de águas subterrâneas por UGRHI – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos, ressaltando-se que os valores apresentados se referem apenas para os aquíferos livres, ou seja, aqueles que se localizam mais próximos à superfície, não tendo sido consideradas as reservas que se encontram nas “camadas” aquíferas confinadas, como é o caso do Sistema Guarani, que apresenta reservas disponíveis de cerca de 152 m³/s, somente na sua porção paulista. (GIAMPÁ, GONÇALES, 2005, p. 17)

Tabela 2.6 - Disponibilidade potencial de águas subterrâneas para o Estado de São Paulo

UGRHI	DISPONIBILIDADE (m ³ /s)
01 - Mantiqueira	2,0
02 - Paraíba do Sul	20,1
03 - Litoral Norte	8,2
04 - Pardo	10,0
05 - Piracicaba/ Capivari/ Jundiaí	24,0
06 - Alto Tietê	19,1
07 - Baixada Santista	15,0
08 - Sapucaí/Grande	10,8
09 - Mogi-Guaçu	16,8
10 - Tietê/Sorocaba	7,8
11 - Ribeira de Iguape/Litoral Sul	57,9
12 - Baixo Pardo/Grande	11,0
13 - Tietê/Jacaré	12,9
14 - Alto Paranapanema	25,0
15 - Turvo/Grande	10,5
16 - Tietê/Batalha	10,0
17 - Médio Paranapanema	20,7
18 - São José dos Dourados	4,4
19 - Baixo Tietê	12,2
20 - Aguapeí	10,9
21 - Peixe	11,6
22 - Pontal do Paranapanema	15,2
Subtotal	336,1
Sistema Aquífero Guarani, confinado	152
Estado de São Paulo	488,1

Fonte: DAEE (1999) apud GIAMPÁ, GONÇALES, 2005, p. 18

Nota-se na

Tabela 2.6 - Disponibilidade potencial de águas subterrâneas para o Estado de São Paulo, que na Bacia do Alto Tietê, onde está inserida a RMSP – Região Metropolitana da Cidade de São Paulo, originalmente há 19,1 m³/s de disponibilidade, o que é muito aquém da necessidade de suprimento para esta região com eleva densidade populacional. Mesmo somando-se a disponibilidade hídrica superficial e subterrânea’ não há atendimento da demanda, caracterizando-se assim a crise hídrica inerente à elevada população e sua

respectiva demanda por recursos hídricos. Faz-se, portanto, necessário importar água de outras sub-bacias.

Chang (2001) menciona o cadastro de 930 poços no SAG, realizado com vistas a uma estimativa preliminar do uso atual do aquífero. Observa-se uma distribuição desigual dos poços, sendo que o estado de São Paulo tem 508 (54,6%), enquanto o estado de Goiás apresentou apenas dois poços. Em termos volumétricos, São Paulo extrai quase 2/3 da produção atual. O consumo atual estimado era de cerca de 0,5 km³/ano no ano de 2005. (Agência Nacional de Águas, 2005b, p. 83)

As águas subterrâneas bombeadas de 12 mil poços, 70% das quais são ilegais, garantem a integridade do abastecimento de água da bacia do Alto Tietê, onde está localizada a cidade de São Paulo (Hirata et al., 2002, ANA 2005a, b). (HIRATA, CONICELLI, 2012, p. 298)

Figura 2.14 - Impacto do bombeamento excessivo de água subterrânea e depleção dos níveis potenciométricos de água subterrânea

Fonte: Adaptado de College of Alameda Physical Geography apud PERLMAN, USGS, 2017

Hirata (1993) teve enfoque na discussão das modernas exigências ambientais na proteção dos recursos hídricos subterrâneos, indicando a superexploração como um dos problemas que afetam as disponibilidades hídricas subterrâneas.

Dentre os efeitos negativos da superexploração, destacados por Hirata (1993) e Perlman e USGS (2017), conforme ilustra a Figura 2.14 - Impacto do bombeamento excessivo de água subterrânea e depleção dos níveis potenciométricos de água subterrânea, estão: a diminuição no rendimento dos poços; ou grandes aumentos nos custos de bombeamento, subsidência do solo, secamento de poços, intrusão salina, depleção do nível de água subterrânea.

Hirata (1993) apud Simonato (2013) apresentou o caso da cidade de Lima, no Peru, retratando a diminuição da eficiência do consumo energético em poços, de 0,7 a 0,9 kWh/m³, em um período de 10 anos, provocada por rebaixamentos dos níveis potenciométricos de até 40m, no mesmo período.

Os aquíferos desempenham duas diferentes funções: a de reservação e a de condução da água. Assim, os poros, em seu conjunto, se comportam ora como um reservatório, ora como um conduto que transporta a água entre dois pontos submetidos a um gradiente hidráulico. A água contida num aquífero se desloca, conseqüentemente, em condições de escoamento hidráulico semelhantes às de um “reservatório em marcha”. A eficiência de um aquífero como fonte de suprimento de água depende de propriedades intimamente ligadas às duas funções que ele desempenha. As propriedades relacionadas com a capacidade de reservação são a porosidade e a produção específica (ou suprimento específico), enquanto que as propriedades associadas à função de condução da água são a condutividade hidráulica (ou permeabilidade) e a transmissividade. (BARBOSA JR., 2000)

A depleção do nível de água subterrânea é causada pelo seu bombeamento excessivo além das potencialidades e disponibilidades hídricas da região. Alguns dos efeitos negativos são: secagem de poços, redução de água em córregos e lagos, deterioração da qualidade da água, aumento dos custos de bombeamento, subsidência de terra (PERLMAN, USGS, 2017)

A consequência mais grave do bombeamento excessivo de água subterrânea é que o lençol freático, abaixo do qual o solo está saturado com água, pode ser reduzido. Para que a água seja retirada do solo, a água deve ser bombeada de um poço que chegue abaixo do lençol freático. Se os níveis da água subterrânea declinarem demasiadamente, então o proprietário do poço deverá aprofundar o poço, perfurar um poço novo ou, ao menos, tentar rebaixar o nível da bomba. Além disso, à medida que os níveis de água diminuem, a taxa de água que o poço pode produzir pode diminuir também. (PERLMAN, USGS, 2017)

Com a depleção do nível de água subterrânea, a profundidade da água aumenta, e por este motivo, ela deve vencer um maior desnível para chegar à superfície terrestre. O bombeamento requer mais energia para o funcionamento da bomba. Usar o poço pode se tornar proibitivamente caro. A Figura 2.15 ilustra as perdas crescentes no bombeamento, conforme se rebaixa o nível do lençol freático, devido à exploração de água subterrânea e também devido a períodos secos do ano e o aumento com gastos de energia. (PERLMAN, USGS, 2017)

Figura 2.15 - Perdas crescentes no bombeamento conforme as condições do aquífero

Fonte: GRANT, 2015

O bombeamento produz as depressões do nível d'água do aquífero (ou da superfície piezométrica, em caso de artesianos), constituindo o chamado “cone de depressão”. O raio desse cone, denominado raio de influência, é uma função da vazão de bombeamento, e também varia com o tempo de bombeamento. O raio de influência, bem como a depressão de nível, cresce com o tempo de bombeamento, em taxas decrescentes, até que a capacidade de recarregamento do aquífero se equilibre com a vazão de bombeamento. (BARBOSA JR., 2000)

A redução de água em córregos e lagos é outra causa apontada por Perlman e USGS (2017) para a depleção dos níveis de águas subterrâneas. Há muitas interações entre a água em lagos e rios e águas subterrâneas, pois grande parcela da água que flui nos rios é proveniente de infiltração de água subterrânea no leito destes corpos hídricos. As águas subterrâneas contribuem para as vazões na maioria dos cenários fisiográficos e climáticos. A proporção de água superficial provenientes da água subterrânea varia de acordo com a geografia, a geologia, e o clima de uma região. O bombeamento das águas subterrâneas pode alterar a forma como a água se move entre um aquífero e um córrego, lago ou zona húmida, quer interceptando o fluxo de água subterrânea que descarrega para o corpo de água de superfície em condições naturais, quer aumentando a taxa de movimento da água do corpo de água superficial para um aquífero. Um efeito relacionado ao bombeamento de águas subterrâneas é a diminuição dos níveis de águas subterrâneas abaixo da profundidade que a vegetação do córrego ou das zonas húmidas necessita para sobreviver. O efeito global é uma perda de vegetação ripária e habitat de vida selvagem. (PERLMAN, USGS, 2017)

Perlman e USGS (2017) também abordam a subsidência do solo. A causa básica da subsidência do solo é uma perda de sustentação abaixo da terra. Em outras palavras, às vezes, quando a água é retirada do solo, o solo colapsa, compacta e cai. Isso depende de uma série de fatores, como o tipo de solo e rocha abaixo da superfície. O afundamento da terra é mais frequentemente causado por atividades humanas, principalmente pela remoção de água subterrânea. (PERLMAN, USGS, 2017)

A deterioração da qualidade da água através da contaminação causada pela intrusão de água salgada é considerada uma ameaça à qualidade da água para abastecimento de água subterrânea. Grande parte da água subterrânea muito profunda e água abaixo dos oceanos é salina e estima-se que existam 12,9 quilômetros cúbicos de água subterrânea salina em comparação com cerca de 10,5 milhões de quilômetros cúbicos de água subterrânea fresca (Gleick, PH, 1996).apud Perlman e USGS (2017). Sob condições naturais, a fronteira entre água doce e água salgada tende a ser relativamente estável, mas o bombeamento pode fazer com que a água salgada migre para o interior e para cima, resultando em contaminação do abastecimento de água salgada. (PERLMAN, USGS, 2017)

2.2.1 Crise hídrica de 2014

Os desastres são resultado de interações complexas entre forças naturais e sociais, agindo em múltiplas escalas do individual e comunitário até o nível organizacional, nacional e internacional. O planejamento efetivo de desastres, bem como suas repostas e recuperação, requerem um entendimento destes fatores e organização. (ALLEN, DOWTY BEECH, 2013) Quanto à natureza, os desastres naturais podem ser classificados como: biológicos, geofísicos, climatológicos (por exemplo, secas), hidrológicos e meteorológicos. (SAITO, 2008)

De acordo com o relatório do CEMADEN, ocorreu a formação de zona de alta pressão atmosférica a 6.000 metros de altitude, que bloqueou a chegada das frentes da Amazônia, da Zona de Convergência do Atlântico Sul e das frentes frias do Polo Sul, alterando a dinâmica da região Sudeste do Brasil, caracterizada pela ausência das chuvas de primavera e verão de 2013/2014. (SABESP, 2015)

A Crise Hídrica de 2014 acarretou uma mudança de paradigma, uma vez que, até então, os registros indicavam que o ano de 1953 havia sido o mais crítico da história, quando se registrou uma vazão média de 24,6 m³/s, mais que o dobro do observado em 2014. (SABESP, 2015)

O enfrentamento de uma crise hídrica, dependendo da abrangência e da profundidade, exige planejamento não apenas da companhia de água e saneamento, mas também de diversas instituições, particularmente das prefeituras e das entidades gestoras de recursos hídricos. É preciso que haja ação coordenada para mitigar os efeitos da seca, principalmente sobre os mais desprotegidos, sem pretensão de que a sociedade possa funcionar normalmente enquanto os estoques de água nos mananciais se mantiverem anormalmente baixos. Por essa razão, foi criado o Comitê de Crise Hídrica no Âmbito da Região Metropolitana de São Paulo (Decreto Estadual nº 61.101 de 03/02/2015). (SABESP, 2015)

A crise hídrica de 2014 foi detectada tanto nos mananciais superficiais quanto subterrâneos. O nível do aquífero Bauru baixou de seis a sete metros na região de São Carlos durante a crise hídrica de 2014, o que não impactou o abastecimento de água da região. (WENDLAND, 22 ago. 2014) E, normalmente os poços tubulares profundos perfurados para a captação de água do aquífero Bauru podem ter profundidades variando desde 100 metros em São Carlos até 1.800 metros em Presidente Prudente, produzindo vazões entre 10 até 1.000 m³/hora, com água geralmente potável e com temperaturas que podem ultrapassar 60 graus Celsius. (GIAMPÁ, GONÇALES, 2005, p. 16)

2.2.2 Crise hídrica de 2014 na Região Metropolitana de São Paulo

No período do ano hidrológico de outubro de 2013 a fevereiro de 2014 ocorreram 444mm de chuvas na região do Sistema Cantareira, um dos sistemas responsáveis pelo abastecimento público da RMSP, Região Metropolitana de São Paulo, quando a média é de 995mm, isto é, a precipitação do período para a região foi 55 % menor que a média. A estiagem de 2014 foi um evento excepcional, sem precedentes na longa série histórica de observações. A vazão média afluyente aos reservatórios do Sistema Cantareira no ano de 2014 foi a menor da série de 85 anos (SABESP, 2015)

A vazão média de 2014 (11,3 m³/s) foi cerca de ¼ da média anual (44,1 m³/s). Comparando-se mês a mês, entre fevereiro/2014 e janeiro/2015, foram registradas as menores vazões de toda a série. Ou seja, em nenhum ano anterior haviam sido observadas afluições ao Cantareira tão baixas como o ocorrido ao longo de 2014. (SABESP, 2015)

Figura 2.16 - Sistema Cantareira durante crise hídrica com bombeamento emergencial em janeiro de 2015

Fonte: CARVALHO, 15 jan. 2015

Durante a crise hídrica na Região Metropolitana da Cidade de São Paulo, que é abastecida em parte pelo Sistema Cantareira, os reservatórios chegaram a níveis tão baixos que foi necessária a instalação de bombas de recalque, para a elevação de água do volume morto, conforme se pode observar na Figura 2.16 - Sistema Cantareira durante crise hídrica com bombeamento emergencial em janeiro de 2015.

2.3 Mapa da quantidade energia elétrica

Um mapa da quantidade de energia utilizada no bombeamento de águas subterrâneas é de extrema importância para pautar as ações de sustentabilidade vindouras. Segundo a Agência Nacional de Águas (2010a, p. 38), as vazões atualmente exploradas dos mananciais subterrâneos são da ordem de 90 m³/s.

A grande maioria das fontes de abastecimento de águas subterrâneas (com exceção das nascentes e poços artesianos transbordantes) requer uma energia considerável para bombeamento, porém, ainda assim, esta necessita de uma quantidade menor de energia para tratamento, do que aquela quantidade utilizada para tratar águas as fontes superficiais. (GRANT, 2015)

A despesa com energia elétrica está entre os maiores itens de despesa das empresas de saneamento. Segundo Tsutiya (1997) apud Simonato (2013) as despesas com energia elétrica representavam 8% do total de despesas da Companhia de Saneamento Básico do Estado de

São Paulo (Sabesp). Os sistemas operacionais de água e esgotos eram responsáveis por 98% do consumo de energia elétrica. (SIMONATO, 2013)

Os investimentos para captação da água subterrânea, tratamento e operação do sistema proporcionam retorno financeiro, enquanto que o custo do tratamento das águas superficiais, feito pelas concessionárias se tornou alto e crescente, devido à degradação dos mananciais, conforme ilustra a Tabela 2.7 - Custos internacionais da água (não inclusos seu transporte). (NASCIMENTO, 2014)

Tabela 2.7 - Custos internacionais da água (não inclusos seu transporte)

TECNOLOGIAS	CUSTOS / US\$ por mil m ³
CAPTAÇÃO DE RIOS - Só armazenamento	\$ 123 a \$ 246
OSMOSE REVERSA - Água Salobra	\$ 120 a \$ 397
ELETRODIÁLISE	\$ 276 a \$ 537
REUSO DE ESGOTO DOMÉSTICO	\$ 200 a \$ 485
CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA - Poços Tubulares	\$ 80 A \$ 88

Fonte: Rebouças et. al. 2002 apud (GIAMPÁ, GONÇALES, 2005, p. 25)

O bombeamento de água subterrânea pode ser um componente importante da demanda nacional e local de energia e precisa ser avaliado em políticas relacionadas ao setor de energia. A Índia tem mais de 10 Mha de terras agrícolas sob irrigação subterrânea, das quais 70% usam bombas de motor elétrico, consumindo um colossal 87 TWh. Os restantes 30% são irrigados com bombas de poço de água alimentadas a diesel. (GRANT, 2015)

O consumo de energia elétrica no Brasil, em 2016, foi de 460.001 Gigawatt-hora (GWh) (EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2017).

