



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS DE CHAPECÓ
CURSO DE AGRONOMIA

DILUAN LUIZ PALOMBIT

GERAÇÃO DE ENERGIA HIDRELÉTRICA EM PROPRIEDADES RURAIS
DO OESTE CATARINENSE - UM ESTUDO DE CASO

CHAPECÓ

2019

DILUAN LUIZ PALOMBIT

**GERAÇÃO DE ENERGIA HIDRELÉTRICA EM PROPRIEDADES DO OESTE
CATARINENSE - UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul, como requisito para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. João Guilherme Dal Belo Leite

CHAPECÓ

2019

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Palombit, Diluan Luiz
GERAÇÃO DE ENERGIA HIDRELÉTRICA EM PROPRIEDADES
RURALS DO OESTE CATARINENSE: UM ESTUDO DE CASO / Diluan
Luiz Palombit. -- 2019.
40 f.:il.

Orientador: Doutor João Guilherme Dal Belo Leite.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Agronomia, Chapecó, SC , 2019.

1. Energia Renovável. 2. Geração Descentralizada . 3.
Agricultura Familiar. 4. Hidroelétrica. I. Leite, João
Guilherme Dal Belo, orient. II. Universidade Federal da
Fronteira Sul. III. Título.

DILUAN LUIZ PALOMBIT

**GERAÇÃO DE ENERGIA HIDRELÉTRICA EM PROPRIEDADES RURAIS DO
OESTE CATARINENSE - UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador: Prof. Dr. João Guilherme Dal Belo Leite

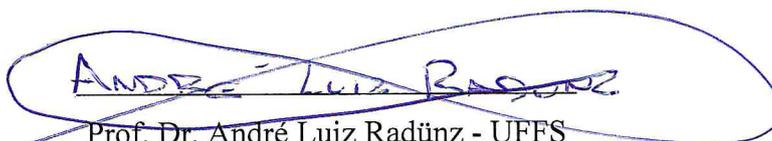
Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em:
05/07/2019.

BANCA EXAMINADORA



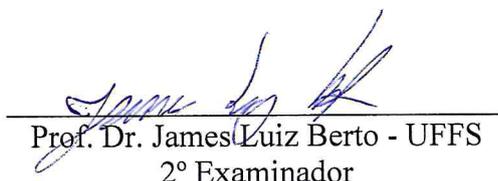
Prof. Dr. João Guilherme Dal Belo Leite - UFFS

Orientador



Prof. Dr. André Luiz Radünz - UFFS

1º Examinador



Prof. Dr. James Luiz Berto - UFFS

2º Examinador

Dedico este trabalho ao planeta Terra e todos nós que vivemos sobre este gigante que nos sustenta, espero que seja útil na árdua tarefa de salvar a ele e a todos nós.

RESUMO

As hidroelétricas somam 65% do total de energia elétrica produzida no Brasil, a forte dependência desta fonte de energia renovável e barata fez com que o Sul e Sudeste, locais com concentração de indústrias e centros urbanos já exaurissem o potencial hidráulico dos principais cursos de água nestas regiões já há mais de 30 anos. Em 2000, o cenário brasileiro de descaso para com a busca de novas fontes de energia culminou em uma crise energética nos anos seguintes. Para resolver a situação se construíram 49 usinas termoeletricas. O que seria uma medida paliativa até que se encontrassem novas fontes baratas e renováveis de energia, acabou se tornando definitivo, e hoje o Brasil volta a encerrar a possibilidade de uma crise energética. Neste cenário, o presente trabalho analisou a capacidade de geração hidroelétrica em uma pequena propriedade rural familiar no interior do município de Palmitos SC, com o objetivo de identificar o potencial deste tipo de energia em pequenos cursos de água. A propriedade em questão foi escolhida devido sua representatividade da realidade do oeste catarinense, é familiar, possui relevo acidentado e tem confrontação com um pequeno curso d'água. Foi avaliada a vazão do córrego durante seis meses, através da medição da área da seção transversal do rio e velocidade do fluxo de água, e altura manométrica. O modelo de instalação do empreendimento foi estimado devido às características do riacho, deste modo se definiu que o modelo de turbina Crossflow, e o valor foi levantado com empresas especializadas. No período de estudo vazão variou de $0,101 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ a $0,009 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, efeito da sazonalidade das chuvas e o desnível manométrico é de 17,318 m, possibilitando uma capacidade instalada média dos seis meses estudados de 5,3 kW ou 3.816 kWh ao mês, que valores atuais significam R\$ 1602,00 ao mês. O custo estimado para instalação é de R\$ 77.600,00. Foram utilizados três indicadores econômicos para avaliar a atratividade do projeto, *Payback*, VPL e TIR. O projeto demonstrou ser atrativo em dois dos três cenários simulados. No cenário mais otimista, a TIR foi de 74%, o VPL R\$ 133.062,46 e o *Payback* em dois anos e um mês. Além disso, o estudo mostrou que a geração de hidroenergia é 35% menos custosa que a energia fotovoltaica, sendo, portanto, uma alternativa a geração de energia renovável em propriedades rurais.

Palavras Chave: Energia Renovável. Geração Descentralizada. Agricultura Familiar. Hidroelétrica.

ABSTRACT

The hydroelectric facilities represent 65% of the total amount of electric energy produced in Brazil, the strong dependency from this form of cheap and renewable energy makes that South and Southeastern regions have already exhausted its hydraulic potential of the main rivers, mostly 30 years ago. In 2000, the Brazilian scenario of negligence around the search of new resources of energy culminated in an energy crisis in the following years. To solve the matter, was built 49 thermoelectric facilities. What was proposed to be a palliative step until find new cheap and renewable energy sources, become the main solution, and today, Brazil has to face again the possibility of an energy crisis. In this scenario, the present work analyzed the energy generation capacity of a small family-run farm in the countryside of Palmitos SC County, with the objective to identify the potential of this kind of energy in small rivers. The farm was chosen by its representativeness of the Santa Catarina west region, its family-run, hilly area, and its surrounded by a small river. Was analyzed the river flow rate over six months, measuring the cross section of the river and the water flow speed, and the gauge. The facility model for the development was estimated due the river characteristics, the chosen model so, was the Crossflow turbine, and the value was estimated with specialized companies. In the period of studies, the flow rate varied from $0,101 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ à $0,009 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, effect of the rain seasonality, and the gauge is 17,318 m, giving an media installed capacity from the six months of 5,3 kW, or 3.816 kWh per month, which in current values means R\$ 1602,00 per month. The total cost estimated is R\$ 77.600,00. Were utilized three economic indicators to evaluate the attractiveness of the project, Payback, NPV and IRR. The project demonstrated to be attractive in two of three simulated scenarios. In the most optimist the IRR was 74%, the NPV R\$ 133.062,46 and the *Payback* in two years and one month. Besides that, the study reveals that the hydro energy is 35% cheaper than the photovoltaic energy, being, by the way, one renewable energy alternative source in farms.

Keywords: Renewable Energy. Decentralized Generation. Family-run Agriculture. Hydroelectric.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Alteração na temperatura média global, com medições diárias correspondente ao período de 1880 a 2019.....	16
Figura 2 - Quantidade de plantas de produção de biogás na Alemanha entre 1990 e 2005.....	19
Figura 3 - Gráfico de correlação entre vazão do riacho avaliado e precipitação local... 24	
Figura 4 Esquema de funcionamento da turbina de Fluxo Cruzado.....	25
Figura 5 - Esquema de funcionamento e rendimento hidroelétrico η (%) da Turbina Crossflow em comparação com a turbina francis em função da vazão (Q).	26
Figura 6 – Perfil altimétrico do arroio Forte em trecho estudado.	29
Figura 7 - Potencial hidrelétrico mensal do arroio Forte.....	30
Figura 8 - Crescimento do valor por MWh por mês desde janeiro de 2003.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valor por Watt de capacidade instalada em diferentes usinas geradoras de energia.	12
Tabela 2 - Usinas de escala pico na África do Sul.	12
Tabela 3 - Precipitação diária em mm na estação meteorológica de Caibi SC.	24
Tabela 4 - Vazão aferida, média, variância e desvio padrão dos dados de vazão coletados.	28
Tabela 5 - Custos de construção para implantação de empreendimento.	31
Tabela 6 - Produção média mensal de lácteos da Laticínios Guaíra e produção estimada para 3.816 kWh do empreendimento.	33