Trabalhos no estão sendo realizados no Brasil, como por exemplo, a análise do consumo de energia elétrica no bombeamento de poços existentes no município de São José do Rio Preto – SP, visando à avaliação da ocorrência de custos extras de energia (externalidades) provocados pelo modelo de intensa exploração das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru, na zona urbana do município. (SIMONATO, 2013)

Mais de dois por cento do consumo total de energia elétrica do Brasil, o equivalente a 8,3 bilhões de kWh/ano, eram consumidos nos processos de abastecimento de água e esgotamento sanitário, pelos prestadores de serviços de saneamento em todo o país, totalizando despesas da ordem de R\$ 1,5 bilhão em 2008 (Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental – ReCESA, 2008). Os conjuntos motobombas utilizados nas elevatórias de água superficial e esgoto são responsáveis por cerca

de 90% do consumo de energia elétrica das companhias de saneamento (TSUTIYA, 1997; TSUTIYA; DAVID (2005) apud Simonato (2013))

As perdas de água têm relação direta com o consumo de energia, pois é necessário cerca de 0,6 kWh para produzir 1m³ de água potável. Isso mostra que eficiência hidráulica e a eficiência energética são fundamentais para o bom gerenciamento dos sistemas de abastecimento de água. (Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental – ReCESA, 2008).

Figura 2.17 - Municípios de abastecimento exclusivo por águas subterrâneas no Brasil

Fonte: Agência Nacional de Águas, 2010a, p. 35

Tabela 2.8 - Tipos de abastecimento nos municípios brasileiros

SEDES URBANAS ABASTECIDAS POR TIPO DE MANANCIAL						
Região Geográfica	Estados	Tipo de Abastecimento			Sem Informação	Total de Municípios na UF
		Misto	Subterrâneo	Superficial		
Norte	AC	2	4	16	0	22
	AM	8	44	10	0	62
	AP	2	4	10	0	16
	PA	13	108	21	1	143
	RO	5	10	37	0	52
	RR	5	9	1	0	15
	TO	10	84	45	0	139
	Sub-total	45	263	140	1	449
Nordeste	AL	11	16	75	0	102
	BA	32	78	307	0	417
	CE	12	64	108	0	184
	MA	11	158	43	5	217
	PB	17	34	165	7	223
	PE	14	17	153	1	185
	PI	8	174	40	2	224
	RN	3	76	85	3	167
	SE	8	20	47	0	75
	Sub-total	116	637	1023	18	1794
Centro-Oeste	DF	1	0	0	0	1
	GO	38	56	152	0	246
	MS	8	62	8	0	78
	MT	20	58	61	2	141
	Sub-total	67	176	221	2	466
Sudeste	ES	7	0	71	0	78
	MG	171	170	512	0	853
	RJ	11	1	77	3	92
	SP	126	331	184	4	645
	Sub-total	315	502	844	7	1668
Sul	PR	89	221	86	3	399
	RS	67	286	134	9	496
	SC	58	68	165	2	293
	Sub-total	214	575	385	14	1188
Total Brasil		757	2.153	2.614	41	5.565

Fonte: (Agência Nacional de Águas, 2010a, p. 36)

No estado de São Paulo; conforme ilustra a Figura 2.18 - Demanda hídrica por município do Estado de São Paulo, os principais sistemas aquíferos explorados estão situados na Bacia do Paraná. Dos 645 municípios, 462 (71,6%) são abastecidos total ou parcialmente com águas subterrâneas, sendo que 308 (47,7%) são totalmente abastecidos por este recurso hídrico. No estado, cerca de 5.500.000 pessoas são abastecidas diariamente por águas subterrâneas (Silva *et al.*, 1998).

Figura 2.18 - Demanda hídrica por município do Estado de São Paulo

Fonte: DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, UNESP, Governo do Estado de São Paulo, 2013

Especificamente para a Bacia Hidrográfica do Alto Tietê - BHAT, no estado de São Paulo, a partir do banco de dados do DAEE (2.013), foram encontradas 7.776 outorgas para a captação subterrânea de águas profundas, por meio de poços tubulares. Verificou-se que as vazões captadas até 5 m³/dia equivalem a 9,5% das outorgas na BHAT. A maior quantidade das outorgas (85,3%) apresenta vazões entre 5,01 a 10.000 m³/dia (FABHAT - Fundação Agência da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê)

Para serem consideradas isentas de outorga as extrações de águas subterrâneas e as derivações ou captações de águas superficiais, bem como os lançamentos de efluentes em corpos d'água, não podem ultrapassar o volume de 5 (cinco) metros cúbicos por dia, isoladamente ou em conjunto. (FABHAT - Fundação Agência da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê)

Um dos maiores problemas da BHAT é o desconhecimento das extrações totais que ocorrem em seus aquíferos. Alguns autores (FUSP, 2009) advogam que na região haja mais de 12 mil poços tubulares, mas os cadastros de poços do órgão regulador contemplam menos de 5 mil poços. Assim, independentemente da precisão, é aceito que o nível de exploração irregular sobrepasse em mais de 50% os regulares ou conhecidos. Considerando as medianas das vazões dos poços cadastrados (aqueles que tenham essa informação) em 3 m³/h e o total de 12 mil poços existentes na BHAT, a vazão total extraída deve superar a 10 m³/s. Verifica-

se que a soma das vazões outorgáveis dos poços localizados na BHAT é 4,3 Mm³/mês. A maioria dos poços encontra-se entre 100 e 300 metros de profundidade. (FABHAT - Fundação Agência da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê)

Tsutiya (2001) informa que as despesas com energia elétrica representam o segundo ou terceiro item de custo mais importante nas empresas de saneamento brasileiras e, citando HAGUIUDA et al (1996), indica que na SABESP o consumo de energia elétrica em motores representa 90% do total. Esse autor também menciona o fenômeno do artesianismo em poços tubulares, minimiza o assunto e não analisa de forma adequada os respectivos sistemas de bombeamento. O texto faz uma análise abrangente das alternativas existentes para redução do custo de energia elétrica, que são resumidas e agrupadas da seguinte forma:

1. Redução do custo sem diminuição do consumo de energia: adequação do sistema tarifário; regularização do contrato de demanda; desativação de instalações sem uso; conferência da medição de consumo; correção do fator de potência; alteração da tensão de alimentação e melhoria do fator de carga;

2. Redução do custo pela diminuição do consumo de energia: redução das perdas de carga na tubulação; redução do volume de água bombeada; melhoria do rendimento dos conjuntos motor-bomba;

3. Redução do custo pela alteração do sistema operacional: alteração do sistema bombeamento / reservação e utilização de variadores de rotação das bombas;

4. Redução do custo pela automação do sistema de abastecimento de água; e

5. Redução do custo com a geração de energia elétrica: aproveitamento de potenciais energéticos e uso de geradores em horários de ponta.

2.4 Modelo de utilização energética

A configuração de um modelo de otimização energética capaz de calcular os custos da escassez e representar a topologia do sistema reveste-se de importância para a garantia da segurança hídrica e energética e redução de custos no saneamento.

O “Custo do Déficit”. Trata-se de uma estimativa do valor econômico de um bem não econômico: a segurança do suprimento. A metodologia que atualmente embasa este cálculo no Brasil será descrita, ressaltando-se as suas vantagens e desvantagens. Na sequência apresentaremos uma metodologia alternativa, já amplamente utilizada internacionalmente e que tem por base os estudos desenvolvidos por Lawton et al. (2003) e Mercurio et al. (2009).

Estes trabalhos fazem uso de sondagens com consumidores residenciais e setores da indústria e serviços, visando à obtenção da chamada função “Custo do Consumidor”, apresentada mais adiante neste trabalho. Esta função, dentro da metodologia em questão, e que permite estimar o valor da escassez para a eletricidade, possibilitando, num passo posterior, a implementação de programas de resposta da demanda. (DUTRA, GONÇALVES, SANCHES, 2014)

Medir a sustentabilidade de regiões, instituições, produtos, etc. sempre depende da definição de padrões a serem alcançados e dos meios para medir – são sempre discutíveis e por isso demandam construções participativas e abertas (DUARTE, 2016)

Perroni (2005) apud Simonato (2013) avaliou um elenco de 21 poços produtores dos sistemas de abastecimento público do município de São Carlos que explotavam o Sistema Aquífero Guarani e/ou o Aquífero Serra Geral. Através da aplicação da equação geral de cálculo de potencia consumida, o referido autor avaliou o rendimento dos sistemas de bombeamento em cada um dos poços e definiu estratégias e adequações com foco no aumento da eficiência. Para tanto, foi utilizado como indicador de eficiência o fator da relação de custo da energia elétrica consumida por volume unitário produzido (R\$/m³), sendo denominado pelo autor de custo unitário de produção de água subterrânea. O autor utilizou o método de fixar o rendimento eletromecânico do sistema de bombeamento em 65% para determinar os ganhos financeiros com as reduções no consumo de energia.

Perroni e Wendland (2006) apud Simonato (2013) revisitaram os dados do trabalho citado acima e demonstraram que a eficiência energética variou de R\$ 0,10/m³ a R\$ 0,43/m³, com média de R\$ 0,17/m³, e o rendimento eletromecânico variou de 36% a 55%, com média de 43%, para um elenco de 16 poços de abastecimento público avaliados. Neste trabalho, também constataram a correlação inversa entre o rendimento do sistema e os valores de custo unitário de produção.

2.5 Desenvolvimento sustentável e eficiência energética

O desenvolvimento sustentável está fortemente relacionado à eficiência energética. Segundo UN-Habitat e ICLEI – Local Governments for Sustainability (2009), as vantagens do desenvolvimento sustentável são:

- Compatibilidade com os objetivos da cidade
- Apoio aos caminhos de crescimento da cidade
- Benefícios sociais

-
- Eficiência energética
 - Redução de emissões de carbono
 - Melhoria da qualidade do ar local
 - Desenvolvimento econômico local
 - Criação de emprego
 - Contribuição para a segurança energética (redução da procura de energia, aumento da diversidade da oferta energética)
 - Custos de implementação do programa
 - Disponibilidade de financiamento
 - Disponibilidade de dados
 - Potencial de replicação de programas (UN-Habitat, ICLEI – Local Governments for Sustainability, 2009, p. 23)

No Anexo 7.2 - Principais medidas de eficiência energética, disponível na página 91, estão listadas as principais estratégias para a obtenção de eficiência energética.

Os princípios de sustentabilidade segundo GIBSON (2014) apud Morrison-Saunders, Pope, Bond (2015) são -

- Integridade do sistema socioecológico
- Recursos suficientes para subsistência e acesso a oportunidades
- Equidade intrageracional e intergeracional
- Manutenção de recursos naturais e eficiência
- Civildade socioambiental e governança democrática
- Precaução e adaptação
- Integração entre situação atual e de longo prazo

O consumo de eletricidade também aumenta sua participação na matriz de consumo energético industrial, a despeito da taxa menos acelerada de expansão de segmentos eletrointensivos tais como a produção de alumínio e de soda-cloro. Um efeito que contribui para aumentar a participação da energia elétrica do Brasil são os maiores ganhos de eficiência energética no uso térmico, o que reduz o peso dos combustíveis na matriz energética. Dessa forma, estima-se que a eletricidade saia dos atuais 20% do consumo industrial e atinja aproximadamente 22% em 2050, com cerca de 520 TWh consumidos ao final do período em

estudo, sendo parte suprida pela rede elétrica e o restante através de autoprodução. (EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2014)

Mais recentemente, a busca pela eficiência energética ganhou nova motivação. Em adição à perspectiva de custos mais elevados da energia de origem fóssil, a preocupação com a questão das mudanças climáticas decorrentes do aquecimento global do planeta, aquecimento este atribuído, em grande medida, à produção e ao consumo de energia, trouxe argumentos novos e definitivos que justificam destacar a eficiência energética quando se analisa em perspectiva a oferta e o consumo de energia. Essa preocupação se justifica mesmo em um país como o Brasil, que apresenta uma matriz energética em que quase metade está associada a energias renováveis. (EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2014)

Há diferentes dinâmicas para penetração dos ganhos de eficiência energética estimados no horizonte de longo prazo, que se compõem, basicamente, de duas parcelas distintas:

- A primeira delas denomina-se progresso tendencial, e corresponde ao movimento tendencial do consumidor final de energia, que inclui contribuições tais como a reposição tecnológica natural devido ao término da vida útil de equipamentos, os efeitos de políticas, programas e ações de conservação já em prática no país. Pode-se dizer que corresponde a uma trajetória do tipo “business-as-usual”;
- A segunda parcela de contribuição denomina-se progresso induzido, necessitando da instituição de programas e ações adicionais orientados para o incentivo à eficiência energética, sejam de caráter transversal, sejam voltados para setores específicos. Essa parcela relaciona-se, fundamentalmente, à ação de políticas públicas neste campo, que se encontra em estágio de estudos para implantação no horizonte decenal, por exemplo. (EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2014, p. 161)

Figura 2.19 - Evolução da demanda total de energia por fontes até 2050, Brasil

Fonte: EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2014

Elementos-chave de um sistema sustentável, segundo a UN-Habitat e ICLEI – Local Governments for Sustainability (2009):

- Consistente: as ações de curto prazo são compatíveis com metas de longo prazo e a viabilidade do sistema
 - Renovável: o sistema depende de recursos renováveis e opera usando tecnologias ambientalmente benignas
 - Diverso: quanto mais diverso e apropriado seu sistema, mais capaz é adaptar mudar
 - Inclusivo: todos os elementos do sistema são valorizados e usados para o bem das partes individuais e do todo
 - Interdependente: cada elemento do sistema é dependente e dependente de vários outros elementos; Quanto maior a interconexão, mais forte o sistema.
- (UN-Habitat, ICLEI – Local Governments for Sustainability, 2009, p. 24)

A configuração de um modelo de otimização energética capaz de calcular os custos da escassez e representar a topologia do sistema se faz necessária para melhor propor ações de eficiência e tomar decisões.

A maior parte do consumo de energia é feita por poços de água de irrigação (e isso representa cerca de 15% do consumo global de energia), mas também representa um

problema significativo para as empresas públicas de abastecimento de água. Os avanços na tecnologia de bombeamento só podem gerar ganhos marginais de eficiência - uma vez que a maior parte da energia é usada para elevar uma determinada massa de água contra um determinado elevador. No entanto, a concepção melhorada do poço de água pode reduzir significativamente as perdas de carga e uma distribuição racional dos poços de água num campo de poços pode otimizar a extração total necessária para um dado rendimento. (GRANT, 2015)

A intensidade de energética da maioria dos países industrializados está diminuindo. Enquanto que a intensidade energética dos países em desenvolvimento está aumentando e é geralmente menor do que nos países industrializados (GOLDEMBERG, LUCON, 2008, p. 85)

Os projetos hidroenergéticos mais recentes são entendidos como uma integração mais exigente e mais sofisticada em todas as disciplinas, bem como são considerados os usos múltiplos da água, melhores oportunidades de utilização de recursos hídricos e energéticos; considerados também os *stakeholders* (locais e internacionais), empréstimos, reformas e capacitação segundo Saghir (2004) apud World Bank (2012). A mais moderna ênfase envolve mais projetos que abordam o abastecimento de água e a segurança energética. Esses projetos de hidroenergéticos multipropósito, além de fornecer energia elétrica, também servem para outras utilizações de recursos hídricos, como irrigação, proteção contra inundações ou abastecimento de água para pessoas ou indústria. (World Bank, 2012, p. 26)

De acordo com MME (2017), devido a configuração do sistema de produção de energia no Brasil, sendo 64% hidroelétrico, uma crescente participação de outras parcelas renováveis e uma redução das parcelas não-renováveis, para o ano de 2016 as emissões brasileiras, relacionadas à energia consumida ficaram no valor de 1,48 tCO₂/tep. Estas emissões são bem menores do que a média mundial, de 2,34 tC/tep, e dos países desenvolvidos, de 2,23 tC/tep.

2.6 Sustentabilidade no campus

O campus principal da Universidade de São Paulo, localizado no lado oeste da maior cidade do Brasil, tem desde 1998 o monitoramento da demanda de água. O campus é nomeado CUASO (Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira).

O CUASO foi escolhido como o local de estudo de caso pelo motivo de ter estado no centro do cenário de crise hídrica que se abateu na região no ano de 2014.

Criada pela Portaria GR-6.632, de 3/3/2015, o Programa Permanente de Uso Eficiente de Recursos de Água e Energia na USP (PUERHE-USP), que unificou o trabalho já realizado pelo PURA (Programa Permanente para o Eficiente Uso de Água) e PURE (Programa Permanente de Uso Eficiente de Energia), que funcionaram separadamente desde 1997, tem como objetivo implementar um conjunto de medidas que visam incentivar e promover a gestão do uso de água e eletricidade em todas as instalações da Universidade através de ações de natureza tecnológica e comportamental (USP - Universidade de São Paulo, 2015).

Para economizar água, são realizadas inspeções para prevenir e corrigir vazamentos imediatamente após a detecção, monitorando o consumo de água das unidades e seus edifícios; instalação de modelos de torneiras e sanitários; manutenção e regulação de equipamentos sanitários.

Na área de energia, existem reformas de sistemas de iluminação que visam o uso de lâmpadas econômicas e luminárias de alta eficiência, campanhas de desligamento de iluminação e ar condicionado em momentos em que não são utilizados; gestão de contratos e faturas buscando encontrar a melhor relação custo / benefício com as concessionárias de energia; sistema de monitoramento on-line do consumo de energia no campus; e desenvolvimento de novas especificações que seguem os padrões de eficiência energética (USP - Universidade de São Paulo, 2015).

Figura 2.20 - Evolução do consumo e das despesas com energia elétrica na Universidade de São Paulo entre 2010 e 2014

Fonte: USP - Universidade de São Paulo, 2017

Durante a crise hídrica de 2014, foi considerado reativar os poços de águas subterrâneas da USP (Jornal do Campus, 2015). Dos seis poços, cinco poços existentes são mostrados na Figura 2.21 - Poços de água da Cidade Universitária USP e na Figura 2.22 - Poço 3 e Poço 2 da Cidade Universitária da USP, três deles seriam reativados. Os testes foram realizados, mas os poços precisam ser utilizados pelo DAEE, Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, de acordo com a legislação brasileira, e esse processo burocrático dura desde 2015, mais de dois anos, de modo que não foi possível reativar os poços no auge da crise da água em 2014 e ainda não estão ativados por falta de outorga de uso (COSTA, 22 mai. 2017).

Figura 2.21 - Poços de água da Cidade Universitária USP

Fonte: Lepinski, A. apud Jornal do Campus, 2015

Figura 2.22 - Poço 3 e Poço 2 da Cidade Universitária da USP

Fonte: Jornal do Campus, 2015

Há, entretanto, contraste de informação, visto que o Jornal do Campus admite em 2015 que, durante a crise hídrica, o projeto Campus Sustentável reativou os poços existentes no Campus CUASO da Cidade Universitária da USP (Jornal do Campus, 2015).

2.7 Cenários futuros

Em 2050, o mundo que vivenciaremos possivelmente nos apresentará uma realidade bastante distinta da que atualmente conhecemos, e em todos os campos, seja ele social, econômico, energético e ambiental, entre outros. Basta recuarmos trinta anos atrás para constataremos o quanto se evoluiu do ponto de vista tecnológico, para concluirmos que muitas transformações ocorrerão até 2050. (EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2014)

Nesse contexto, o exercício de cenarizar o futuro é, por certo, bastante desafiador para o planejador energético, mas absolutamente imperativo e essencial ser realizado, uma vez que, pelas características intrínsecas do setor energético, as decisões precisam ser tomadas com bastante antecipação, de modo que as condições adequadas estejam presentes para incentivar que determinadas opções estejam disponíveis para a sociedade no momento em que for preciso. (EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2014)

À medida que as sociedades se tornam mais ricas, há uma migração para uma produção menos intensiva em recursos naturais, mais eficientes e com maior capacidade tecnológica. (GOLDEMBERG, LUCON, 2008, p. 121–122).

Os cenários são comparados em termos de custo de investimento, redução do consumo de energia e redução da emissão dos gases de efeito estufa. (SAMBITO, PULEO, FRENI, 2015, p. 72)

A eficiência no uso da energia entrou na agenda mundial a partir dos choques no preço do petróleo dos anos 1970, quando ficou claro que o uso das reservas de recursos fósseis teria custos crescentes, seja do ponto de vista econômico, seja do ponto de vista ambiental. Equipamentos e hábitos de consumo passaram a ser analisados em termos da conservação da energia tendo sido demonstrado que, de fato, muitas iniciativas que resultam em maior eficiência energética são economicamente viáveis, ou seja, o custo de sua implantação é menor do que o custo de produzir ou adquirir a energia cujo consumo é evitado. (EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2014)

De acordo com essas estimativas, as ações de eficiência energética contribuirão para reduzir a demanda de energia em aproximadamente 138 milhões de toneladas equivalente de petróleo em 2050. (EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2014, p. 168)

No que se refere à energia, a curva de Kuznets não é um caminho obrigatório, uma vez que as relações entre atividade econômica e os de energia primária são complexas. No processo de desenvolvimento, uma determinada sociedade pode aprender com os erros de outras, saltando etapas (em inglês, *leapfrogging*) e evitando os impactos decorrentes do processo intermediário de maturação. Visualmente, o processo de *leapfrogging* cria uma espécie de "platô" na curva de Kuznets.

Num mesmo nível de renda *per capita*, os países em desenvolvimento possuem hoje melhores oportunidades que tinham os países desenvolvidos no passado. (GOLDEMBERG, LUCON, 2008, p. 98–99) Justamente o desafio de propor cenários esbarra na situação de que o caminho de desenvolvimento de um país no passado não vai ser o mesmo caminho de um no futuro, pelo motivo de que o menos desenvolvido tende a aprender com os erros e acertos.

O pico populacional brasileiro será em 2042, quando a população atingirá a marca de mais de 228 milhões de habitantes. Depois haverá, devido ao envelhecimento populacional e à queda da fecundidade, um decréscimo, sendo que em 2050 a população brasileira será de cerca de 226 milhões de pessoas. (IBGE :: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013)

No horizonte de longo prazo, o cenário de crescimento da economia brasileira, da resolução de gargalos de infraestrutura, da mobilidade social, e o acesso a bens e serviços mais elaborados decorrente da melhoria da qualidade geral de vida da população, entre outros, leva à necessidade de aumento de consumo médio per capita de energia da população brasileira que, reconhecidamente usufrui de níveis menores de consumo de bens e serviços

comparativamente aos países desenvolvidos atualmente. Reconhecendo esse fato, contudo, o Brasil não precisa reproduzir exatamente as trajetórias observadas de evolução de padrões de consumo e, nesse aspecto, será fundamental o papel a ser desempenhado por ações de eficiência energética nesse horizonte. (EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2014)

O horizonte de longo prazo traz especial desafio à estimativa de demanda de energia, dada a diversidade de cenários possíveis, o que é inerente a análises dessa natureza. Tais incertezas se justificam por conta de incertezas ligadas à competitividade de energéticos, às possibilidades de trajetórias tecnológicas, à evolução de infraestrutura e como os usuários de energia responderão a esses possíveis contextos, entre outras. (EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2014)

As águas subterrâneas são fonte de recurso estratégico muito importante para o futuro e sustento da humanidade. Por este motivo deve se acabar com o uso indiscriminado da água subterrânea. É preciso utilizá-la de maneira inteligente e sustentável para garantir sua preservação. Políticas governamentais de proteção, principalmente em áreas de recarga, devem ser estabelecidas, postas em prática e rigorosamente fiscalizadas pelos órgãos competentes. (NASCIMENTO, 2014)

O aumento significativo da busca pela água subterrânea em razão da escassez das chuvas tem se mostrado uma oportunidade de mercado para as empresas do setor. Isso porque, além dos ganhos qualitativos, representa uma opção muito vantajosa. (NASCIMENTO, 2014)

Em dezenas de entrevistas nos Estados Unidos, na Índia, no Peru e em Marrocos, surgiram muitas ideias para soluções potenciais - formas pelas quais as pessoas podem trabalhar para diminuir o excesso de água e impedir que as águas subterrâneas sejam progressivamente esgotadas. Algumas das propostas são simples. Alguns são complicados. Alguns podem ser onerosos. E outros já estão sendo julgados com vários graus de sucesso. USA Today (2017)

Conforme USA Today (2017), cientistas, agricultores, gerentes hídricos, funcionários de governos e outros *steackholders*, compartilham as seguintes sugestões de estratégias para uso eficiente das águas subterrâneas nos EUA, visando a estagnação dos níveis decrescentes dos aquíferos:

- Monitoramento e medição dos parâmetros das águas subterrâneas;
- Avaliação as ameaças;

-
- Envolvimento coletivo, *buy-in*: "contratos de aquífero" e planos de gestão hídrica em longo prazo;
 - Produção alimentos com uso sustentável dos recursos hídricos;
 - Regulamentação e limitação do bombeamento;
 - Precificação da água: conceito "bombeador-pagador";
 - Proteção dos povos e locais mais afetados;
 - Desvinculação dos direitos da água subterrânea dos direitos de propriedade, construindo instituições fortes;
 - Conscientização para uso eficiente dos recursos (USA Today, 2017)

O impacto esperado das alterações climáticas de longo prazo sobre os aquíferos brasileiros para 2050 vai levar a uma severa redução em 70% da recarga nos aquíferos da região Nordeste (comparando aos valores de 2010), variando de 30% a 70% na região Norte.

Os dados referentes às regiões Sul e Sudeste são mais favoráveis, com um aumento nos valores de recarga relativa de 30% a 100%. (HIRATA, CONICELLI, 2012, p. 311)

Outro impacto esperado é o aumento da demanda e a diminuição na disponibilidade de água de superfície que vai fazer a população voltar-se para os aquíferos como sua principal fonte de água para uso público ou privado em muitas regiões do país. Assim, um uso integrado de águas superficiais e subterrâneas deve ser considerado no planejamento do uso da água. (HIRATA, CONICELLI, 2012, p. 311)

A solução da escassez de água é baseada em três fatores: O aumento de conscientização da sociedade, um melhor conhecimento das características hidráulicas e químicas dos aquíferos hidráulicos e químicos e ações eficazes de gestão. (HIRATA, CONICELLI, 2012, p. 311)

A partir de 1 de Janeiro de 2017 todos os motores com potência nominal entre 0,75 e 375 kW não devem possuir níveis de rendimento inferiores a IE3 ou atender a nível IE2 e ser equipados com um inversor de frequência. A diretiva da união europeia 640/2009, baseada na norma 60034-30, é a que estabelece os requisitos “ecodesign” para colocação no mercado dos motores. (Cleto, Alberto Carlos da Costa, 2012)

Índices de desempenho podem ser usados como indicadores do uso da energia em sistemas de irrigação. Estações de bombeamento (EB) são os elementos que demandam energia no processo de irrigação de lavouras de arroz irrigado por inundação convencional. A

associação de grandezas físicas, hidráulicas e elétricas geram índices que determinam o desempenho auxiliando no diagnóstico de EB, tanto em funcionamento, quanto em projetos de novos conjuntos. O trabalho foi conduzido a partir do levantamento de dados de 160 EB em funcionamento, localizadas na fronteira oeste do Rio Grande do Sul, que caracterizou a situação real de campo. Posteriormente, as EB foram otimizadas em relação à seleção de tubulação- usando como critério o menor custo total e escolha da bomba e motor de melhor rendimento para a necessidade de projeto. Os resultados apresentam nove índices e propõem categorias que classificam o desempenho em "excelente", "muito bom", "bom", "ruim" e "muito ruim", permitindo a avaliação de projetos e o diagnóstico de EB. (KÖPP et al., 2016)

Faz-se indispensável a criação de instrumentos de análises para uma gestão econômica, científica e social, mas eficiente dos recursos minerais:

- Elaboração de um inventário dinâmico regional, que inclua as reservas estimadas, reservas provadas, zonas de extração e produção mineral.
- Constituição de modelos analíticos para elaborar taxas de extração dos recursos minerais, correlacionando: níveis de reservas, produção, tendências de demanda regional e mundial e dinâmica dos ciclos tecnológicos.
- São necessárias novas formas de democracia: participativa, inclusiva, que represente os interesses da maioria, que recupere a soberania como princípio de autodeterminação dos povos.
- Medição do impacto ambiental e social da extração e produção para calcular taxas de compensação e estratégias. (BRUCKMANN, 2016)

Sob o ponto de vista da eficiência energética, o impacto de ações neste campo resulta do uso de equipamentos mais eficientes, como também a partir dos hábitos de uso das tecnologias disponíveis.

A penetração de equipamentos mais eficientes é condicionada tanto a partir de uma vertente da oferta destes equipamentos quanto pelo poder de escolha do consumidor final. Sob o ponto de vista da oferta, destaca-se a produção de novos equipamentos com diferentes níveis de serviço final e índices de eficiência energética. Se, por um lado, pode-se induzir a melhoria desses índices ao longo do tempo, através de políticas de eficiência energética, por outro lado, a escolha do consumidor final nem sempre evolui no sentido de utilizar

equipamentos com menor consumo energético. (EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2014)

O atendimento da demanda de energia, a custos sócio, ambiental e economicamente viáveis, é o problema núcleo do planejamento energético e, historicamente, esse problema vem sendo resolvido através da expansão da oferta centralizada de energia. Isso é consequência principalmente das economias de escalas alcançadas com os grandes projetos. (EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2014, p. 202)

A questão da perda de capacidade de investimento do estado, das grandes quantidades de recursos necessários para os grandes projetos centralizados, da introdução do gerenciamento da demanda, da maior concentração populacional em grandes centros urbanos, das fontes renováveis de menores escalas e a integração cada vez maior dos sistemas de energia aumenta a perspectiva de uma maior participação da oferta descentralizada de energia no atendimento da demanda. (EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2014, p. 202)

O problema núcleo do planejamento energético, a definição da oferta viável para o atendimento da demanda, precisa da descrição de mais uma premissa: a oferta descentralizada de energia. (EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2014, p. 202)

A introdução da geração distribuída (GD) no planejamento energético de longo prazo impõe-se como questão essencial. O contexto apresentado de renovação de infraestrutura urbana indica um ambiente favorável para a penetração da GD, principalmente de pequena e média escala. Todavia, a GD de grande escala tende a continuar importante com a expansão de parques industriais, com aumento da eficiência energética, dos custos e em necessidade ao atendimento de questões ambientais cada vez mais restritas. (EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2014, p. 205)

Na ocorrência de um evento de estresse hídrico, a produção de energia elétrica e o bombeamento de águas subterrâneas podem ser afetados, como solução poderá ser adotada a geração fotovoltaica.