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. OBJETIVOS	13
1.1.1. Objetivos gerais	13
1.1.2. Objetivos específicos	13
1.2. JUSTIFICATIVA	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1. AS ENERGIAS RENOVAVEIS	15
2.2. A MICROGERAÇÃO DESCENTRALIZADA	17
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	21
3.1. ESCOLHA DA PROPRIEDADE	21
3.2. AVALIAÇÃO DO RIACHO	22
3.3. TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO	24
3.4. ASPECTOS ECONÔMICOS	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1. CAPACIDADE DE GERAÇÃO	28
4.2. CUSTOS DE CONSTRUÇÃO	30
4.3. VIABILIDADE ECONÔMICA	31
4.3.1. Oportunidades	32
4.4. ANÁLISE ECONÔMICA DE TIR E VPL	33
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
REFERÊNCIAS	37

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um bem valioso da humanidade desde seu advento, sua capacidade de ser gerada em um local e transportada a outros com pouco gasto logístico e de geração se comparada a energias fósseis (i.e. carvão, petróleo, gás natural), faz dela a energia mais presente na vida e cotidiano dos homens. Sua adaptabilidade permitiu o desenvolvimento de muitos bens de consumo, como o computador que redige este texto até a impressora que o imprime em uma folha de papel. O meio rural não fica de fora, equipamentos como resfriadores, forrageadores, aquecedores, ordenhadeiras, entre outros necessitam de energia, para gerar e por vezes garantir a produção de uma propriedade, bem como sua renda e viabilidade.

No Brasil, a geração de energia por centrais geradoras públicas ou privadas no ano de 2016 foi de 578,9 TWh, sendo que deste montante 387 TWh foram gerados graças a fontes hidráulicas. Isso torna o Brasil um dos países líderes no uso de energias renováveis, com participação de 82% das hidroelétricas na produção de eletricidade (EPE, 2017a). O país possui o segundo maior parque hidrelétrico do mundo, capaz de exportar tecnologia e conhecimento produzindo zero emissões de gases de efeito estufa (GEE) durante o processo de geração e consumo (TOLMASQUIM, 2016). Exemplo disso é a hidrelétrica de Itaipu, que em 2016 gerou 103 TWh, o que a torna a maior hidrelétrica em produtividade do mundo, superando inclusive a de Três Gargantas na China, que possui 35% mais capacidade instalada de geração (BRASIL, 2017).

Segundo Tolmasquim (2000), os pontos de maior interesse nacional para instalação de hidroelétricas, como o Sul e Sudeste, locais de concentração de indústrias que consomem muita energia, já foram ocupados por empreendimentos de geração de energia elétrica de larga escala, e os maiores parques geradores do gênero possuem na maioria mais que 30 anos de idade. A bacia amazônica possui o maior potencial de geração, entretanto há muitos entraves como os impactos sobre o meio ambiente e a necessidade de construção de imensas redes de transmissão, elevando seu custo (TOMASQUIN, 2016). Desta forma, cresce a demanda por empreendimentos de pequena escala, os quais não necessitem de grandes investimentos sociais, ambientais e logísticos.

No ano de 2000, Mauricio Tiomno Tolmasquim então Coordenador do Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ, Presidente da Sociedade Brasileira de Planejamento Energético (SBPE) e ministro de minas e energia no governo Lula, fez uma constatação do que viria acontecer no seguinte ano, denominada a Crise energética de 2001, em seu documento “As Origens da Crise Energética Brasileira”. Tolmasquim (2000) destaca o corte de gastos e a disparidade, nos anos 90, entre demanda e geração como fatores cruciais para a crise. Como a história costuma se repetir, e por isso devemos apreender com ela, hoje o Brasil enfrenta exatamente o mesmo cenário. Se por um lado a relação consumo e geração não tiveram grandes diferenças em seu crescimento nos últimos 10 anos (ambos com $\approx 25\%$), tal acontecimento se deve ao Programa Prioritário de Termelétricas (PPT) que investiu bilhões na criação de 49 termelétricas no Brasil em 2002 conforme Santos et al. (2002). Entretanto, tal alternativa não deve ser considerada no longo prazo, pois, como já citado, custa muito mais caro e, assim, deve existir somente como reserva de emergência e não fonte regular de geração. Adicionalmente, a PEC 55 diminuiu os gastos primários do governo impossibilitando a expansão de investimentos em novas estratégias energéticas (BRASIL, 2016), o que coloca o Brasil à beira de uma nova crise.

Nos próximos anos o problema da geração de energia não será solucionado tão facilmente pelo governo federal, muito menos se implicar na mobilização de capital para construção de linhas de transmissão/barragens e desgastes político-sociais associados ao deslocamento de povos indígenas e o comprometimento de espécies da flora e fauna - como a exploração da bacia amazônica. Por outro lado, o que não deve diminuir é o ritmo no aumento de consumo e a ascensão do seu preço, dado a retomada econômica que o Brasil lentamente vem percebendo após a paralização política em 2016 (impeachment presidencial).

Desde 1995, o setor energético está aberto à iniciativa privada. Qualquer investidor, sob a condição de produtor independente, poderia construir novas usinas ou gerar sua própria eletricidade sob a lei 9.074/1995 de 07/07/1995 (BRASIL, 1995). Este marco legal possibilita a exploração do recurso hidroelétrico não só em grandes centrais UHE, usinas que possuem capacidade instalada de mais de 30 mW (ANEEL, 2008), mas também em lugares remotos, como córregos que passam em muitas propriedades

rurais no Oeste catarinense, fazendo desnecessário investimentos custosos como linhas de transmissão, planejamento nacional, reposição vegetal entre outros, e mitigando problemas como a interrupção de fornecimento causado por falhas de transmissão ou novas crises energéticas. A geração de eletricidade em pequenas centrais hidroelétricas é barata se comparada a outras capazes de serem produzidas autonomamente, como a solar, chegando a ser 50 vezes mais custoso sua implantação quando em sistema isolado (devido a altos custos com sistema de baterias de alta capacidade), e 5 a 10 vezes quando conectado à rede (SHAYANI; OLIVEIRA; CAMARGO, 2006; Tabela 1). Como é um modelo conhecido dos brasileiros, a energia hidrelétrica possui forte apelo à sua instalação, por isso explorar o potencial hídrico de propriedades rurais para geração e energia com caráter independente é estrategicamente valioso para a nação que não tem mais autonomia e capacidade de fazê-la, bem como para as propriedades que terão diminuição de custos energéticos e garantia de fornecimento.

Tabela 1 - Valor por Watt de capacidade instalada em diferentes usinas geradoras de energia.

Tipo de Geração	Custo de Implantação ANEEL (US\$/W)	Custo de Implantação CESP/IMT (US\$/W)
Pequenas Centrais Hidrelétricas	1	-
Geração Eólica	1,20 a 1,50	1
Células fotovoltaicas	-	5,00 a 10,00

Fonte: ANEEL – SCG, 2006, NEGRI et al., 2003.

Em lugares do mundo onde a energia elétrica é um bem escasso e de difícil acesso, a geração de energia hidroelétrica em escala pico (de 5 a 15 kW de potência; Tabela 2), que na legislação brasileira se enquadra como uma CGH, central geradora hidrelétricas, é uma estratégia chave para levar eletricidade até o meio rural e vilarejos afastados. Levar energia elétrica á toda população não é só uma questão econômica, a qualidade de vida melhora com acesso à eletricidade em qualquer ambiente ocupado por seres humanos (FULFORD; MOSLEY; GILL, 2000).

Tabela 2 - Usinas de escala pico na África do Sul.

Picohidrelétricas na África do Sul	Capacidade instalada (kW)
Artists Press	3
Dairy Farm	3

Farm	6
Giant's Castle	3
Green Point Urban Park	3,2
Njusuti	2
Nollie se Kloof	1
Outiniqua Trout Lodge	3
Richmond	3
Waterval	9
Whitfield	5
Wolwekloof	1,5
Newlands 2 reservoir A	1
Baskloof	0,2
Newlands 2 reservoir B	1

Fonte: KLUNNE, 2018.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivos gerais

- Explorar o potencial, desafios e oportunidades associadas à geração de energia hidrelétrica em uma propriedade rural no Oeste catarinense.

1.1.2. Objetivos específicos

- Analisar a viabilidade técnica para instalação de um conjunto gerador hidráulico no riacho Arroio Forte localizado na região norte da zona rural de Palmitos SC.
- Estimar o potencial para geração de eletricidade e os impactos sobre a produção de bens e serviços na unidade de produção agrícola.
- Avaliar a viabilidade econômica e o retorno econômico sobre o capital investido.