No caso da geração distribuída fotovoltaica de pequeno porte, a metodologia empregada busca estimar a penetração desta tecnologia na sociedade brasileira sob a ótica do consumidor final. Entende-se que a decisão pela adoção é formada por diversos fatores, como custos, conhecimento da tecnologia, conscientização ambiental, entre outros, sendo o primeiro deles o que desempenha papel principal. (EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2014, p. 207)

A aferição da viabilidade econômica da geração solar fotovoltaica distribuída é realizada comparando-se, ano a ano, o custo nivelado da geração fotovoltaica e a tarifa final da distribuidora local de energia elétrica, assumindo-se como hipótese a manutenção do valor da tarifa em termos reais ao longo do horizonte, como mostra a Tabela 2.9 - Perspectiva da redução de custos dos sistemas fotovoltaicos (EPE, 2012) (EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2014, p. 208)

Tabela 2.9 - Perspectiva da redução de custos dos sistemas fotovoltaicos

	2013	2020	2030	2040	2050
Residencial	7,0	4,4	3,2	2,7	2,3
Comercial	6,5	4,2	3,0	2,5	2,1
Industrial	6,0	3,4	2,7	2,3	2,0

Fonte: EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2014, p. 208

Figura 2.23 - Evolução do consumo final por fonte de energia

Fonte: Ministério de Minas e Energia, 2015

Figura 2.24 - Oferta interna de energia no Brasil

Fonte: Ministério de Minas e Energia, 2015

Algumas das vantagens do planejamento de ações de energia sustentável, segundo (UN-Habitat, ICLEI – Local Governments for Sustainability):

- Melhorias na qualidade do ar local. As iniciativas de gestão de energia estão entre as ações mais rentáveis que as autoridades locais podem tomar para reduzir a poluição do ar que causa graves problemas ambientais e de saúde dentro das suas cidades.
- Economia financeira. Embora muitas autoridades locais estejam confrontadas com déficits orçamentais, o apelo de poupar dinheiro é muitas vezes o ponto de partida para iniciativas de gestão de energia municipal. A melhoria da eficiência no consumo de energia municipal oferece oportunidades abundantes para reduzir os custos operacionais.
- Novos empregos. Sistemas de energia ineficientes representam importantes oportunidades de investimento na comunidade e tais investimentos estão entre as formas mais eficazes de criar novos empregos. Quando o gerenciamento de energia reduz os gastos com combustível e eletricidade, as economias podem ser re-gastas dentro da comunidade.
- Desenvolvimento econômico local. A própria indústria de gestão de energia é uma indústria em crescimento e sua promoção pode ser um componente efetivo das estratégias de desenvolvimento econômico local na comunidade. Além disso, o grande negócio está cada vez mais considerando a habitabilidade de uma cidade um fator importante para decidir onde localizar - o acesso a bens

urbanos e eficiências de transporte (e, portanto, o desenvolvimento espacial e transporte público) são fundamentais para a criação de cidades habitáveis.

- Novas parcerias. As empresas de serviços públicos, as empresas privadas, as instituições financeiras e os níveis de governo, que não sejam municipais, buscam a gestão da energia por várias razões. Eles reconheceram que os governos urbanos são bem adequados para oferecer o tipo de programas integrados, muitas vezes necessários para alcançar os objetivos de eficiência energética e energias renováveis. (UN-Habitat, ICLEI – Local Governments for Sustainability, 2009, p. 8)

Sambito, Puleo, Freni (2015) analisaram o sistema na situação atual, foram identificados três cenários:

- Cenário a - instalação de turbinas para recuperar a energia de salto de pressão: As turbinas são instaladas a jusante de cada salto de pressão maior que 2 atm (nas entradas de tanques urbanos e na entrada da estação de tratamento);
- Cenário b - substituição de uma parte de tubulação: a substituição do antigo tubo de aço é proposta para reduzir vazamentos e perda de carga nesse sistema; Neste cenário, é introduzido o mesmo número de turbinas que o Cenário 1;
- Cenário c - substituição de bombas antigas por bombas de alta eficiência: as estações de bombeamento têm 30 anos de idade na média e sua eficiência energética está na faixa de 60-70%; Novas bombas e motores podem alcançar eficiências na faixa de 80-85%, reduzindo assim o consumo de energia
- Cenário d - instalação de painéis solares nas áreas disponíveis das estações de tratamento existentes: tal solução não requer nenhuma medida no sistema hidráulico e é uma prática comum para reduzir os custos operacionais de vários gerentes de água na Itália. (SAMBITO, PULEO, FRENI, 2015, p. 72)

O gerenciamento do conjunto de mananciais atualmente explorados para o abastecimento urbano no País, bem como das futuras fontes hídricas propostas no *ATLAS*, exige ações coordenadas, principalmente nos grandes centros urbanos, em regiões de escassez hídrica e nas situações de conflitos pelo uso da água, existentes ou potenciais. (Agência Nacional de Águas, 2010a, p. 61)

No âmbito do *ATLAS*, ANA (2010) aponta vários os exemplos em que o gerenciamento conjunto de recursos já se tornou evidente:

-
- Gestão integrada das águas subterrâneas: 54% das sedes urbanas brasileira dependem, total ou majoritariamente, de fontes hídricas subterrâneas para o abastecimento. O conhecimento hidrogeológico dos principais sistemas aquíferos explorados, em especial no Domínio Poroso (Bauru-Caiuá, Serra Geral e Guarani, no sul-sudeste; Alter do Chão, Parecis e Itapecuru no norte-nordeste, entre outros), bem como o estabelecimento de estratégias de monitoramento e uso sustentáveis, são essenciais para a manutenção dessas fontes como alternativas seguras de abastecimento no futuro;
 - Transposição de bacias hidrográficas e compatibilização de usos múltiplos: a garantia da oferta de água para a RMRJ e RMSP se dá por meio de transferências hídricas entre bacias hidrográficas. O abastecimento de água do Rio de Janeiro depende sobremaneira da transposição Paraíba do Sul/Guandu, cujas regras atuais de operação são estipuladas pela Resolução ANA nº 211/2003, que define as descargas mínimas instantâneas a jusante dos aproveitamentos de Santa Cecília e Pereira Passos (71 m³/s e 120 m³/s, respectivamente). A transposição da bacia dos rios PCJ para a bacia do Alto Tietê, por meio do Sistema Cantareira, garante o abastecimento de, aproximadamente, metade da população da RMSP, revelando a importância das regras de operação do conjunto de reservatórios, estabelecidas pela ANA e DAEE/SP, e do processo de renovação da outorga, prevista para 2014. As novas alternativas para o abastecimento da RMSP, avaliadas no âmbito do Plano Diretor de Aproveitamento de Recursos Hídricos para a Macrometrópole Paulista, também demandam decisões estratégicas de governo e a participação da ANA nos esforços para a integração das políticas, sistemas e instrumentos voltados à resolução de conflitos regionais e intersetoriais, à viabilização de investimentos e ao desenvolvimento de mecanismos de compensação econômica e ambiental;
 - Proteção dos Mananciais: a garantia da qualidade da água dos mananciais depende de uma série de ações articuladas para a organização do uso e ocupação do solo e, principalmente, para o controle das fontes poluidoras. O aumento dos índices de coleta e tratamento de esgotos e da eficiência operacional desses sistemas é fundamental, sendo um dos objetos centrais da

-
- Implantar programa de capacitação técnica dos órgãos municipais e estaduais relacionados à produção e distribuição de água, gestão ambiental e planejamento, promover campanhas de educação ambiental; cadastrar; controlar e fiscalizar as captações e outorgas de uso da água subterrânea; consolidar a participação dos municípios na gestão dos recursos hídricos e promover articulação com os órgãos gestores estaduais e os comitês de bacias; implantar rede de monitoramento de nível de água e de parâmetros indicadores de qualidade; elaborar planejamento do uso da água subterrânea a curto e longo prazos.

Áreas com restrição:

- Proteger as captações de água subterrânea; adequar o zoneamento municipal e o Plano Diretor, visando à proteção dos poços e aquíferos importantes ao abastecimento público; implantar programa de capacitação técnica dos órgãos municipais e estaduais relacionados à produção e distribuição de água, gestão ambiental e planejamento; promover campanhas de educação ambiental; cadastrar, controlar e fiscalizar as captações e outorgas de uso da água subterrânea; consolidar a participação dos municípios na gestão dos recursos hídricos e promover sua articulação com os órgãos gestores estaduais e os comitês de bacias; implantar rede de monitoramento de nível de água e de parâmetros indicadores de qualidade; elaborar planejamento do uso da água subterrânea a curto e longo prazos. (DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, UNESP, Governo do Estado de São Paulo, 2013)

Logo na conclusão da perfuração do poço e imediatamente após a etapa de desenvolvimento torna-se necessário a execução de ensaios de vazão que vão caracterizar o aquífero e o seu potencial explorável. (Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani)

Já na realização do teste de vazão deve-se contar com um equipamento que melhor atenda às condições previstas no projeto e também as condições físicas regionais onde o poço está situado, entendendo-se neste caso principalmente a questão da disponibilidade de energia no local do empreendimento. (Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani)

Pontos que devem ser observados nas especificações de um equipamento de bombeamento:

- Fonte de energia disponível no local e sua caracterização;
- Volume de água previsto no projeto e o desejável na exploração;
- Equipamento que oferece melhor condição de rendimento;
- Profundidade de instalação do equipamento e características básicas da instalação x demanda de equipamentos especiais para movimentação do mesmo;
- Condições de atendimento a situações programadas e emergenciais;
- Condições de assistência técnica do fabricante na região;
- Qualidade da água a ser bombeada e sua temperatura;
- Nível de proteção desejada;
- Nível de automação e controle desejado (Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani)

De acordo com estas variáveis se poderiam projetar alguns tipos básicos de equipamentos, quais sejam:

- Conjunto moto bomba submersa
- Conjunto moto bomba turbina de eixo prolongado
- Compressores de ar
- Outros equipamentos de menor porte – injetoras, centrífugas, etc. (Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani)

Os equipamentos, os mais utilizados na área do SAG, por exemplo, têm sido as bombas submersíveis, tal como ilustra a Figura 2.26 - Perfil típico onde são perfurados poços profundos e conjunto moto-bomba submersa, as turbina e os compressores de ar. (Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani)

Figura 2.26 - Perfil típico onde são perfurados poços profundos e conjunto moto-bomba submersa

Fonte: Dancor, 2017

A bomba submersível é bomba tipo centrífuga acoplada a um motor submersível, constituindo assim um conjunto onde o eixo de interligação de uma parte (bomba) à outra (motor) é de pequena extensão, reduzindo com isto perdas de carga, demanda de energia, riscos de danos etc. Este equipamento apresenta a vantagem de uma vez definido o nível de bombeamento (nível dinâmico) para uma determinada vazão de exploração, poder trabalhar logo abaixo deste ponto. (Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani)

O motor submersível é alimentado por cabo elétrico blindado e que pode operar a grandes profundidades sem risco de infiltração de água e redução de seu isolamento (salvo danos físicos ao mesmo). Estes conjuntos moto-bombas podem trabalhar com vazões pequenas – 1 m³/hora a centenas de m³/hora, durante milhares de hora sem requerer sua remoção (desde que operados convenientemente). (Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani)

3. METODOLOGIA

A discussão metodológica está dividida em três aspectos: as definições do local de estresse hídrico, a crise hídrica em São Paulo, e o desenvolvimento de um modelo hidroenergético.

As curvas características das bombas centrífugas relacionam a vazão recalçada com a altura manométrica alcançada (H), com a potência absorvida (P) e com o rendimento (η). Muitas vezes também apresentam a altura máxima de sucção (H_s , máx) ou a energia específica positiva líquida de sucção requerida pela bomba (NPSH ou net positive suction head). De modo geral, as curvas características apresentam o aspecto da Figura 3.1 - Curva característica de uma bomba centrífuga (FEM,2017)

Figura 3.1 - Curva característica de uma bomba centrífuga

Fonte: (FEM)

Onde: H = altura de elevação manométrica ou carga total; Q = vazão ou capacidade da bomba; P = potência absorvida ou potência no eixo; η = rendimento. Nesse tipo de bomba, a energia mecânica é transferida ao líquido pelas forças centrífugas geradas no rotor. Considerando a mesma carcaça, a intensidade dessas forças variam com as dimensões, forma e número de giros do rotor. Assim, ao se modificar quaisquer destes três parâmetros, é alterada, de modo correspondente, a curva característica da máquina. As curvas de H versus Q e de η versus Q não sofrem alteração significativa para um rotor que tenha forma, diâmetro e rotação definidos, independente do líquido bombeado, desde que não possua viscosidade elevada (Macintyre, 1980) apud (FEM)

O bombeamento equivalente foi realizado a partir da Tabela 3.1 - Parâmetros de vazão e profundidade médias dos sistemas aquíferos.

Tabela 3.1 - Parâmetros de vazão e profundidade médias dos sistemas aquíferos

1	2	3
Sistema Aquífero	Vazão Média explotada (m³/h)	Profundidade média explotação (m)
Solimões	27	56
Alter do chão	54	133
Boa Vista	33	36
Parecis	147	102
Jandaíra	6	98
Açu	25	310
Itapecuru	12	91
Corda	15	97
Motuca	16	96
Poti-Piauí	18	140
Cabeças	12	109
Serra Grande	6	158
Barreiras	23	77
Beberibe	34	182
Marizal	21	129
São Sebastião	24	127
Inajá	4	116
Tacaratu	6	102
Exu	6	58
Missão Velha	14	130
Urucuia-Areado	10	89
Bambuí	11	86
Bauru-Caiuá	19	140
Serra Geral	23	123
Guarani	14	111
Ponta Grossa	6	150
Furnas	17	124

Fonte: autoria própria

Para a definição do bombeamento equivalente, as bombas foram selecionadas através do software Easyselect da empresa KSB, conforme ilustra a Figura 3.2 - Seleccionador online de válvulas e bombas, e foram aplicadas as configurações da Tabela 3.1 e, assim, obtidas as curvas características para as bombas equivalentes para cada sítio hidrogeológico.

Para exemplificar os resultados obtidos através da simulação online de cada Sistema Aquífero, consta no Anexo 7.1 - Curvas características das bombas na Figura 7.1 - Curvas características bomba para profundidade média e vazão média Bacia Hidrogeográfica Solimões os dados obtidos com o Seleccionador online de válvulas e bombas KSB.

Figura 3.2 - Seleccionador online de válvulas e bombas

Fonte: KSB, 2017

Figura 3.3 - Número de poços cadastrados no SIAGAS e Volume Anual Explotado

REGIÃO	UF	ÁREA (km ²)	NO POÇOS	POÇOS /100 km ²	% BRASIL	VOL. ANUAL EXPLOTADO (m ³)	% BRASIL
NORTE	AC	164.123,04	647	0,39	0,27	15.742.165	0,17
	AM	1.559.159,15	7134	0,46	2,96	617.083.709	6,59
	AP	142.828,52	105	0,07	0,04	11.400.410	0,12
	PA	1.247.954,67	6809	0,55	2,82	456.689.795	4,88
	RO	237.590,55	1794	0,76	0,74	96.057.123	1,03
	RR	224.300,51	906	0,40	0,38	55.572.734	0,59
	TO	277.720,52	1211	0,44	0,50	68.539.787	0,73
TOTAL N		3.853.676,95	18606	0,48	7,72	1.321.085.722	14,11
NORDESTE	AL	27.778,51	1211	4,36	0,50	33.149.230	0,35
	BA	564.733,18	21943	3,89	9,10	833.999.175	8,91
	CE	148.920,47	21098	14,17	8,75	345.643.058	3,69
	MA	331.937,45	11332	3,41	4,70	658.216.578	7,03
	PB	56.469,78	17781	31,49	7,37	207.294.650	2,21
	PE	98.148,32	25416	25,90	10,54	536.515.417	5,73
	PI	251.577,74	27721	11,02	11,50	776.444.593	8,30
	RN	52.811,05	9557	18,10	3,96	385.816.506	4,12
	SE	21.915,12	4956	22,61	2,06	67.658.849	0,72
TOTAL NE		1.554.291,61	141015	9,07	58,48	3.844.738.056	41,08
CENTRO OESTE	DF	5.780,00	198	3,43	0,08	8.219.712	0,09
	GO	340.111,78	3181	0,94	1,32	100.760.244	1,08
	MT	903.366,19	3535	0,39	1,47	183.807.837	1,96
	MS	357.145,53	1377	0,39	0,57	185.152.320	1,98
TOTAL CO		1.606.403,51	8291	0,52	3,44	477.940.113	5,11
SUDESTE	ES	46.095,58	1010	2,19	0,42	23.703.519	0,25
	MG	586.522,12	19316	3,29	8,01	712.075.045	7,61
	RJ	43.780,17	488	1,11	0,20	13.054.442	0,14
	SP	248.222,80	18607	7,50	7,72	1.498.161.956	16,01
TOTAL SE		924.620,68	39421	4,26	16,35	2.246.994.963	24,01
SUL	PR	199.307,92	12429	6,24	5,15	683.350.782	7,30
	RS	95.736,17	14670	15,32	6,08	581.358.666	6,21
	SC	95.736,17	7260	7,58	3,01	204.217.799	2,18
TOTAL S		390.780,25	34359	8,79	14,25	1.468.927.248	15,69
BRASIL		8.329.772,99	241692	2,90	100,00	9.359.686.101	100,00

Fonte: DINIZ et al., 2014

Utilizou-se os valores totais de número de poços cadastrados e volumes anuais explotados, conforme a Figura 3.3 - Número de poços cadastrados no SIAGAS e Volume Anual Explotado acima, como parâmetro de comparação de ordem de grandeza para as simulações, visto que 9359686101 m³/ano equivalem a 297 m³/s da exploração brasileira através de poços cadastrados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas em 2014.

Tabela 3.2 - Determinação da Potência do bombeamento

1	2	3	4	5	6	7
Sistema Aquífero	Vazão de retirada potencial (Subterrânea + superficial) (m³/h)	Vazão explotada água subterrânea 60% da vazão de retirada potencial (m³/h)	Vazão Média explotada (m³/h)	Profundidade média explotação (m)	Poços necessários para atender à vazão explotação média	Potência da bomba para atender à vazão de explotação média considerando 50% de perdas (KW)
Solimões	11.880	7.128	27	56	261	10
Alter do chão	55.800	33.480	54	133	626	40
Boa Vista	6.840	4.104	33	36	126	10
Parecis	47.520	28.512	147	102	194	90
Jandaíra	40.320	21.960	6	98	3.542	4
Açu	35.280	7.560	25	310	304	47
Itapecuru	64.440	38.664	12	91	3.143	7
Corda	26.640	15.984	15	97	1.102	9
Motuca	12.960	7.776	16	96	477	9
Poti-Piauí	48.600	29.160	18	140	1.620	15
Cabeças	20.520	12.312	12	109	1.026	8
Serra Grande	26.280	15.768	6	158	2.503	7
Barreiras	529.920	317.952	23	77	13.588	10
Beberibe	33.840	1.440	34	182	42	34
Marizal	25.560	15.336	21	129	720	15
São Sebastião	5.760	3.456	24	127	146	19
Inajá	7.200	1.080	4	116	309	4
Tacaratu	31.320	10.440	6	102	1.864	4
Exu	13.320	2.160	6	58	360	3
Missão Velha	16.200	720	14	130	50	11
Urucuia-Areado	96.120	57.672	10	89	5.545	7
Bambuí	293.040	145.080	11	86	13.189	7
Bauru-Caiuá	445.320	267.192	19	140	14.288	15
Serra Geral	1.075.680	645.408	23	123	28.307	17
Guarani	330.480	198.288	14	111	14.369	9
Ponta Grossa	54.360	32.616	6	150	5.623	8
Furnas	61.920	37.152	17	124	2.135	12
Total	3.417.120 (949 m³/s)	1.958.400 (544 m³/s)			115.460	

Fonte: autoria própria

Os dados de explotação de águas subterrâneas são escassos e, por vezes, conflitantes.

As colunas da Tabela 3.2 - Determinação da Potência do bombeamento são respectivamente:

- (1) Sistema Aquífero

-
- (2) Vazão de retirada potencial (Subterrânea + superficial) (m^3/h), conforme dados disponíveis em Agência Nacional de Águas (2005b)
 - (3) Vazão explorada água subterrânea 60% da vazão de retirada potencial (m^3/h), estimou-se o percentual de que 60% da vazão de retirada potencial seja a parcela de águas subterrâneas. Segundo a Agência Nacional de Águas (2005b), no Brasil 60% dos domicílios são abastecidos por água subterrânea
 - (4) Vazão Média explorada (m^3/h), conforme Tabela 3.1 - Parâmetros de vazão e profundidade médias dos sistemas aquíferos
 - (5) Profundidade média exploração (m), conforme Tabela 3.1 - Parâmetros de vazão e profundidade médias dos sistemas aquíferos
 - (6) Poços necessários para atender à vazão exploração média, calculados através dos dados da Coluna (3), dados que atendem à vazão média. Dado limitado à reserva explotável, a qual é somente 20% da reserva renovável
 - (7) Potência da bomba para atender à vazão de exploração média considerando 50% de perdas (KW), conforme fornecido pelo Software EasySelect

Os seguintes cenários foram então elaborados para a exploração dos principais aquíferos brasileiros:

Cenário 1- normal: Onde são avaliados os dados sem alterações nos dados nos dados climáticos, isto é, como se estima estarem as condições climáticas no Brasil sem eventos extremos. Foram levadas em consideração a altura manométrica média, a vazão explorada média, a potência requerida por cada equipamento de bombeamento, rendimento de cada sistema de bombeamento de 38%. Foi considerado que 60% da vazão de retirada brasileira seja composta por água subterrânea e 40% da vazão de retirada por água superficial. População 205 milhões de pessoas.

Cenário 2- vazão de retira integralmente subterrânea: Onde são avaliados os dados sem alterações nos dados climáticos, isto é, como se estima estarem as condições climáticas no Brasil sem eventos extremos. Foram levadas em consideração a altura manométrica média, a vazão explorada média, a potência requerida por cada equipamento de bombeamento, rendimento de cada sistema de bombeamento de 38%. Não foi considerada a altura manométrica máxima. Foi considerado que 100% da vazão de retirada brasileira seja composta por água subterrânea. População 205 milhões de pessoas.

Cenário 3- Crise hídrica: Onde são avaliados os dados, onde se estima falta de precipitação sobre as áreas de recarga dos principais aquíferos brasileiros, fazendo-os decrescer seus níveis em 6,5%. Foram levadas em consideração a altura manométrica média, a vazão explotada média, a potência requerida por cada equipamento de bombeamento, rendimento de cada sistema de bombeamento de 38%. Não foi considerada a altura manométrica máxima. Foi considerado que 60% da vazão de retirada brasileira seja composta por água subterrânea. População 205 milhões de pessoas.

Cenário 4- Aumento populacional: Onde são avaliados os dados sem alterações nos dados climáticos, isto é, como se estima estarem as condições climáticas no Brasil sem eventos extremos. Foram levadas em consideração a altura manométrica média, a vazão explotada média, a potência requerida por cada equipamento de bombeamento, rendimento de cada sistema de bombeamento de 38%. Não foi considerada a altura manométrica máxima. Foi considerado que 60% da vazão de retirada brasileira seja composta por água subterrânea. População 235 milhões de pessoas, isto é um aumento de 14% na população brasileira e uma grosseira linearização das demandas de consumo de água proporcionais ao crescimento demográfico.

Cenário 5- Eficiência energética: Onde são avaliados os dados sem alterações nos dados climáticos, isto é, como se estima estarem as condições climáticas no Brasil sem eventos extremos. Foram levadas em consideração a altura manométrica média, a vazão explotada média, a potência requerida por cada equipamento de bombeamento, rendimento de cada sistema de bombeamento de 75%. Não foi considerada a altura manométrica máxima. Foi considerado que 60% da vazão de retirada brasileira seja composta por água subterrânea. Foram calculados a redução de emissões de Gases de efeito estufa e também os ganhos financeiros com as reduções no consumo de energia para este caso. População 205 milhões de pessoas.

A Tabela 3.3 - Tabela dos cenários considerados apresenta um resumo dos cenários explorados e suas principais diferenças.

Tabela 3.3 - Tabela dos cenários considerados

Cenários	Principal variante
Cenário 1	Situação hídrica Normal
Cenário 2	Vazão de retirada 100% água subterrânea
Cenário 3	Crise hídrica: decréscimo nos níveis subterrâneos em 6,5%
Cenário 4	Aumento populacional
Cenário 5	Eficiência energética, motores de 75% de eficiência

Fonte: autoria própria

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e discussão abordam e propõem estratégias para enfrentamento da crise hídrica. Além disso mostram a quantidade de energia elétrica consumida para o bombeamento de água subterrânea nos principais aquíferos brasileiros. Os resultados mostram os hipotéticos consumos de energia elétrica para cinco cenários que envolvem eventos meteorológicos e variação populacional.

4.1 Crise hídrica

A Região Metropolitana de São Paulo - RMSP situa-se na Sub-Bacia do Alto Tietê, que naturalmente já integra a classe das sub-bacias paulistas com estresse hídrico em condições normais de afluência dos seus cursos hídricos. O estresse hídrico da RMSP é inerente à aglomeração de pessoas na megalópole paulista. Na ocorrência de um evento extremo natural como a seca que ocorreu em 2014, então a RMSP é ainda mais intensamente atingida.

Observando-se os aspectos gerais da ocupação do solo paulista a localização do conglomerado urbano da RMSP está na sub-bacia hidrográfica do Alto Tietê, porém não é apontada como uma região de estresse hídrico por (DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, UNESP, Governo do Estado de São Paulo, 2013), visto que este não levou em consideração as importações de outras bacias, levou em consideração somente as vazões retiradas em função da vazão mínima em 95% do tempo. Portanto não é um indicador adequado de estresse hídrico.

Observa-se que a RMSP importa cerca de 70 m³/s de outras bacias hidrográficas através do Sistema Cantareira, observa-se ainda que a RMSP possui mais de 1400 áreas contaminadas e observa-se ainda que a qualidade das águas superficiais de alguns cursos hídricos da RMSP não permitem captação e tratamento, visto a sua péssima qualidade. Os mapas de disponibilidade hídrica não revelam a real dimensão da crise hídrica na RMSP e podem nortear erroneamente tomadores de decisão. Para tanto faz-se necessário mapas onde se considere a importação de água de outras bacias.

4.2 Consumo de energia

Para se realizar o mapa da quantidade de energia elétrica consumida pelo bombeamento de águas subterrâneas, foram contabilizados os dados disponíveis dos principais aquíferos brasileiros. A Figura 4.1 - Principais sistemas aquíferos mostra os aquíferos que foram estudados no presente trabalho.

Figura 4.1 - Principais sistemas aquíferos

Fonte: autoria própria

A Figura 4.2 - Classes de consumo de energia por aquíferos no Brasil – Cenário 1: normal é o resultado do cenário 1, isto é, o cenário em condições meteorológicas normais sem eventos extremos de secas e também sem considerar variação populacional.

Nota-se que a região sudeste do Brasil é a que consome maior quantidade de energia elétrica para o bombeamento das águas subterrâneas para abastecimento público, visto que é a região brasileira com maior adensamento populacional e também maiores demandas, e também se revela onde as ações para eficiência energética devem ser primeiramente direcionadas.

Figura 4.2 - Classes de consumo de energia por aquíferos no Brasil – Cenário 1: normal

Fonte: autoria própria

Para o Cenário 1: normal, a exploração de água subterrânea dos principais aquíferos brasileiros consomem 12 TWh / ano de energia, o que representa 2,6% do consumo total de energia elétrica do Brasil, conforme pode observar-se na Tabela 4.1 - Consumo de energia por ano para bombeamento de água subterrânea. Esta Tabela considerou um cenário normal, com as demandas hídricas disponíveis em Agência Nacional de Águas, 2005b, quando não havia crise hídrica.

Como resultado da junção de todos os dados estudos, do modelo desenvolvido e das hipóteses assumidas, para o Cenário 1: normal, obteve-se a Tabela 4.1 - Consumo de energia por ano para bombeamento de água subterrânea

Tabela 4.1 - Consumo de energia por ano para bombeamento de água subterrânea – Cenário 1: normal

Sistema Aquífero	Consumo de energia por ano para bombeamento água subterrânea (GWh/ano)
Solimões	22
Alter do chão	221
Boa Vista	11
Parecis	153

Jandaíra	133
Açu	126
Itapecuru	204
Corda	87
Motuca	38
Poti-Piauí	208
Cabeças	76
Serra Grande	156
Barreiras	1.218
Beberibe	13
Marizal	97
São Sebastião	25
Inajá	10
Tacaratu	59
Exu	10
Missão Velha	5
Urucuia-Areado	338
Bambuí	860
Bauru-Caiuá	1.874
Serra Geral	4.322
Guarani	1.155
Ponta Grossa	369
Furnas	219
Total	12.007

Fonte: autoria própria

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** ilustra os principais aquíferos e suas respectivas demandas energéticas para exploração de água subterrânea. Também aponta onde são as principais demandas e onde as ações de eficiência energética e desenvolvimento sustentável poderiam ter resultados ainda mais relevantes.

Figura 4.3 - Box Plot e histograma dos dados de consumo de energia (GWh) dos Sistemas Aquíferos brasileiros – Cenário 1: normal

Fonte: autoria própria

A Figura 4.3 - Box Plot e histograma dos dados de consumo de energia (GWh) dos Sistemas Aquíferos brasileiros acrescenta os dados estatísticos dos valores de energia em GWh, ressaltando que a mediana é 143 GWh/ano.

No Cenário 2: Vazão de retirada integralmente subterrânea. Um primeiro cenário que considere a integralidade da vazão de retirada ($949\text{m}^3/\text{s}$) atual sendo suprida por água subterrânea, haveria um acréscimo de 59% no consumo energético, por exemplo. Num cenário de crise hídrica superficial, as águas subterrâneas são tardiamente, porém duramente afetadas, visto que somente 4% do volume de precipitação efetivamente compõem as reservas renováveis.

No que tange à escassez de precipitações pluviométricas ou retiradas maiores do que a capacidade de suporte da região, ou obras que alteram as hidrodinâmicas locais, as águas subterrâneas são atingidas com um retardo que depende das características hidrogeológicas de cada sistema aquífero. Ações para retirar água de profundidades maiores, ou de zonas insaturadas, acrescidas ainda de uma maior exploração do sistema aquífero, justamente pela escassez do recurso superficial, somente faz aumentar estes valores de consumo de energia para bombeamento de águas subterrâneas.

Em condições climáticas normais o Aquífero Bauru-Caiuá exige na média bombas de 9,98 kW de Potência, para explotar cerca de $19\text{ m}^3/\text{h}$ de uma profundidade de 140 metros. Com um decréscimo do 6,5% no nível da água subterrânea, uma modelagem no Aquífero Bauru-Caiuá revela que, para explotar a mesma vazão de $19\text{ m}^3/\text{h}$ de uma profundidade de 149 metros requer uma potência 10,73kW, isto é 7,5% maior.

Para o Cenário 3: Crise hídrica, assumindo a hipótese de uma crise hídrica, onde a escassez de eventos pluviométricos sobre as áreas de recarga, cujos respectivos dados estatísticos constam na **Erro! Autoreferência de indicador não válida.**, atingir o Brasil inteiro por igual e mesma intensidade, visto as suas dimensões continentais e a complementariedade dos ciclos hidrológicos nordeste/sudeste, porém não é impossível visto que as áreas de recarga de alguns aquíferos são relativamente diminutas, a exploração de águas subterrâneas, requeria 20,6 TWh/ano, conforme Tabela 4.2 - Consumo de energia por ano para bombeamento de água subterrânea em Cenário 3: crise hídrica, o que representaria cerca de 4,5% da matriz elétrica brasileira. Um cenário de crise hídrica, conforme aqui exposto, levaria a um aumento de 72% do consumo de energia elétrica em comparação com o cenário normal.