1.2. JUSTIFICATIVA

Dar respaldo às mudanças climáticas e os desafios energéticos que nosso país, bem como outras nações vem enfrentando é um processo natural de resiliência das sociedades que deve ser proposto e posto em prática. Deve se buscar incessantemente por alternativas aos modelos vigentes de geração de energia, que têm como base os combustíveis fósseis.

Pequenas propriedades com declividade acentuada e presença de curso de água dificultam a implantação de sistemas de cultivo mecanizado, principalmente pelo maior risco de erosão e perda de produtividade devido à fácil lixiviação de nutrientes do solo. Também perdem valiosa parte de sua superfície agrícola útil em áreas de preservação permanente (APP). Características muito comuns na agricultura familiar de Santa Catarina.

Desta forma, a geração de hidroeletricidade se apresenta como uma oportunidade para combinar geração renda, particularmente em pequenas propriedades rurais, e a produção de energia limpa, renováveis e de baixo custo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. AS ENERGIAS RENOVÁVEIS

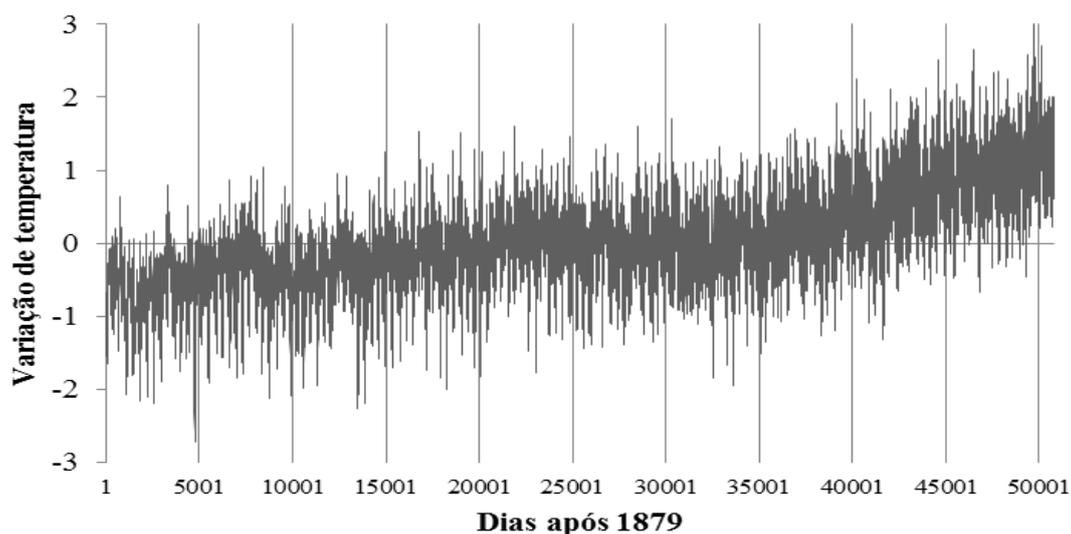
Fontes de energia renováveis são fontes capazes de fornecer energia em tempo cronológico reduzido, sendo ao mesmo tempo capaz de renovar-se a uma taxa maior do que é consumida (IPCC, 2011). Podem ser caracterizadas como as mais antigas (e.g. lenha), assim como as mais modernas (e.g. fotovoltaica) fontes de energia sendo o sol a principal fonte. O ser humano utilizou estas formas de energia para suas atividades desde o início da civilização, o calor para se aquecer, o vento para mover barcos e a luz para praticar atividades. Hoje criamos formas de transformar esta energia da maneira que convenha, com o calor criamos aquecedores solares, com a energia cinética criamos usinas eólicas, hidroelétricas, maremotrizes, e com a luminosa criamos painéis solares de silício capazes de gerar eletricidade. Esta última é particularmente nobre, pois é a partir dela que abastecemos computadores, smartphones, calculadoras, motores, equipamentos industriais e veículos, o mundo está imerso em um oceano de energia elétrica (IPCC, 2011). A revolução industrial exigiu uma quantidade massiva de energia, o que promoveu a ascensão dos combustíveis fósseis, primeiramente com carvão mineral e mais tarde gasolina, diesel e outros derivados líquidos do petróleo. Os combustíveis fósseis, assim como a maioria das energias renováveis, são formados através da energia do sol, entretanto levam cerca de 350 milhões de anos para serem produzidos pela natureza e, por isso, não são considerados renováveis. Adicionalmente, o consumo de energias fósseis resulta na emissão de poluentes como o dióxido de carbono, o monóxido de carbono, óxido de nitrogênio e o enxofre (SCHMIDT, 2009).

Os gases gerados pela queima dos combustíveis fósseis são comumente chamados de gases de efeito estufa (GEE), tais gases possuem poder calorífero superior ao dos gases normalmente encontrados na atmosfera e sua concentração está associada ao aquecimento global observado nas últimas três décadas. Fontes de energia fóssil também são finitas, o que encarece a exploração na medida em que as reservas se tornam mais escassas. Quando em 1973 a crise do petróleo fez com que os preços das fontes energéticas fósseis aumentassem consideravelmente, os movimentos em prol de fontes de energia renovável e tradicionalmente de viés ambientalista ganharam também

o argumento mercantil ao seu favor, ou seja, além de mais sustentável, as energias renováveis eram mais baratas agora que as fósseis, dando início assim a um movimento pró-energia renovável em todo mundo (BOYLE, 2012).

Mundialmente, 82 % das fontes de energia primárias (cálculo é feito sobre a capacidade energética de combustíveis antes de sua transformação para outras formas de energia) são de origem fóssil (IEA, 2019). Os impactos no aquecimento global são evidentes, desde a primeira revolução industrial, a temperatura global subiu de maneira alarmante para padrões ecológicos, levando a desastres ambientais anormais como enchentes, torrentes, furacões e secas, todas estas capazes de causar danos de grande monta à agricultura (BOYLE, 2012), Os dados da Figura 1 são do instituto Berkeley Earth, e mostram o acréscimo da temperatura global média de aproximadamente 2°C, obtidos através de mensurações diárias desde 1º de janeiro de 1880 até 31 de dezembro de 2018.

Figura 1 - Alteração na temperatura média global, com medições diárias de 1880 a 2019.



Fonte: Berkeley Earth, 2019.

A hidroeletricidade é uma fonte de energia sólida e confiável, a primeira deste tipo surgiu em Craigside na Inglaterra no final do século XIX, e hoje já se faz presente

em 160 países ao redor do mundo. Após a ascensão da eletricidade, as hidroelétricas se espalham rapidamente por países da Europa e os EUA, chegando modestamente no Brasil já em 1889, em Juiz de Fora MG, na forma da usina de Marmelos com capacidade instalada de 4 MW (Magalhães, 2000). Após o advento da energia elétrica, as hidroelétricas se consolidaram como a forma mais fácil, barata e segura de se obter este recurso. Países que necessitavam de grande potencial logo utilizaram todos os acessos possíveis para obter tal energia. Segundo Tolmasquim (2016), nos EUA a hidroeletricidade representa apenas 7% de toda energia utilizada, e suas fontes de geração mais promissoras já estão sendo utilizadas, similar ao que acontece no Brasil, isso aquece ainda mais a discussão da necessidade de explorar fontes descentralizadas de energia.

A energia hidráulica, por sua vez, trata do aproveitamento do ciclo hidrológico, onde a irradiação solar incide sobre a água em estado líquido, a evapora e enche os rios e reservatórios de usinas hidrelétricas. É claro que necessitamos da energia gravitacional para que ocorra a força da coluna de água para mover as turbinas, mas esta força existe em qualquer processo terreno, inclusive o próprio ciclo da chuva já sofre com esta.

Mesmo com o desenvolvimento de novas tecnologias, “a energia hidrelétrica continua a ser o recurso renovável mais desenvolvido em todo o mundo, responde, hoje, pela maior parte (85%) da produção de eletricidade renovável e é uma das tecnologias disponíveis de geração de custo mais baixo” (FAPESP, 2010).

2.2. A MICROGERAÇÃO DESCENTRALIZADA

Vender energia elétrica a partir da microgeração (e.g. usinas pico) ainda não é permitido no Brasil. Entretanto, em 2012 a Aneel publicou a resolução normativa nº 482, um marco na geração própria e descentralizada (Aneel, 2012). Esta resolução permite aos interessados construir qualquer meio de produção de energia, podendo assim conectá-lo à rede. Projetos deste tipo são chamados *on grid*, ou seja, “na linha de transmissão” o que evita perdas de energia, particularmente quando a geração excede o consumo. A energia excedente pode ser creditada em uma espécie de conta administrada pela distribuidora (e.g. Celesc). O crédito de energia pode ser aproveitado em outros meses quando o consumo foi maior do que a geração, ou em outras unidades,

desde que pertença a mesma pessoa, física ou jurídica, consórcio ou cooperativa de consumidores desde que na mesma área de concessão ou permissão. Alternativamente, a rede pode fornecer energia quando a geração própria não suprir a demanda.

No Brasil, existem duas formas para a venda de eletricidade. A primeira é pela oferta livre de energia, onde geradores que produzem acima de 500 kW podem oferecer energia no livre mercado para interessados em consumir, geralmente ligados à rede de alta tensão. A segunda forma de venda ocorre através de leilões da ANEEL que são restritos à grandes geradores capazes de comercializar a energia a preços muito competitivos (ABRACEEL, 2018).

Na Alemanha, país onde a comercialização de energia por pequenos produtores é facilitada a energia pode ser comercializada diretamente à rede, gerando renda direta ao produtor, isso causou um aumento significativo de plantas de produção de eletricidade através de biogás, principalmente com o uso de culturas energéticas como o milho para alimentar os biodigestores (WEILAND, 2006; Figura 2).

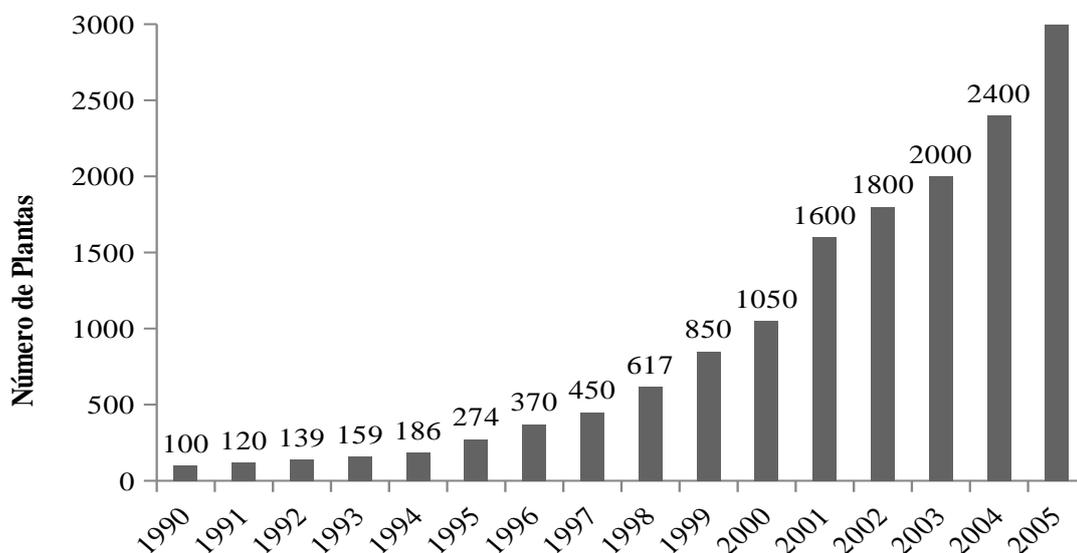
Produzir energia descentralizada também é uma forma de mitigar perdas relacionadas à instabilidade do fornecimento de energia elétrica em áreas rurais do país, perdas de carga devido às longas linhas de transmissão e gastos com a construção das mesmas.

O sistema elétrico é composto por geração, transmissão e distribuição, nestas três etapas os equipamentos e métodos envolvidos possuem uma taxa de eficiência que não é 100%, geralmente associado à transformação de energia elétrica em energia térmica devido ao efeito Joule (ANEEL, 2015). O efeito joule acontece em todo processo que envolve a condução da energia (UFMG, 2012), sendo as grandes linhas de transmissão enormes sistemas de condução, bem como a transformação de energia de alta tensão para baixa tensão através de transformadores a fim de distribuição de energia a consumidores da rede básica (BAGGINI, 2019). Também existem problemas não técnicos como furto de energia ou adulteração de medidores (ANEEL, 2015).

Segundo a Aneel (2015), em 2014 a concessionária de energia elétrica Celesc, responsável pela distribuição de energia em Santa Catarina, registrou uma perda técnica de energia de 6,51 %, e não técnica de 1,44%, essa energia é medida através da

quantidade injetada na rede e a quantidade mensurada que chega às unidades consumidoras. Caso a energia fosse produzida *in situ*, os valores relacionados a perdas técnicas não existiriam na prática. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017a) a energia produzida no Brasil em 2012 foi 552.498 gWh, em 2016 foi 578.989 gWh, esse crescimento no consumo é de 4,575 %, valor menor que a energia perdida em Santa Catarina por processos técnicos que podem ser mitigados através da geração descentralizada. Isso não significa que seria dispensável a existência de linhas de transmissão, apenas que elas não precisariam ser tão robustas para fazer o transporte de tanta energia que é produzida longe do local onde é consumida.

Figura 2 - Quantidade de plantas de produção de biogás na Alemanha entre 1990 e 2005.



Fonte: Adaptado de Weiland, 2006.

Outra importante fonte de perdas está no fornecimento irregular de energia em zonas rurais. Embora a contabilização destas perdas não seja realizada pelas companhias concessionárias, ações do Ministério Público são cada vez mais comuns em defesa do consumidor de energia que fica desabastecido (TVTEM, 2019). No caso do meio rural, onde as propriedades dependem de energia para produzir e manter seus produtos, é crucial um abastecimento de qualidade e sem interrupções, pois tais eventos podem gerar prejuízos de grande escala, como em propriedades leiteiras por exemplo. Segundo

a IN 51 (Brasil, 2002), o leite mantido resfriado no estabelecimento e transportado a granel, tem o tempo máximo entre a ordenha e o recebimento na unidade industrial é de 48 horas, caso esse leite não seja resfriado o tempo é muito menor e pode levar ao descarte do mesmo, gerando prejuízos unicamente ao produtor.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O estudo do potencial hidrelétrico em uma propriedade rural familiar foi dividido em cinco etapas principais: 1) a escolha da propriedade, como ela é estruturada e a capacidade de realizar o empreendimento; 2) avaliação do riacho, suas dimensões, oscilações e capacidade de suportar o empreendimento; 3) tecnologias disponíveis no mercado e possíveis adaptações para o referido local a fim de gerar energia; e 4) viabilidade econômica, através de indicadores como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e *Payback* para diferentes combinações dos parâmetros agroecológicos (i.e. precipitação), econômicos e institucionais (i.e. preço da eletricidade, políticas públicas).

3.1. ESCOLHA DA PROPRIEDADE

A propriedade em questão foi escolhida primeiramente por ser da agricultura familiar, assim como define a lei nº 11.326 de 24 de junho de 2006. A propriedade possui menos de quatro módulos rurais, mão de obra majoritariamente familiar assim como a administração da mesma, e fonte de renda da família provém das atividades exercidas na propriedade (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2006). No município de Palmitos existem 1924 estabelecimentos de agricultura familiar contra 223 não familiares segundo Censo agropecuário de 2006 (IBGE, 2006), sendo a maior parte destas propriedades familiares localizadas no norte do município, região com relevo mais acidentado (MIRANDA, 2018), característica comum entre os estabelecimentos da agricultura familiar na região, que também é relevante ao potencial para geração de energia hidroelétrica.

A propriedade é cortada por riacho, o que, como descrito por Miranda (2018), possibilita o aproveitamento hidrelétrico a partir do fluxo de água do arroio Forte que no Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos do Estado de Santa Catarina (SIRHESC) permanece não identificado, porém, em relatório mais recente possui identificação e deságua no rio Barra Grande (SIRHESC, 2018). Esta característica é a principal na escolha da propriedade, pois a existência do curso de água, aliado a uma queda acentuada é que possibilita a utilização de energia hidráulica na propriedade.

O livre acesso à propriedade e ao córrego, bem como a proximidade do local de residência do pesquisador também foram aspectos importantes a seleção da propriedade, uma vez que medições no córrego precisavam ser feitas mensalmente.