Figura 4.4 - Área de recarga dos aquíferos estudados (km²)

Fonte: autoria própria

Tabela 4.2 - Consumo de energia por ano para bombeamento de água subterrânea em Cenário 3: crise hídrica

Sistema Aquífero	Consumo de energia por ano para bombeamento água subterrânea (GWh/ano)
Solimões	38
Alter do chão	380
Boa Vista	18
Parecis	262
Jandaíra	229
Açu	216
Itapecuru	350
Corda	150
Motuca	65
Poti-Piauí	357
Cabeças	131
Serra Grande	268
Barreiras	2.090
Beberibe	21
Marizal	167
São Sebastião	43
Inajá	17
Tacaratu	101
Exu	18
Missão Velha	8
Urucuia-Areado	580
BambuÍ	1.476
Bauru-Caiuá	3.217
Serra Geral	7.420
Guarani	1.984
Ponta Grossa	634
Furnas	376
Total	20.612

Fonte: autoria própria

No Cenário 4: aumento da população: no longo prazo, o Brasil terá o desafio de incluir novos 30 milhões de habitantes. Além da expansão quantitativa, o cenário do PNE 2050 estima que o crescimento da renda per capita da população brasileira a colocará em nível situado entre os patamares atuais da Espanha e França. (EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2014) e analisando separadamente o aumento populacional de 14%, e considerando o mesmo aumento linear da demanda hídrica para o ano de 2050, e com isso, teríamos um aumento do 22% do consumo energético para o bombeamento.

No Cenário 5: Eficiência energética: O potencial de redução de consumo de energia elétrica- por ano para bombeamento de água subterrânea para um cenário de estratégias de eficiência energética, pela substituição de motores de rendimento de cerca de 38%, para motores de rendimento de cerca de 75% impactaria numa redução de 33% no consumo de energia elétrica, quando comparado ao Cenário 1 normal.

Tabela 4.3 - Consumo de energia elétrica por ano para bombeamento de água subterrânea para Cenário 5 de estratégias de eficiência

Sistema Aquífero	Consumo de energia por ano para bombeamento água subterrânea (GWh/ano)
Solimões	15
Alter do chão	148
Boa Vista	7
Parecis	102
Jandaíra	89
Açu	84
Itapecuru	136
Corda	58
Motuca	25
Poti-Piauí	139
Cabeças	51
Serra Grande	104
Barreiras	812
Beberibe	8
Marizal	65
São Sebastião	17
Inajá	6
Tacaratu	39
Exu	7
Missão Velha	3
Urucuia-Areado	225
Bambuí	573
Bauru-Caiuá	1.249
Serra Geral	2.881
Guarani	770
Ponta Grossa	246
Furnas	146
Total	8.005

Fonte: autoria própria

O cálculo de consumo de energia por volume de água produzido é aqui denominado relação de eficiência energética. Na Tabela 4.4 - Relação de eficiência energética kWh/m³ para cenário 1 normal apresenta-se os valores de relação de eficiência kWh/m³ para cenário 1 normal. Quanto mais baixo é este valor, mais eficiente é a produção de água. Para sistemas aquíferos com valores mais elevados, ações de eficiência energética trarão retorno e resultados mais rapidamente.

Tabela 4.4 - Relação de eficiência energética kWh/m³ para cenário 1 normal

Sistema Aquífero	kwh/m ³
Solimões	0,02
Alter do chão	0,05
Boa Vista	0,02
Parecis	0,04
Jandaíra	0,05
Açu	0,13
Itapecuru	0,04
Corda	0,04
Motuca	0,04
Poti-Piauí	0,06
Cabeças	0,05
Serra Grande	0,08
Barreiras	0,03
Beberibe	0,07
Marizal	0,05
São Sebastião	0,06
Inajá	0,07
Tacaratu	0,04
Exu	0,04
Missão Velha	0,05
Urucuia- Areado	0,05
Bambuí	0,05
Bauru-Caiuá	0,05
Serra Geral	0,05
Guarani	0,04
Ponta Grossa	0,09
Furnas	0,05
Média	0,05

Fonte: autoria própria

Na Tabela 4.5 - Relação de eficiência energética kWh/m³ para cenário 3 de crise hídrica apresenta-se a relação de eficiência kWh/m³ para cenário 3 de crise hídrica. O aumento dos valores de relação de eficiência energética em relação ao cenário 1, revela o quanto oneroso é para o sistema, o decréscimo de dez por cento nos níveis de água subterrânea em cada um dos principais aquíferos brasileiros. As bombas passam a trabalhar fora do seus rendimentos ótimos, e, além disso, a desnível a vencer é maior, o que acarreta perda de eficiência e maior consumo de energia elétrica.

Tabela 4.5 - Relação de eficiência energética kWh/m³ para cenário 3 de crise hídrica

Sistema Aquífero	kWh/m³
Solimões	0,04
Alter do chão	0,08
Boa Vista	0,03
Parecis	0,06
Jandaíra	0,07
Açu	0,19
Itapecuru	0,06
Corda	0,06
Motuca	0,06
Poti-Piauí	0,08
Cabeças	0,07
Serra Grande	0,11
Barreiras	0,04
Beberibe	0,10
Marizal	0,07
São Sebastião	0,08
Inajá	0,10
Tacaratu	0,06
Exu	0,06
Missão Velha	0,08
Urucuia-Areado	0,07
Bambuí	0,07
Bauru-Caiuá	0,08
Serra Geral	0,08
Guarani	0,07
Ponta Grossa	0,13
Furnas	0,07
Média	0,08

Fonte: autoria própria

Nota-se que haveria uma variação positiva da eficiência energética de 0,08 kWh/m³ para 0,05kWh/m³, com a adoção de sistemas com eficiência de 75% de eficiência. Esta adoção faria a economia de 4TWh/ano, o que corresponderia a 344.000 tep (tonelada equivalente de petróleo). Para as condições atuais, onde as fontes não-renováveis estão bastante presentes produção de energia elétrica, considerando 1,48 tCO₂/tep, a redução de 4TWh/ano representaria uma redução de emissões de Gases de Efeito Estufa de 509120 tCO₂.

Os ganhos financeiros podem ser medidos, baseados em parâmetros estudados por

Tabela 4.6 - Ganhos financeiros com as reduções no consumo de energia R\$/mês para Cenário 3 - Eficiência Energética

Sistema Aquífero	Vazão explotada água subterrânea 60% da vazão de retirada potencial (m³/h)	Ganhos financeiros com as reduções no consumo de energia R\$/mês (0,17 R\$/m³)
Solimões	7.128	R\$ 872.467,20
Alter do chão	33.480	R\$ 4.097.952,00

Boa Vista	4.104	R\$	502.329,60
Parecis	28.512	R\$	3.489.868,80
Jandaíra	21.960	R\$	2.687.904,00
Açu	7.560	R\$	925.344,00
Itapecuru	38.664	R\$	4.732.473,60
Corda	15.984	R\$	1.956.441,60
Motuca	7.776	R\$	951.782,40
Poti-Piauí	29.160	R\$	3.569.184,00
Cabeças	12.312	R\$	1.506.988,80
Serra Grande	15.768	R\$	1.930.003,20
Barreiras	317.952	R\$	38.917.324,80
Beberibe	1.440	R\$	176.256,00
Marizal	15.336	R\$	1.877.126,40
São Sebastião	3.456	R\$	423.014,40
Inajá	1.080	R\$	132.192,00
Tacaratu	10.440	R\$	1.277.856,00
Exu	2.160	R\$	264.384,00
Missão Velha	720	R\$	88.128,00
Urucuia-Areado	57.672	R\$	7.059.052,80
Bambuí	145.080	R\$	17.757.792,00
Bauru-Caiuá	267.192	R\$	32.704.300,80
Serra Geral	645.408	R\$	78.997.939,20
Guarani	198.288	R\$	24.270.451,20
Ponta Grossa	32.616	R\$	3.992.198,40
Furnas	37.152	R\$	4.547.404,80
Total	1.958.400	R\$	239.708.160,00

Fonte: autoria própria

Tabela 4.7 - Consumo de energia elétrica para diferentes cenários

Cenários	Principal variante	Consumo de energia elétrica (TWh/ano)
Cenário 1	Situação hídrica normal	12
Cenário 2	Vazão de retirada 100% água subterrânea	19
Cenário 3	Crise hídrica: decréscimo nos níveis subterrâneos em 6,5%	20
Cenário 4	Aumento populacional	14
Cenário 5	Eficiência energética, motores de 75% de eficiência	8

Fonte: autoria própria

4.3 Estratégias para desenvolvimento sustentável

Nesta parte se realizou um levantamento das estratégias adotadas para a resolução de conflitos e desenvolvimento sustentável.

Para assegurar o desenvolvimento sustentável faz-se necessário o uso de algumas estratégias, algumas, por exemplo, voltadas para eficiência energética, cujos mecanismos são listados na Figura 4.5 - Mecanismos de eficiência energética

Figura 4.5 - Mecanismos de eficiência energética

Tipos de Mecanismos	Setores				
	Industrial	Residencial	Comercial	Público	Transportes
Suporte	PROCEL/CONPET CNI/PBE/SEBRAE	PROCEL/CONPET PBE	PROCEL/CONPET PBE/SEBRAE	PROCEL/CONPET PBE	PROCONVE/CONPET PBE
Controle	Lei de Eficiência Energética e CGIEE, PEE/ANEEL, PNMC	Lei de Eficiência Energética e CGIEE, PEE/ANEEL, PNMC, PMCMV	Lei de Eficiência Energética e CGIEE, PEE/ANEEL, PNMC	Lei de Eficiência Energética e CGIEE, PEE/ANEEL, PNMC	Lei de Eficiência Energética, CGIEE, PNMC e PNLT
Mercado	Informação e divulgação	Informação e divulgação IPI para equipamentos eficientes	Informação e divulgação IPI para equipamentos eficientes	Informação e divulgação IPI para equipamentos eficientes Compras eficientes	Informação e divulgação IPI para equipamentos eficientes
Fundo	RGR CTEnerg e PEE (Lei 9.991/2000) PROESCO	RGR CTEnerg e PEE (Lei 9.991/2000)	RGR CTEnerg e PEE (Lei 9.991/2000) PROESCO	RGR CTEnerg e PEE (Lei 9.991/2000) RELUZ, PROESCO	CTEnerg

Fonte: EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2014

É de responsabilidade da indústria, buscar permanentemente processos e sistemas racionais, eficientes e que considerem sempre a questão do uso racional da água - um bem finito e de valor econômico significativo, constituindo um insumo de importância estratégica para todo o setor produtivo.

Neste sentido recomenda-se que se observem permanentemente os seguintes tópicos, no dia a dia da indústria:

- **Processo** – rever sistematicamente os processos de produção, buscando otimizar a quantidade de água consumida e descartada, inclusive com checagens periódicas dos sistemas de adução, armazenamento e distribuição;
- **Reuso** – avaliar e aplicar procedimentos técnicos que viabilizem a prática do tratamento da água e dos efluentes, com aproveitamento deste produto em áreas que não necessitem de água de boa qualidade. Ter-se-ia como resultado final: a redução da quantidade de água captada, bem como dos efluentes descartados, e do consumo de água;

• **Fonte própria** – avaliar a possibilidade de implantação de sistemas alternativos de captação de água, seja ela subterrânea (poços tubulares profundos) ou superficial (água de chuva). Tais sistemas propiciam redução de custo, a minimização da dependência de fonte externa e risco de desabastecimento, tornando o processo estrategicamente menos vulnerável. (GIAMPÁ, GONÇALES, 2005, p. 25)

A OMS introduziu em 2004 uma abordagem inovadora para o problema da segurança da água, por meio do estabelecimento do Plano de Segurança da Água (acrônimo em Inglês WSP). Foi recentemente incluído na Diretiva da Comissão União Europeia 2015/1787 - 6 de outubro de 2015 - cuja implementação está prevista nos países da União Europeia até 27 de outubro de 2017. O WSP é o meio mais eficaz para garantir consistentemente a segurança de um abastecimento de água potável. O método baseia-se no uso de uma abordagem de gestão de avaliação e gerenciamento abrangente de risco, que envolve todas as etapas de abastecimento de água desde a captação até o consumidor. O conhecimento adquirido por algumas experiências de aplicação do WSP, tanto na Itália quanto em países com recursos limitados, está demonstrando a eficácia do modelo como a melhor maneira de gerenciar o sistema de água potável e proteger a saúde pública. (COLLIVIGNARELLI, 2017, p. 1)

A importância do gerenciamento hídrico foi previamente reconhecida entre os objetivos do milênio e no objetivo 6 do plano das Nações Unidas para o desenvolvimento sustentável (Água limpa e saneamento): "Assegurar disponibilidade e manejo sustentável de água e saneamento para todos". No objetivo 6, nota-se que os requisitos básicos para "água potável" são: "quantidade" (volume de água disponível para os consumidores), "qualidade" (conformidade com os requisitos de potabilidade), "continuidade", "Cobertura" (população atendida pelo abastecimento de água potável) e "custo" (custos incorridos pelos consumidores para o abastecimento de água potável). (COLLIVIGNARELLI, 2017, p. 2)

A lei 9.433 de 08 de janeiro de 1997 instituiu a Política nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SNGRH. Alguns dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos são os Planos de Recursos Hídricos. Esses planos devem fundamentar e orientar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e o gerenciamento dos recursos hídricos. Em seu artigo 8º, a supracitada lei diz que os Planos de Recursos Hídricos serão elaborados por país, por estado e por bacia

hidrográfica, que é a unidade territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos. (Boldrin, Mirtes T. N., Cutrim, Aleterêdo O., 2011)

O Plano Nacional de Recursos Hídricos - PNRH foi lançado em 2006. Dando continuidade ao seu projeto em 2009 foi criado o Programa Nacional de Águas Subterrâneas – PNAS que tem como um de seus argumentos “a discussão do papel dos municípios na gestão de recursos hídricos e em especial o caso das águas subterrâneas” (p. 6). O PNAS possui um subprograma de estudos e projetos das águas subterrâneas em escala local. Esse subprograma considera escala local como sendo áreas restritas de um aquífero que se encontra em uma determinada bacia hidrográfica ou em limites geográficos estaduais ou municipais, tendo como objetivo, ainda, ampliar o conhecimento hidrogeológico dos aquíferos localizados em centros urbanos onde a água subterrânea possui relevante contribuição para o abastecimento público. (Boldrin, Mirtes T. N., Cutrim, Aleterêdo O., 2011)

Frente à criticidade da situação da crise hídrica de 2014, a Sabesp adotou uma série de medidas estratégicas que resultaram na queda de 30% da retirada de água dos mananciais da Grande São Paulo – de 71 m³/s em janeiro de 2014 para 50 m³/s em fevereiro de 2015. O Sistema Cantareira, mais gravemente impactado, foi o que recebeu maior atenção, sendo que sua contribuição para o abastecimento da metrópole apresentou queda de 56% na produção de água – de 33 m³/s no início da crise para 14 m³/s, em março de 2015. (SABESP, 2015)

4.4 Estudo de caso Campus USP - CUASO

Vários programas foram implementados para tentar diminuir o consumo de água ao longo dos anos no campus. Um dos mais conhecidos é o novo PUERHE-USP.

No ano de 2014, a CUASO experimentou a maior taxa de redução do consumo de água, de acordo com a Tabela 4.8 - Redução da demanda hídrica do Campus CUASO, de 18%. Neste período, a Região Metropolitana de São Paulo experimentou a maior crise de escassez em sua história, e esta taxa refere-se à consciência da população para economizar água, juntamente com a falta real de água.

Tabela 4.8 - Redução da demanda hídrica do Campus CUASO

Ano	Demanda água CUASO (m³/mês)	Em relação ao ano anterior	Em relação à 1998
1998	137.881		
1999	116.850	-15%	-15%
2000	107.980	-8%	-22%
2001	94.364	-13%	-32%
2002	93.748	-1%	-32%
2003	91.183	-3%	-34%
2004	80.743	-11%	-41%
2005	79.623	-1%	-42%
2006	82.315	3%	-40%
2007	82.946	1%	-40%
2008	76.533	-8%	-44%
2009	66.507	-13%	-52%
2010	70.531	6%	-49%
2011	78.821	12%	-43%
2012	80.983	3%	-41%
2013	81.005	0%	-41%
2014	66.247	-18%	-52%
2015	57.785	-13%	-58%
2016	58.818	2%	-57%

Fonte: Adaptado de COSTA, 22 mai. 2017 e PUERHE - USP, 2017

Conforme ilustra a Figura 4.6 - Demanda de água no Campus USP - CUASO, as ações da PUERHE-USP conseguiram reduzir o consumo de água desde 1998 no CUASO de 138 mil m³/mês para 59 mil m³/mês.