A propriedade se localiza nas coordenadas 27°01' S e 53°08' O, em Palmitos, município que fica a 548 Km de Florianópolis, capital do estado, e a 65 Km de Chapecó.

3.2. AVALIAÇÃO DO RIACHO

Para gerar energia hidrelétrica é necessário converter energia potencial da água em energia elétrica, por sua vez a energia potencial da água se dá por dois valores, a quantidade de água e a força que ela produz sobre a turbina (BOYLE, 2012).

A geração de energia é diretamente proporcional à altura manométrica da queda de água e vazão do córrego. Ou seja, certa quantidade de água submetida à força da gravidade, para que sua velocidade seja acelerada e acumule energia potencial suficientemente grande para gerar energia no gerador.

A vazão representa o volume de água que passa no curso de água por um determinado tempo. Para calcular a vazão é necessário medir a área do curso (largura x profundidade) e a velocidade com que a água passa em m/s^2 , sendo assim:

Para medir a vazão do córrego foi utilizado o procedimento descrito pela Norma Regulamentadora de Segurança e Saúde no Trabalho na Agricultura, Pecuária, Silvicultura, Exploração Florestal e Aquicultura (NR 31) do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), adaptadas pelo professor da UFRRJ, José Luiz Viana do Couto (2004). Os equipamentos utilizados foram um flutuador, trena, e cronometro para medir a área da seção transversal do arroio e sua velocidade. As medições foram realizadas num trecho do riacho em que o mesmo passava por tubos de concreto, que facilitou a mensuração geométrica da seção. O flutuador é solto em um marcador a montante e percorrendo uma distância de sete metros a jusante até atingir o segundo marcador, assim a distância percorrida é dividida pelo tempo que o flutuador demora em ir de um marcador a outro, resultando na velocidade em m/s. Estes dados (área da seção e velocidade do fluxo d'água) são mutáveis e foram mensurados a cada mês devido as eventuais diferenças de vazão provocadas pela sazonalidade das chuvas.

A quantidade de água em m³ que flui no córrego foi calculada pela mensuração da velocidade do fluxo de água através do flutuador e da área de fluxo através da medida da profundidade do centro do arco que a lâmina de água forma com o tubo de concreto. Essa medida proporcionou posteriormente através da simulação dos tubos em AutoCAD[®] a área do fluxo de água. Sendo assim os dados necessários para a equação foram obtidos.

O desnível do trecho em que o rio passa pela propriedade, que gera a altura manométrica foi medido segundo os princípios da altimetria, que tem a finalidade de calcular a distância vertical entre dois pontos. Os dados foram obtidos por nivelamento geométrico. Utilizou-se de uma mira nivelada de propriedade da UFFS capaz de traçar uma linha reta entre dois pontos e calcular assim o desnível, ou altimetria. O valor a primeira medição sempre é descontado na segunda, sendo assim a cada medição obtém-se o valor altimétrico da seção medida em questão, que ao final soma-se e se obtém o valor altimétrico total do trecho de interesse. Também foi medido o comprimento longitudinal da seção.

A coleta de dados de vazão (velocidade e seção transversal) aconteceu uma vez a cada mês durante sete meses, sempre nos dias próximos ao dia 15 de cada mês, dependendo da disponibilidade do pesquisador, buscando assim uma média mensal, entre janeiro de 2018 até julho de 2018, a fim de representar a vazão mensal através de uma só coleta. Nos meses em que não se coletou dados, se propôs uma análise de correlação a partir dos dados de precipitação cedidos pelo Centro de informações de recursos ambientais e hidrometeorologia de Santa Catarina (CIRAM, 2018) obtidos da estação meteorológica mais próxima, situada nas coordenadas 27° 4'30.30"S, 53°14'21.35" O, nos limites do município de Caibi. A estação em questão fica a 10,7 Km em linha reta do objeto de estudo. Estudos em bacias hidrográficas, como em Maciel (2017), demonstram forte correlação entre precipitação e a vazão observada no rio. Embora exista uma correlação entre vazão e precipitação (MACIEL, 2017), os resultados obtidos da relação entre vazão aferida e precipitação observada não foram suficientemente confiáveis ($R^2 < 75\%$; Figura 3). Desta forma, a estimativa do potencial de geração ficou restrita aos meses em que houve medições a campo. Dentre os meses com medições no riacho, o mês de janeiro será desconsiderado, uma vez que a avaliação foi comprometida por chuvas intensas que ocorreram no dia da medição, o que

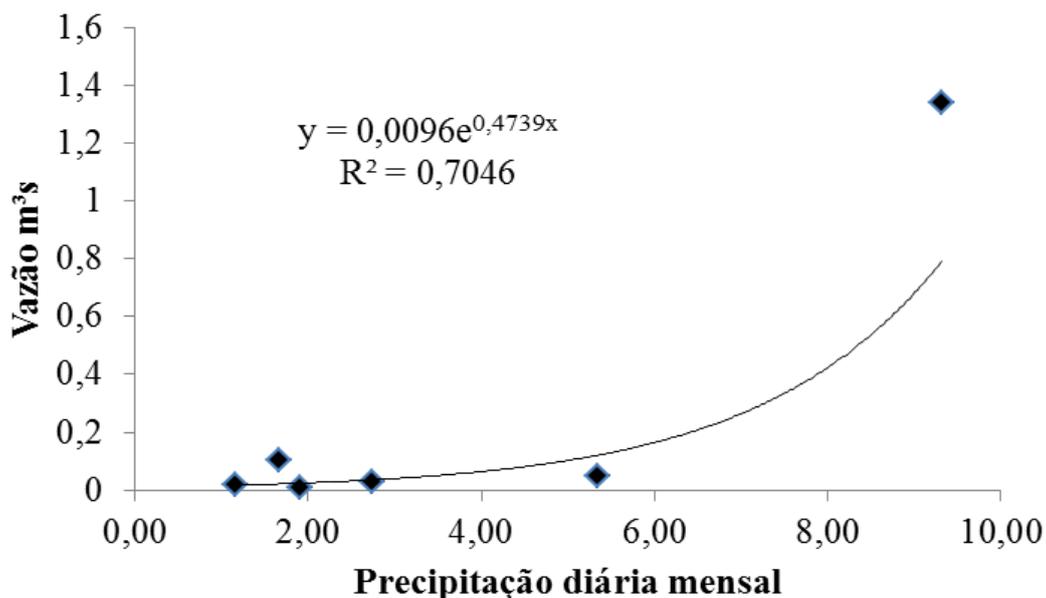
comprometeria a representatividade desta medição. Desta forma, para fins de estimativa do potencial de geração os meses considerados foram fevereiro, março, abril, maio, junho e julho, totalizando seis meses. A pouca quantidade de avaliações (uma avaliação mensal) se deu devido à disponibilidade limitada da equipe de levantamento de dados a campo de acessar o córrego.

Tabela 3 - Precipitação diária em mm na estação meteorológica de Caibi SC.

Mês	Janeiro	Fevereiro	Março	Mai	Junho	Julho
Precipitação diária média (mm)	9,3	1,6	5,3	2,74	1,9	1,17

Fonte: Epagri CIRAM, 2018.

Figura 3 - Gráfico de correlação entre vazão do riacho avaliado e precipitação local.



Fonte: Autor.

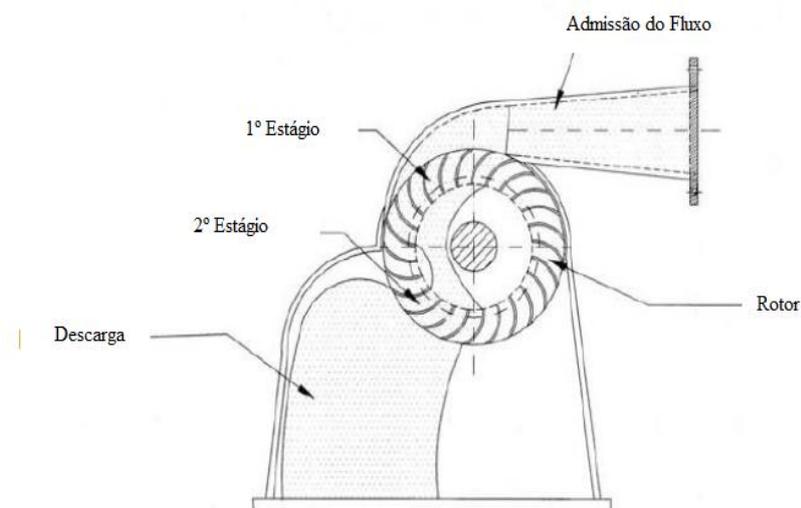
3.3. TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO

A escolha da tecnologia de geração (i.e., tipo de turbina) foi determinada pelas características gerais do projeto (produção em pequena escala) e do córrego. A amplitude de vazões observadas durante a coleta de dados (Tabela 3) requer tecnologias de geração adaptáveis, principalmente pela adoção de um modelo de turbina eficiente

em vazões muito diferentes. A turbina Michell-Banki é uma turbina baseada nos princípios da roda de água modelo Poncelet, desenhada pelo engenheiro francês Jean Victor Poncelet (1788–1867). Foi pensada inicialmente por um engenheiro Australiano, A.G.M. Michell, patenteada em 1903, sendo em 1918 o mesmo projeto construído independentemente na Alemanha por um professor Húngaro Donat Banki, surge assim a denominação Michell-Banki (MELLO, 2000).

A Turbina de Michel-Banki que pode ser chamada também de turbina de fluxo cruzado é amplamente utilizada em projetos de pequena escala, sendo suas principais vantagens a fácil construção, baixo custo e a variabilidade de sua faixa de trabalho em detrimento da disponibilidade de água. Pensada para cursos d'água que por meses podem ter um fluxo muito baixo, e em outros um fluxo mais elevado, ela pode trabalhar com carga parcial, em detrimento da quantidade de água disponível para processamento, sendo a carga do sistema controlado pela abertura ou fechamento de partes do cilindro gerador que recebem a água em até três etapas, geralmente divididas em partes iguais ou similares, exemplificado na Figura 4 (THE SCHUMACHER CENTRE FOR TECHNOLOGY AND DEVELOPMENT, 2011).

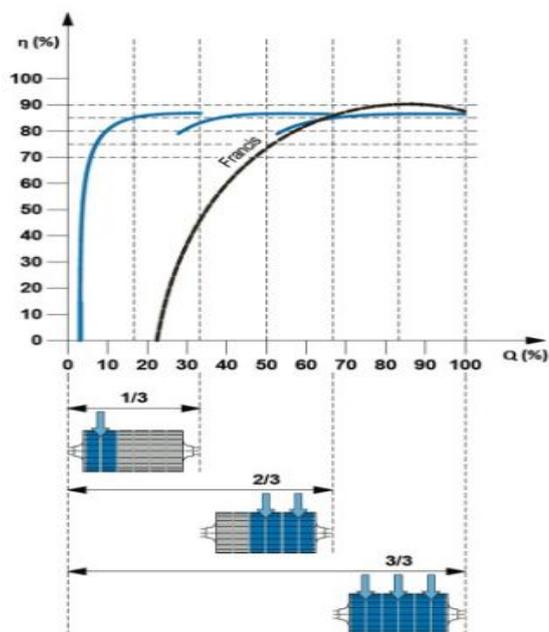
Figura 4 - Esquema de funcionamento da turbina de Fluxo Cruzado.



Fonte: Adaptado de Schumacher Centre for Technology and Development, 2011.

A turbina é chamada de fluxo cruzado por que aproveita o fluxo de água em duas direções, sendo um primeiro estágio em que absorve 70% da energia total recebida pelo rotor, e outros 30% no segundo estágio (Figura 4). Em simulações computadorizadas por Sammartano et al. (2013), o modelo de turbina alcançou ponto de eficiência de 86%, desta maneira, sua alta eficiência aliada à facilidade de instalação e construção, baixo custo e adaptabilidade a cursos de água irregulares são fatores decisivos na escolha deste modelo de geradora de energia. A Figura 5 ilustra a capacidade de adaptação da turbina a diferentes vazões.

Figura 5 - Esquema de funcionamento e rendimento hidroelétrico η (%) da Turbina Crossflow em comparação com a turbina francis em função da vazão (Q).



Fonte: OSSBERG ER GmbH, 2018.

3.4. ASPECTOS ECONÔMICOS

O orçamento do projeto foi baseado na quantidade de materiais e equipamentos e no volume de obras necessárias para a instalação do projeto. Os principais itens incluem os condutos de água, dique de captação, conjunto turbina-gerador, linhas de transmissão e transformador. Os preços foram baseados em dados de fornecedores e estudos prévios de construções deste tipo. O orçamento para construção do dique em alvenaria, assim como transformadores e mão de obra especializada para

instalação elétrica foram obtidos junto a duas empresas do município de Palmitos, neste projeto denominadas empresa “K materiais de construção” e empresa “E soluções em energia”. Os custos do conjunto gerador (turbina e alternador) foram obtidos juntos à empresa B.H. de São Paulo, perita na construção de turbinas de Fluxo Cruzado.

Informações adicionais referentes ao dimensionamento do muro de contenção em concreto e canalização para a adutora foram estimadas a partir de projetos similares, como em Martins (2015).

As análises econômicas de *Payback*, VPL (Valor Presente Líquido) e TIR (Taxa Interna de Retorno) foram parâmetros utilizados a fim de determinar a atratividade do investimento. A VPL é a diferença entre o valor investido e o valor resgatado ao fim do investimento, trazidos a valores presentes. Se o VPL for positivo, logo o valor investido será recuperado acrescido de um lucro. Se o VPL for zero significa que aplicar ou não, não fará diferença do ponto de vista econômico. Agora se o VPL for negativo significa que o investidor resgatará um valor menor que o valor investido, então não se deve aplicar neste investimento. TIR corresponde a taxa de juro anual que traduz a capitalização do investimento após um determinado período. E *Payback* representa o tempo necessário para que o investimento inicial se pague (CASAROTTO, 1994).

A análise econômica considerou o valor atual do kWh de R\$ 0,42 (pago pelo produtor rural em dezembro de 2018) em um período de 84 meses ou sete anos, com uma taxa de manutenção de 2,5% do valor total do investimento ao ano, corrigido mensalmente pela inflação histórica brasileira entre 2003 até 2019, de 5,91% (IBGE, 2019) ao ano, mesmo período utilizado para avaliar o aumento do preço da eletricidade que foi de 307% no período.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CAPACIDADE DE GERAÇÃO

A vazão do riacho Forte foi calculada para os meses de fevereiro a julho de 2018 através de mensurações mensais, descritas na Tabela 4. Os dados demonstram que o mês de janeiro, excluído da discussão dos resultados, possui uma vazão anormal se comparada com os demais meses, isso porque a mensuração deste mês se deu em dia de chuva. Tal característica de chuvas intensas, aliado ao manejo e uso de solos de lavouras que cercam o curso d'água podem gerar problemas do tipo *off-site* como descrito por Tiecher (2015), que são causados fora do local de cultivo, afetando terceiros, neste caso o empreendimento através da grande massa de sedimento direcionado da lavoura ao riacho, problema que deve ser levado em conta caso se decida pela instalação de empreendimentos em cursos d'água que possuem o mesmo comportamento, nestes casos, métodos de filtragem da água devem ser considerados. O mesmo autor comenta que o manejo de solos das lavouras da região em que se encontra o riacho são geralmente causadores de erosão, seja ela laminar ou de sulco, que acontece geralmente pelo emprego de técnicas de baixo nível tecnológico nas lavouras pelos agricultores, fruto de um processo histórico e cultural.

Tabela 4 - Vazão aferida, média, variância e desvio padrão dos dados de vazão coletados.

Vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)						Média	Variância	Desvio Padrão
Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho			
0,101	0,047	0,045	0,027	0,009	0,018	0,036	0,001	0,033

Fonte: Autor.