Figura 4.6 - Demanda de água no Campus USP - CUASO

Fonte: PUERHE - USP, 2017

Foram adotadas algumas hipóteses que são as células hachuradas em amarelo da Tabela 4.9 - Energia consumida das bombas no Campus CUASO implementadas e melhor opção simulada com o valor hachurado estimado. Os valores adotados para poço artesiano (PA) PA4, PA5 e PA6 são: horas de trabalho, dias de trabalho, profundidade do bombeamento e modelo de bomba, e estes valores são decisivos. Caso todas as seis bombas fossem acionadas, conferiria um total de 38.768 m³/mês de água para o Campus.

Tabela 4.9 - Energia consumida das bombas no Campus CUASO implementadas e melhor opção simulada com o valor hachurado estimado

Poços	Status	Vazão m ³ /h	Horas diárias trabalhadas	Dias trabalhados	Vazão m ³ /mês	Profundidade	Modelo da Bomba	Potência (kW) da Bomba	Consumo de energia (kWh/mês)	Eficiência (kWh/m ³)
PA1	Outorga requerida	37,89	20	22	16.672	64	EBARA, BHS 516-05	6,7	2.938	0,11
PA2	Outorga requerida	20	20	22	8.800	47,5	EBARA, BHS 512-05	5,6	2.462	0,17
PA3	Outorga requerida	4,44	20	22	1.954	152	EBARA, BHS 411-08	3,4	1.477	0,46
SUBTOTAL		62,33			27.425			15,6	6.877	0,15
PA4	Outorga não requerida	2,88	20	22	1.267	88	EBARA 4BPS3-15	1,49	656	0,32
PA5	Outorga não requerida	16,36	20	22	7.198	88	EBARA 4BPS18-14	5,59	2.460	0,21
PA6	Outorga não requerida	6,54	20	22	2.878	88	EBARA 4BPS8-13	2,98	1.311	0,28
TOTAL		150,44			38.768				11.303	

Fonte: Adaptado de COSTA, 22 mai. 2017

A quantidade subtotal de energia consumida pelas três bombas que já possuem a outorga requerida pelo DAEE é de 6.877 kWh / mês. O que perfaz um montante de 82.520 kWh / ano, ou seja, 0,082 GWh / ano, conforme dados da Tabela 4.10 - Impacto do abastecimento por água subterrânea da CUASO nos custos de energia da USP

No ano de 2014 foi consumido 146 mil MWh (146GWh) em todos os Campus da Universidade. A implementação do bombeamento de águas subterrâneas (três sistemas já outorgados) no CUASO representaria 0,06% do total do consumo de energia da USP.

No entanto, esse pequeno aumento de 0,06% no consumo de energia, os ganhos com a obtenção de águas subterrâneas são consideráveis, pois, no ano de 2016, o CUASO usou

58818 m³ e a implementação do bombeamento de águas subterrâneas, apenas com as três bombas para o seu foram necessárias as ultrapassagens governamentais daria 27425 m³ de ano, significa 47% do consumo anual de água.

Caso os seis poços de águas subterrâneas existentes na CUASO fossem reativados, haveria a parcela de 0,09% no consumo de energia da USP e um suprimento de 66% da demanda de água no CUASO.

Tabela 4.10 - Impacto do abastecimento por água subterrânea da CUASO nos custos de energia da USP

Poços	kWh/ano	GWh/ano	Parcela de consumo da energia total da USP
PA1	35.253	0,035	0,02%
PA2	29.542	0,029	0,02%
PA3	17.725	0,017	0,01%
SUBTOTAL	82.520	0,082	0,06%
PA4	7.867	0,007	0,01%
PA5	29.515	0,029	0,02%
PA6	15.734	0,016	0,01%
TOTAL	135.636	0,136	0,09%

Fonte: autoria própria

É possível adotar a geração fotovoltaica de energia, visto a crescente viabilidade econômica de tal estratégia, para reduzir os custos com energia e ser mais sustentável, utilizando um recurso renovável e conferindo maior resiliência ao sistema.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Há uma indissociável relação entre águas subterrâneas e energia no Brasil, visto que a matriz energética brasileira está majoritariamente baseada nos recursos hídricos superficiais. Muitas regiões passam por um estresse hídrico, o que faz aumentar o interesse pela exploração das águas subterrâneas. A recarga dos mananciais subterrâneos depende da hidrologia e da pluviometria da região. Durante um cenário de crise hídrica, a escassez pluviométrica atinge também os aquíferos.

Atualmente, segundo a Agência Nacional de Águas, mais de 2000 municípios são abastecidos exclusivamente por águas subterrâneas. O presente trabalho revela que 2,6% das demandas energéticas nacionais (12TWh) são destinados ao bombeamento de águas subterrâneas para abastecimento público nos principais sistemas aquíferos brasileiros. O Planejamento Integrado dos Recursos e a adoção de motores de alta eficiência são soluções mais viáveis.

As ações e investimento em eficiência energética no bombeamento de águas subterrâneas levam o Brasil a um desenvolvimento sustentável através da economia dos recursos energéticos. A troca de equipamentos de bombeamento das águas subterrâneas, para equipamentos mais eficientes se mostra como uma ação relevante a fim de reduzir o consumo de energia elétrica para este setor.

O mapa da quantidade de energia elétrica utilizada para o bombeamento de águas subterrâneas nos principais aquíferos brasileiros revela que os aquíferos da Serra Geral e Bauru-Caiuá, localizados no sudeste do Brasil são os aquíferos onde mais se utiliza energia para exploração das suas águas e ações de eficiência energética nos poços destas regiões poderia retornar em grandes ganhos.

É fundamental a preparação para cenários de desastres naturais como o que ocorreu durante a crise hídrica da Região Metropolitana de São Paulo. A preparação para grandes períodos sem precipitação requer atenção para a exploração de águas subterrâneas, reativamento de poços, como o que se cogitou em fazer no Campus da Cidade Universitária da Universidade de São Paulo. Este estudo revela que 66% da demanda hídrica atual do Campus CUASO poderia ser suprida com águas subterrâneas provenientes de seis poços já

existentes, acarretando um aumento de 0,09% nos custos com energia elétrica total na Universidade de São Paulo.

Porém os recursos são limitados e novas formas de exploração de recursos energéticos, como por exemplo, o fraturamento hidráulico, tende a entrar no país. Os trabalhos futuros devem contemplar a elaboração de mapas diagnósticos e cenários futuros dos usos de ambos os recursos com elaboração de gráficos e análises econômicas pertinentes e como principal produto visa elaborar um plano de segurança hidroenergética para bombeamento de águas subterrâneas brasileiras.

A escassez dos recursos naturais para fins energéticos, faz aumentar a pressão por fontes alternativas de energia e também por processos não-convencionais de obtenção de recursos energéticos, antes desconsiderados. O fraturamento hidráulico entra no cenário geopolítico como uma processo não-convencional de petróleo e gás para suprir as crescentes demandas energéticas mundiais. No Brasil há grande presença de gás e petróleo em rochas denominadas folhelhos, o que lhe coloca em grande relevância energética. As reservas de petróleo e gás de folhelho brasileiras estão situadas em bacias sedimentares, devido à conformação geológica. Devido à esta mesma conformação, sobrepostos às reservas energéticas, estão situados os aquíferos, as reservas hídricas. Portanto mais trabalhos neste sentido de segurança hidroenergética devem ser formulados.

A principal contribuição de trabalhos futuros neste sentido é fornecer elementos para o melhor gerenciamento dos recursos hídricos e energéticos brasileiros, preenchendo as lacunas de conhecimento para a exploração sustentável dos recursos, de modo a apontar diretrizes para atingir elevados patamares de segurança hidroenergética brasileira.

6. REFERÊNCIAS

- ABAS (ED.). **Águas subterrâneas, o que são?** São Paulo, 2017. Disponível em: <<http://www.abas.org/educacao.php>>. Acesso em: 24 mar. 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Atlas Brasil:: Abastecimento Urbano de água, v. 1, 2010a. Acesso em: 4 nov. 2015.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Cadernos de Recursos Hídricos: Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil, 2005b. Acesso em: 14 dez. 2015.
- ALBUQUERQUE, JOSÉ DO PATROCÍNIO TOMAZ; RÊGO, Janiro Costa. Sistemas aquíferos brasileiros: o verdadeiro significado hidrogeológico, 2008. Disponível em: <http://www.consultaesic.cgu.gov.br/busca/dados/Lists/Pedido/Attachments/422212/PEDIDO_Sistemas%20Aquiferos%20Brasileiros.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2017.
- ALLEN, Barbara; DOWTY BEECH, Rachel A. **Dynamics of Disaster:** Lessons on Risk, Response and Recovery. Hoboken: Taylor and Francis, 2013. 464 p. (The Earthscan Science in Society Series). ISBN 9781849711432. Disponível em: <<http://gbv.ebibli.com/patron/FullRecord.aspx?p=1397299>>.
- BARBOSA JR., Antenor R. **ÁGUA SUBTERRÂNEA / HIDRÁULICA DE POÇOS**, 2000. Acesso em: 5 fev. 2017.
- BGR - BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE. Groundwater: Groundwater resources in Germany. Disponível em: <https://www.whymap.org/EN/Themen/Wasser/grundwasser_deutschland_en.html?nn=1548136>. Acesso em: 22 mai. 2017.
- BOLDRIN, MIRTES T. N., CUTRIM, ALETERÊDO O. Aspectos da gestão de águas subterrâneas urbanas, 2011. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/4f2b4534ab3e2128ddff8e0f4b78b856_fddb6dbc4131bfe0063957e56442af5b.pdf>. Acesso em: 4 nov. 2015.
- BRUCKMANN, Mónica. **Recursos Naturales y la geopolítica de la Integración Sudamericana**. Rio de Janeiro (RJ), 2016. 37 p.
- CARVALHO, Débora dos Santos. **Bombeamento emergencial durante estiagem Sistema Cantareira**. São Paulo, 15 jan. 2015.
- CLETO, ALBERTO CARLOS DA COSTA. **Motores elétricos de alto rendimento**. Lisboa, 2012. 93 p. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/68328/1/000154264.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2015.
- COLLINGS, Ben. **Global aquifer water-level anomalies from GRACE satellites showing the Canning aquifer in north-west Australia with the third-highest rate of depletion in the world:** Water Resource Research, 2015. Disponível em: <<http://www.abc.net.au/news/2015-06-30/west-kimberleys-canning-aquifer-depleted-by-fewer-cyclones/6584466>>. Acesso em: 20 ago. 2017.

-
- COLLIVIGNARELLI, Carlo. Water safety: one of the primary objectives of our time. **Rev. Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, 2017. Disponível em: <http://www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/view/1902/pdf_1>, p. 1–7.
- COSTA, Douglas Correia. **Dados dos poços USP**. São Paulo, 22 mai. 2017.
- DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO; UNESP; GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Águas subterrâneas no Estado de São Paulo: Diretrizes de Utilização e Proteção**. São Paulo, 2013. Disponível em: <[http://www.dae.sp.gov.br/acervoepesquisa/Atlas%20-%20C3%81guas%20Subterr%20A2neas%20\(DAEE-LEBAC\).pdf](http://www.dae.sp.gov.br/acervoepesquisa/Atlas%20-%20C3%81guas%20Subterr%20A2neas%20(DAEE-LEBAC).pdf)>.
- DANCOR. **Bombas submersas 4"**: Manual de Utilização e Instalação, 2017. 24 p. Disponível em: <http://www.dancor.com.br/dancor-site-novo/public/uploads/manuais/spp_man.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2017.
- DINIZ, João Alberto Oliveira; MONTEIRO, Adson Brito; SILVA, Robson de Carlo; PAULA, Thiago Luiz Feijó. **Mapa hidrogeológico do Brasil ao milionésimo: Nota técnica**. Recife: CPRM - Serviço geológico do Brasil, 2014. Acesso em: 8 dez. 2016.
- DUARTE, Carla G. **Avaliação de sustentabilidade: conceitos, ferramentas e estudos de caso**: Notas de aula Disciplina Sustentabilidade nas Indústrias Extrativas. São Paulo, 2016. 12 p.
- DUTRA, José; GONÇALVES, Edson; SANCHES, Amanda. Valoração do custo de escassez de energia elétrica e gestão de Riscos. **Eletroevolução**, p. 18–24, 2014. Acesso em: 8 ago. 2016.
- EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (ED.). **Estudos da Demanda de Energia**. Rio de Janeiro (RJ), 2014. 90 p.
- EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Consumo de energia elétrica no país em 2016. Disponível em: <www.epe.gov.br>.
- FABHAT - FUNDAÇÃO AGÊNCIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos: Bacia Hidrográfica do Alto Tietê - UGRHI 06**.
- FEM. EXPERIÊNCIA Nº 5 - MEDIDA DA EFICIÊNCIA DE UM AQUECEDOR DE ÁGUA A GÁS. Acesso em: 15 mar. 2017.
- FERREIRA, Rafael. O que é Estresse Hídrico | ((o))eco. Disponível em: <<http://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/27678-o-que-e-estresse-hidrico/>>. Acesso em: 11 jan. 2017.
- GIAMPÁ, Carlos Eduardo Quaglia; GONÇALES, Valter Galdiano. **Orientações para a utilização de águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2005. 40 p. Acesso em: 14 jan. 2017.
- GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. **Energia, meio ambiente & desenvolvimento**. 3. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008. 396 p. ISBN 978-85-314-1113-7.
- GRANT, David B. **Sustainable Logistics and Supply Chain Management (Revised Edition)**: Energy Generation and groundwater. London: Kogan Page, 2015. 255 p. ISBN 9780749473860. Disponível em: <<http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=1977654>>.
-

-
- HIRATA, Ricardo; CONICELLI, Bruno P. Groundwater resources in Brazil: a review of possible impacts caused by climate change. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 84, n. 2, p. 297–312, 2012. doi:10.1590/S0001-37652012005000037.
- HIRATA, Ricardo; ZOBY, José Luiz Gomes; OLIVEIRA, Fernando Roberto. Água subterrânea: Reserva Estratégica ou Emergencial, p. 149–161, 2011. Acesso em: 4 nov. 2015.
- IBGE :: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Projeção da População do Brasil por sexo e idade: 2000-2060. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/projecao_da_populacao/2013/default_tab.shtm>. Acesso em: 15 jan. 2017.
- JORNAL DO CAMPUS. Poços de água são reativados na USP. Disponível em: <<http://www.jornaldocampus.usp.br/index.php/2015/09/pocos-de-agua-sao-reativados-na-usp/>>. Acesso em: 28 fev. 2017.
- KÖPP, Luciana Marini; PEITER, Marcia Xavier; ROBAINA, Adroaldo Dias; GIRARDI, Leonita Beatriz. Performance indices for pumping stations in irrigated rice fields. **Ciência Rural**, v. 46, n. 8, p. 1384–1389, 2016. doi:10.1590/0103-8478cr20150849.
- KSB. **Easyselect**: Seleccionador de bombas e válvulas: KSB, 2017. Disponível em: <<https://www.ksb.com/ksb-pt/KSB-EasySelect/>>. Acesso em: 16 mar. 2017.
- MACINTYRE, A. J. **Bombas e instalações de bombeamento**. 2. ed. Rio de Janeiro (RJ): LTC, 1997. 782 p. ISBN 978-85-216-1086-1.
- MARQUES, Marcelo Giulian; KURITZA, Joice; LOPES, Raynner; CASTIGLIO, Guilherme. CURSO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E DIAGNÓSTICO HIDROENERGÉTICO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA, 2015. Acesso em: 27 out. 2017.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Relatório Final BEN 2015, 2015. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2016.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Águas Subterrâneas no Brasil. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas>>. Acesso em: 4 nov. 2015.
- MORRISON-SAUNDERS, Angus; POPE, Jenny; BOND, Alan (Ed.). **Handbook of sustainability assessment**. Cheltenham: Elgar, 2015. 463 p. (Research handbooks on impact assessment). ISBN 9781783471362.
- NASCIMENTO, Sérgio Oliva. **Águas subterrâneas têm boa qualidade por menor custo**, 2014. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/aguas-subterraneas-tem-boa-qualidade-por-menor-custo>>. Acesso em: 4 fev. 2017.
- PERLMAN, Howard; USGS. Groundwater depletion, USGS water science. Disponível em: <<https://water.usgs.gov/edu/gwdepletion.html>>. Acesso em: 3 mar. 2017.
- PIMIENTA, J. **La captación de aguas subterráneas**: Editores Técnicos Asociados, 1980. ISBN 9788471461865. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=OPj61eak4ycC>>.
- PROJETO DE PROTEÇÃO AMBIENTAL E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI. **Manual de perfuração de poços tubulares para investigação e captação de água subterrânea no Sistema Aquífero Guarani**. 178 p. ISBN 978-9974-96-266-8. Acesso em: 25 fev. 2017.
-