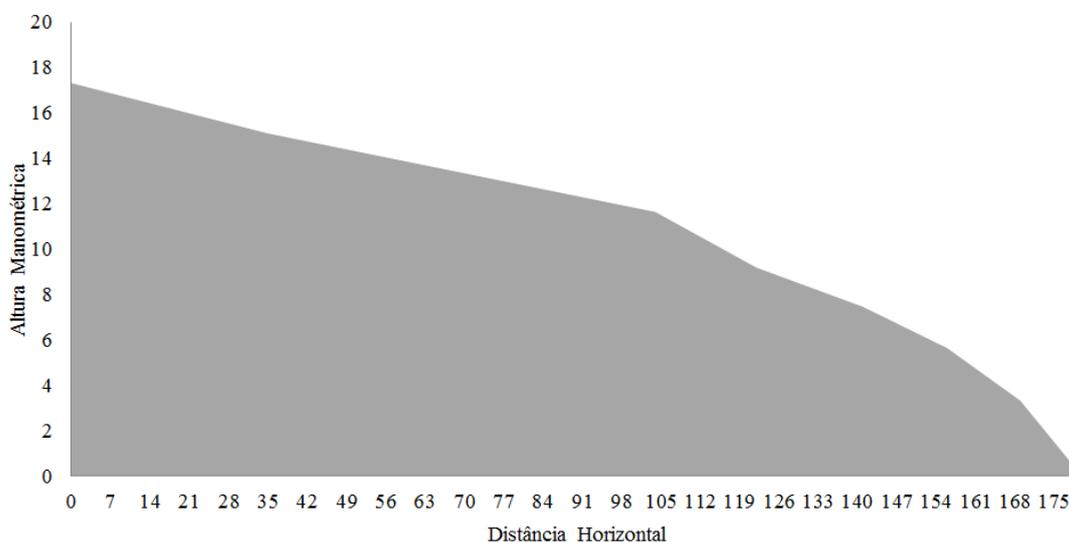
A capacidade de geração, ou potencial hidrelétrico varia conforme a vazão do riacho, além disso, a obtenção deste dado deve levar em consideração o rendimento hidrelétrico do conjunto turbina gerador (i.e., 86%).

A partir da análise da vazão do riacho no período, é possível estimar a capacidade instalada do conjunto gerador. O tipo de turbina Mitchell-Banki usado neste

projeto é capaz de gerar energia em três estágios. Isso significa que seu rendimento é ótimo mesmo com 10% da vazão total de seu dimensionamento de capacidade instalada (Figura 5). De acordo com a Tabela 4, a vazão do riacho varia de 101 l/s^{-1} a 9 l/s^{-1} entre fevereiro e julho. Deste modo, conclui-se que a configuração ideal é de uma capacidade de admissão de 100 l/s^{-1} , passando para então um segundo estágio de abertura de $\frac{1}{2}$ do cilindro de geração da turbina para os meses de março e maio onde a capacidade máxima de admissão será de 50 l/s^{-1} , passando para seu terceiro estágio de $\frac{1}{3}$ de abertura com capacidade máxima de admissão de 30 l/s^{-1} , deste modo o mês de fevereiro com vazão de 101 l/s^{-1} será capaz de gerar energia com o fluxo total suportado pela turbina, os meses de março e abril com $\frac{1}{2}$ do fluxo total e maio junho e julho com $\frac{1}{3}$ da capacidade de fluxo da turbina. Junho terá uma eficiência diminuída devido à sua vazão menor do que o valor ótimo, com uma vazão de 9 l/s^{-1} , ou 9% da vazão total, sendo assim a eficiência de geração será de 80%.

A altura manométrica total do trecho estudado, que são 180 metros em linha reta é de 17,318 metros, a Figura 6 demonstra graficamente o perfil do riacho.

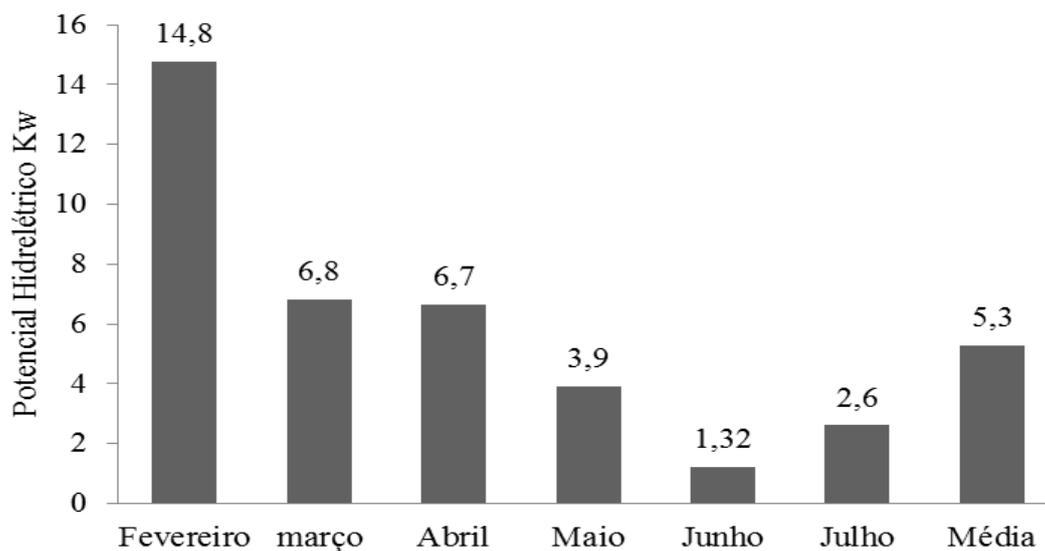
Figura 6 – Perfil altimétrico do arroio Forte em trecho estudado.



Fonte: Autor.

Com a eficiência de conversão de 86%, foi possível estimar o potencial de geração hidrelétrica do sistema (Figura 7).

Figura 7 - Potencial hidrelétrico mensal do arroio Forte.



Fonte: Autor.

De uma maneira mais prática, os dados acima apresentados significam que a capacidade instalada deste empreendimento é em média 5,3 kW, entretanto o padrão de compensação de energia, que é a unidade usada em contas de luz, por exemplo, e leilões da ANEEL é o quilowatt-hora (kWh). O kWh é a representação da quantidade de energia consumida, ou seja, a fonte de consumo ou geração multiplicado pelo tempo de uso. No caso da geração hidroelétrica com potencial de geração médio de 5,3 kW e capacidade de geração ininterrupta, 24 horas por dia, a geração num período de seis meses é de 22.900 kWh.

Segundo a Celesc (2018), o valor do kWh no mês de outubro de 2018 vendido para a propriedade rural em que se localiza o riacho foi de R\$ 0,424972. Desta forma, em seis meses de operação a usina teria capacidade de gerar R\$ 9.730,00 em energia elétrica.

4.2. CUSTOS DE CONSTRUÇÃO

A Hidrelétrica deve ser do tipo fio d'água, que não possui reservatório, gerando energia apenas com o fluxo de água do rio e com um acúmulo mínimo apenas para canalizar a água até a adutora (Bittar, 2008). Com tal tecnologia se dispensa a formação de lagos artificiais que podem causar danos à fauna e flora, bem como erodir o solo dos

entornos da instalação. Segundo Stevaux (2009), a erosão evoluiu 200% no entorno dos reservatórios do rio Paraná que é fortemente explorado pela atividade hidrelétrica.

A Tabela 5 apresenta a composição de custos necessários ao investimento inicial para construção e instalação do conjunto turbina-gerador hidroelétrico.

Tabela 5 - Custos de construção para implantação de empreendimento.

Item	Valor
1. Barragem de Concreto	R\$ 905,00
1. Tijolos 6 Furos	
2. Cimento	
3. Areia	
2. Adutora	R\$4980,00
200 m de Canos PVC 150 mm	
Bases de sustentação em concreto	
3. Conjunto Gerador	R\$ 60.000,00
1. Turbina Hidráulica tipo Michell Banki, modelo Betta 1515	
2. Regulador automático de velocidade por controle de vazão com quadro elétrico de controle e comando	
3. Moto-redutor para o acionamento do perfil Regulador de Vazão	
4. Alternador Elétrico, potência nominal 10 kVA	
5. Volante de inércia	
6. Multiplicação de rotação e Chassis metálico	
4. Inversor	R\$ 10.000,00
1. Inversor solar FRONIUS 4210057040 eco 27 kW trifásico 380v mppt proteção dps wi-fi	
5. Linha de Transmissão	R\$ 1.781,00
1. Postes em Concreto	
2. 500 m Cabos elétricos 10 mm	
Total	R\$ 77.666,00

Fonte: Autor.

4.3. VIABILIDADE ECONÔMICA

A potência instalada da usina é de 5,3 kW (média dos meses avaliados), sendo assim o custo por kW (R\$/kW) é o resultado do valor investido sobre a potência, logo o

custo deste empreendimento é de R\$ 14.641,00/kW de potência instalada. Em outras formas de geração, como a fotovoltaica, o custo de investimento por kW de potência instalada é de R\$ 22.644,92 kW⁻¹. Segundo pesquisa de mercado realizada pelo autor, uma planta fotovoltaica com a mesma potência instalada teria seu custo R\$ 120.000,18, um investimento de R\$ 42.334,00 adicionais à mesma geração hidráulica.