-
- PUERHE - USP. **Consumo de água da cidade universitária da USP**. São Paulo, 2017.
- REDE NACIONAL DE CAPACITAÇÃO E EXTENSÃO TECNOLÓGICA EM SANEAMENTO AMBIENTAL – RECESA. **Gerenciamento de Perdas de Água e Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento**: Guia do profissional em treinamento. Salvador, 2008. 139 p. Acesso em: 3 abr. 2017.
- ROCHA, Gerônimo. **Mapa de águas subterrânea do Estado de São Paulo**: Escala 1:1.000.000. São Paulo: DAEE- Departamento de Águas e Energia Elétrica : IG-Instituto Geológico : IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo : CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 2005. Acesso em: 6 dez. 2016.
- SABESP. **Crise Hídrica**: Estratégias e soluções da Sabesp. São Paulo, 2015. 95 p. Acesso em: 31 jan. 2017.
- SAITO, Silvia. Desastres Naturais: conceitos básicos. In: INPE; CRECTEALP; UFSM (Org.). **I ESCUELA DE PRIMAVERA SOBRE SOLUCIONES ESPACIALES PARA EL MANEJO DE DESASTRES NATURALES Y RESPUESTAS DE EMERGENCIAS-INUNDACIONES**. Santa Maria / RS. 12/12/2008, 2008.
- SAMBITO, M.; PULEO, V.; FRENÍ, G. Energy, water and environmental balance of a complex water supply system. In: BREBBIA, C.A. (Org.). **WATER AND SOCIETY 2015**. A Coruña, Spain. 15-17 July 2015: WIT PressSouthampton, UK, 2015 (WIT transactions on ecology and the environment, p. 67–77).
- SIMONATO, Mateus Delatim. **Custo de energia elétrica no bombeamento de poços em áreas de intensa exploração: estudo de caso em São José do Rio Preto - SP**, 2013. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44138/tde-02012014-152520/publico/MateusSimonato.pdf>>.
- SINIMBU, Fabíola; JADE, Líria. Mais de 850 municípios brasileiros enfrentam problemas por falta de água em 2017. **Agência Brasil**, 2017. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2017-03/mais-de-850-municipios-brasileiros-enfrentam-problemas-por-falta-de-agua-em>>. Acesso em: 20 jan. 2018.
- TSUTIIYA, Milton Tomoyuki (Ed.). **Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água**. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001. ISBN 85-900823-4-2.
- UN-HABITAT; ICLEI – LOCAL GOVERNMENTS FOR SUSTAINABILITY. **Sustainable Urban Energy Planning**: A handbook for cities and towns in developing countries. Nairobi, 2009. 84 p. Acesso em: 4 fev. 2017.
- USA TODAY. Pumped Dry. Disponível em: <<http://www.usatoday.com/pages/interactives/groundwater/>>. Acesso em: 2 mar. 2017.
- USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Programa de gestão de água e energia da USP apresenta ações, 2015. Disponível em: <<http://www.usp.br/imprensa/?p=54330>>.
- USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **USP cria programa para gerir uso de água e energia elétrica**. São Paulo, 2017. Disponível em: <<http://www.usp.br/agen/?p=225656>>.
- WENDLAND, Edson. **Aquífero Guarani diminui com a falta de chuvas**. São Carlos, 22 ago. 2014. Disponível em: <<https://www.jornalpp.com.br/cidades/item/68246-aquifero-guarani-diminui-com-a-falta-de-chuvas>>.
-

WORLD BANK. **Water and Development:** An Evaluation of World Bank Support, 1997-2007, Volume 2. Appendixes. Washington, DC: World Bank, 2012. (IEG Study Series, 1). ISBN 9780821383933. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10986/2497>>.

WORLD RESOURCES INSTITUTE. Water Stress. Disponível em: <<http://www.wri.org/sites/default/files/uploads>>. Acesso em: 20 ago. 2017.

7. ANEXOS

7.1 Curvas características das bombas

Bombas submersas de poço artesiano

Figura 7.1 - Curvas características bomba para profundidade média e vazão média
Bacia Hidrogeográfica Solimões
 (KSB, 2017)

7.2 Principais medidas de eficiência energética

Figura 7.2 - Principais medidas em eficiência energética

POLÍTICAS E MEDIDAS	DESCRIÇÃO/OBJETIVO DO MECANISMO/METAS
TRANSVERSAIS	
Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf)	O PNEf tem como objetivo, orientar as ações a serem implementadas no sentido de se atingir metas de economia de energia no contexto do Planejamento Energético Nacional. A meta adotada no PNEf é a redução de 10% (106.623 GWh) do consumo de energia elétrica no ano 2030.
Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE)	O PBE é um programa de etiquetagem de desempenho, com a finalidade de contribuir para a racionalização do uso da energia no Brasil através da prestação de informações sobre a eficiência energética dos equipamentos disponíveis no mercado nacional. A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) classifica os equipamentos, veículos e edifícios em faixas coloridas, em geral de "A" (mais eficiente) a "E" (menos eficiente), e fornece outras informações relevantes, como, por exemplo, o consumo de combustível dos veículos e a eficiência de centrifugação e de uso da água em lavadoras de roupa.
Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL)	Combater o desperdício de energia elétrica, Estimular o uso eficiente e racional de energia elétrica e Fomentar e apoiar a formulação de leis e regulamentos voltados para as práticas de eficiência energética. O PROCEL atua nas áreas: Educação, Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética (Procel Info), Selo Procel, Edificações, Prédios públicos, Gestão Energética Municipal, Indústria, RELUZ e SANEAR. Os resultados alcançados em 2012 foram: 9.097GWh de energia economizada, que equivale a uma usina equivalente a 2.182 MW.
Selo PROCEL	O Selo Procel tem por objetivo orientar o consumidor no ato da compra, indicando os produtos que apresentam os melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria. Os produtos contemplados com o Selo Procel, normalmente são caracterizados pela faixa "A".
RELUZ	Implementar projetos de eficiência energética nos sistemas de iluminação pública e sinalização semafórica
Programa Nacional para uso racional de derivados de petróleo e gás natural (CONPET)	Racionalizar o consumo dos derivados do petróleo e do gás natural; reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera; promover a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico; e fornecer apoio técnico para o aumento da eficiência energética no uso final da energia.O CONPET atua nas áreas: Eficiência Energética de Equipamentos, na Educação e no Transporte.
Programa de Eficiência Energética das Empresas de Distribuição - PEE.	As distribuidoras, devem aplicar um % mínimo da receita operacional líquida (ROL) em Programas de Eficiência Energética. 0,5% até 2015; 60% baixa renda. Resultados do PEE em 2012: 3.800 GWh/ano de energia economizada com 1.078 projetos por tipologia
PROESCO	O objetivo do PROESCO é apoiar os projetos de eficiência energética no país. O PROESCO abrange as áreas que contribuem para a economia de energia: iluminação, motores, otimização de processos, ar comprimido, bombeamento, ar-condicionado e ventilação, refrigeração e resfriamento, produção e distribuição de vapor, aquecimento, automação e controle, distribuição de energia e gerenciamento energético.
Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC	A PNMC formaliza o compromisso voluntário do Brasil junto à Convenção-Quadro da ONU sobre Mudança do Clima de redução de emissões de gases de efeito estufa entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020. Esforços na direção da eficiência energética e da conservação de energia, como forma de redução de consumo, evitando geração adicional e reduzindo as emissões de gases de efeito estufa.
Programa Tecnológico para Mitigação de Mudanças Climáticas- Proclima	Criado em 2007, pela Petrobras, o objetivo da iniciativa é prover soluções tecnológicas para a redução da intensidade de emissões de gases de efeito estufa (GEE) em seus processos e produtos, visando a garantir a sustentabilidade de seus negócios e contribuir para a mitigação das mudanças climáticas globais.
Programa Fundo Clima - BNDES	Apoiar a implantação de empreendimentos, a aquisição de máquinas e equipamentos e o desenvolvimento tecnológico relacionados à redução de emissões de gases do efeito estufa e à adaptação às mudanças do clima e aos seus efeitos
PAC2 Mobilidade Grandes Cidades	objetiva requalificar e implantar sistemas estruturantes de transporte público coletivo, visando a ampliação da capacidade e promovendo a integração intermodal, física e tarifária do sistema de mobilidade nos grandes centros urbanos.
Compras Públicas Sustentáveis	Medidas para a Administração Pública Federal adquirir equipamentos com Selo Procel ou com etiqueta nível "A" no PBE
Lei de eficiência energética	Estabelece níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, com base em indicadores técnicos pertinentes.
Plano Inova Energia	O plano abrange quatro linhas de inovação: redes inteligentes, que distribuem a energia de maneira mais eficiente; melhoria na transmissão de longa distância em alta tensão; energias alternativas, como a solar e termossolar; e desenvolvimento de dispositivos eficientes para veículos elétricos, que possam contribuir para a redução na emissão de poluentes nas cidades. Orçamento de R\$ 3 bilhões no desenvolvimento
Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura - REIDI	É beneficiária do REIDI a pessoa jurídica que tenha projeto aprovado para implantação de obras de infra-estrutura nos setores de transportes, portos, energia, saneamento básico e irrigação. Esse regime especial dá isenção da exigência da contribuição para o PIS/PASEP e da COFINS nas aquisições e importações de bens e serviços vinculadas ao projeto de Infraestrutura aprovado, realizadas no período de cinco anos contados da data da habilitação de pessoa jurídica, titular do projeto de infraestrutura.
Planos de Gestão de Logística Sustentável	São ferramentas de planejamento que permitem aos órgãos ou entidades estabelecer práticas de sustentabilidade e racionalização de gastos e processos na Administração Pública.
TRANSPORTES	
Programa de controle de poluição do ar por veículos Automotores (PROCONVE)	reduzir e controlar a contaminação atmosférica por fontes móveis (veículos automotores). fixando prazos, limites máximos de emissão e estabelecendo exigências tecnológicas para veículos automotores, nacionais e importados.
Etiquetagem de veículos leves (PBE)	A etiqueta têm o objetivo de informar ao consumidor o nível de eficiência energética do produto adquirido
PNLT - Plano Nacional de Logística e Transportes	O plano tem como objetivo resgatar o planejamento e considera aspectos logísticos, custos envolvidos em toda a cadeia de transporte partindo das origens até os destinos, sustentabilidade com o meio ambiente, redução das desigualdades regionais, indução ao desenvolvimento sustentável e uso adequado das modalidades ferroviária e aquaviária no transporte de cargas. O plano tem como meta que em 2031 a matriz de transporte alcance uma distribuição de: rodoviário 38%, ferroviário 43%, hidroviário 6%, dutoviário 4% e cabotagem 9%. Reduções evitadas de 42 milhões de CO2eq
Redução do IPI veículos "flex" e a gasolina de até 1.000 cilindradas	A medida visa estimular a produção e o consumo de veículos que consomem menos combustível
Inovar Auto	Mais competitividade, tecnologia e segurança para os carros produzidos e vendidos no Brasil. A meta-alvo é 17,26 km/l (gasolina) e 11,96 km/l (etanol). Hoje, o consumo médio nacional é de 14 km/l (gasolina) e 9,71 km/l (etanol).
PNMU - Política Nacional de Mobilidade Urbana	Tem como objetivo a integração entre os diferentes modos de transporte e a melhoria da acessibilidade e mobilidade das pessoas e cargas no território do Município
INDÚSTRIA (inclui indústrias produtoras de energia)	
Incentivo à P&D na Indústria	Por força de lei, a Petrobras tem renúncia fiscal para apoio a projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D), que contam com 0,5% do faturamento bruto da empresa.
Programa de Ajustes para Redução da Queima de Gás Natural (ANP)	O Programa de Ajuste para Redução da Queima de Gás Natural (Parq), é uma exigência que foi implementada em 2010 pela ANP.
Programa de Aumento da Eficiência Operacional (PROEF) - Petrobras	Aumento da confiabilidade de entrega da curva de óleo através da melhoria dos níveis de eficiência operacional e da integridade dos sistemas de produção antigos da Bacia de Campos e minimização de riscos de perdas de eficiência dos sistemas mais recentes.
Programa Interno de Eficiência Energética - Petrobras	A Petrobras conta com 38 Comissões Internas de Conservação de Energia, desenvolve e implementa projetos de melhoria em eficiência energética que visam a redução do consumo de energia elétrica e redução do consumo de combustíveis em suas unidades
Programa de Otimização de Infraestrutura Logística (Infralog) - Petrobras	Planejamento integrado, acompanhamento e gestão de projetos e ações para atender às necessidades de infraestrutura logística da Petrobras até 2020
EDIFICAÇÕES	
Lei de banimento de lâmpadas incandescentes	Banimento gradativo das lâmpadas incandescentes por faixa de potência através da Portaria Interministerial MME/MCTI e MDIC, nº 1.007/2010.
Etiquetagem de Edificações Comerciais, Públicas e Residenciais	A etiqueta têm o objetivo de informar ao consumidor o nível de eficiência energética do produto adquirido
Programa Minha Casa, minha vida (aquecimento solar)	É um programa para a contratação de unidades habitacionais com prioridade às famílias de baixa renda. A meta é atingir 2 milhões de residências até 2014. O sistema de aquecimento solar de água substitui o chuveiro elétrico, reduzindo o consumo de eletricidade das casas e se tornando um importante aliado para a redução do horário de ponta.
Selo Caixa Azul (construção sustentável)	Programa de construção sustentável. O Selo Casa Azul CAIXA, tem como objetivo o reconhecimento e incentivo de projetos que demonstrem suas contribuições para a redução de impactos ambientais,
BNDES ProCopa Turismo	O BNDES ProCopa Turismo conta com dois subprogramas com condições especiais de financiamento para empreendimentos hoteleiros que obtenham certificações de sustentabilidade ou de eficiência energética: BNDES ProCopa Turismo - Hotel Sustentável (exige certificado de construção sustentável) e BNDES ProCopa Turismo - Hotel Eficiência Energética (exige certificado de eficiência energética). Financiamento de construção, reforma, ampliação e modernização de hotéis, de forma a aumentar a capacidade e qualidade de hospedagem em função da Copa do Mundo de 2014.
AGRICULTURA	
Política Nacional de Irrigação	Equipamentos para uso eficiente da água, modernizar instrumentos e implantar sistemas de suporte à irrigação
Programa de Incentivo à Irrigação e à Armazenagem - Moderinfra	Apoiar o desenvolvimento da agropecuária irrigada sustentável, econômica e ambientalmente, de forma a minimizar o risco na produção e aumentar a oferta de produtos agropecuários

EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2014