Quando se trata de retorno de investimento a geração média mensal de hidrelétrica é de 3.816 kWh, convertidos pelo valor do kWh da concessionária de R\$ 0,424972/kWh se traduz em uma geração de renda mensal de R\$ R\$ 1.621,70. Desta forma, seriam necessários 48 meses, ou quatro anos, para que os custos de implementação fossem retornados e a usina passasse a gerar renda líquida, sem incluir gastos de manutenção. No caso de uma planta fotovoltaica, com a mesma capacidade de geração, seriam necessários 73 meses ou seis anos e dois meses igualmente isento de gastos de manutenção.

4.3.1. Oportunidades

Gerar energia elétrica em uma propriedade rural somente faz sentido econômico se esta energia for direcionada a geração de valor agregado. O investimento é alto e não se justifica simplesmente por ser uma energia renovável e eficiente. Planejar a geração de energia própria também deve levar em consideração seu destino. No Brasil, a energia só pode ser vendida em leilões regulados pela Aneel, nos quais somente podem participar usinas hidroelétricas com capacidade superior a 5 MW, o que caracteriza uma pequena central hidrelétrica (Lei nº 10848, PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2004).

A ausência de marco regulatório impede a venda de energia elétrica a partir de usinas pico no Brasil. Por isso, a viabilidade do sistema deve considerar, principalmente, o autoconsumo de energia. Para o caso estudado, o sistema disponibilizaria à propriedade 3.816 kWh mensais, energia suficiente para manter atividades agroindústrias.

A pecuária leiteira é um exemplo de atividade que utiliza um grande montante de energia elétrica. Num estudo realizado em Nonoai RS, o consumo energético de uma propriedade leiteira, com 48 vacas em lactação e uma média de produção de 24 litros vaca⁻¹ dia⁻¹, foi estimado em 486 kWh mês⁻¹. Junto à sala de ordenha existem três casas

conectadas à rede elétrica que consomem 1.209 kWh mês⁻¹ juntas, totalizando 1.695 kWh mês⁻¹. Ou seja, 2,25 propriedades completas como a descrita poderiam ser supridas com a capacidade de geração da hidrelétrica (MIGLIAVACCA; SCARTAZZINI, 2015).

O processamento do leite, ou a sua industrialização, dependente de energia para transformar o leite em outros produtos como queijo, requeijão, doces etc. Geralmente, as agroindústrias são empresas ou cooperativas que concentram a compra de leite de produtores rurais. A Laticínios Guaíra, localizada no noroeste do Paraná, por exemplo, consumiu em média no ano de 2010 13.182,7 kWh por mês. Com base na geração de energia estimada, um laticínio, com aproximadamente 30% da capacidade produtiva do exemplo ora citado, poderia ser mantido, porém sem a necessidade de compra de energia elétrica (Tabela 6).

Tabela 6 - Produção média mensal de lácteos da Laticínios Guaíra e produção estimada para 3.816 kWh do empreendimento.

Produtos	Laticínios Guaíra	Projeto
Leite industrializado para queijo (l)	1.238.889	360.153
Leite industrializado para bebidas (l)	305.155	88.710
Leite industrializado para doce (l)	23.874	6.940
Queijo (kg)	132.012	38.376
Bebida Láctea (l)	739.260	214.907
Doce de Leite (kg)	20.500	5.959
Massa Branca (kg)	3.785	1.100
Requeijão (kg)	35.337	10.272

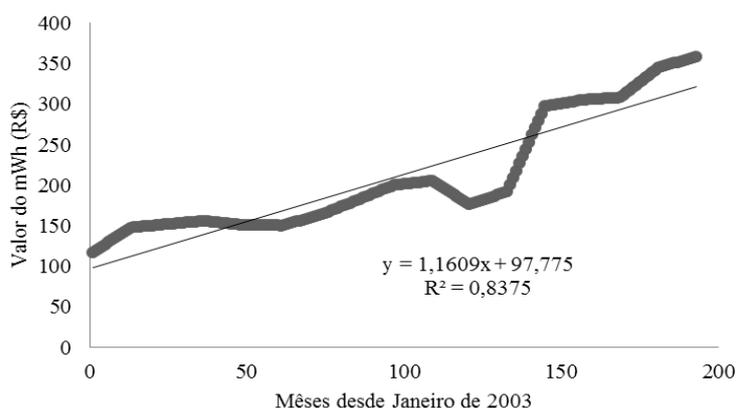
Fonte: Lawder (2012).

4.4. ANÁLISE ECONÔMICA: TIR, VPL, Payback

O primeiro cenário para a análise econômica considerou o preço do kWh partindo em R\$ 0,42 acrescido da inflação histórica do preço da energia (Figura 8) no

período de análise (i.e., sete anos). Neste cenário foi considerado o custo de manutenção anual, equivalente a 2,5 % a.a. do investimento inicial acrescido da inflação histórica (IBGE, 2019) O investimento inicial considerado é de R\$ 77.600,00. Este cenário apresenta *Payback* de 43 meses, ou seja, em três anos e sete meses o investimento inicial será pago. O Valor Presente Líquido (VPL) é de R\$ 94.262,46, considerando uma taxa de juro anual conservadora de 8% em vista da meta para inflação em 2019 de 4,25% e a remuneração da Caderneta de Poupança em aproximadamente 7,4% (BANCO CENTRAL, 2019). A Taxa Interna de Retorno (TIR) é 34%, portanto acima da taxa de atratividade mínima (i.e. 8%) utilizada no cálculo da VPL. Os indicadores de viabilidade econômica, VPL + TIR, apontam para a viabilidade financeira do projeto em um período de sete anos.

Figura 8 - Crescimento do valor por MWh por mês desde janeiro de 2003.



Fonte: Aneel 2019.

Num segundo cenário, foram considerados os incentivos à geração de energias renováveis, tanto do Brasil como do mundo, onde a preocupação com as mudanças climáticas e o aquecimento global têm promovido ações governamentais no sentido de incentivar estas fontes de energia (e.g. hidrelétrica). Destaca-se no estado de Santa Catarina a isenção de ICMS da energia produzida, e o programa “SC+energia” vigente desde 2015, com o objetivo de promover empreendimentos que geram energia renovável (SANTA CATARINA, 2018). Na China, por exemplo, as políticas de incentivo à energia renovável e eficiência energética se tornaram prioridade após 2005 (LO, 2014), a Alemanha, na busca de se tornar uma economia de baixa emissão de

carbono, vem adotando medidas efetivas para a difusão de tecnologias de geração de energias renováveis desde 2004 (VOLKMAR; JACOBSSON, 2015).

Nesta simulação, a análise econômica considerou não apenas o aumento mensal médio de energia (inflação), mas uma desoneração no valor do investimento em 50%. Neste cenário o *Payback* do investimento ocorre aos 25 meses, ou seja, em dois anos e um mês, a VPL é de R\$ 133.062,46 e a TIR é de 74%.

Todos os indicadores de atratividade econômica são satisfatórios, tanto no primeiro como no segundo cenário, o que aponta para a viabilidade do empreendimento sob condições realistas e modestamente otimistas quanto à implementação de políticas públicas de subvenção financeira, na forma de desoneração, voltadas à proteção do meio ambiente e à redução da emissão de gases de efeito estufa.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos dados gerados pelo estudo de caso, foi possível identificar potencial energético, assim como atratividade econômica em dois dos três cenários simulados. No cenário economicamente mais atrativo, o projeto apresenta TIR de 31% em sete anos e investimento inicial 35% inferior a modelos mais conhecidos de geração descentralizada (sistema fotovoltaico). Adicionalmente, o projeto mostrou ser uma oportunidade de geração de renda em pequenas propriedades rurais e redução das emissões de gases de efeito estufa. Embora haja intervenção sobre o meio ambiente, principalmente no curso do riacho, o impacto ambiental é reduzido, pois o projeto não necessita de formação de reservatório, grande impasse ambiental em hidroelétricas de médio e grande porte.

A quantificação da vazão do riacho, da construção e instalação da unidade geradora, e procedimentos de licenciamento ambiental, merecem aprofundamento em estudos futuros, particularmente quanto a ampliação do número de medições da vazão durante mais dias nos doze meses do ano. No entanto, as observações realizadas permitiram estimar uma geração de 3.816 kWh por mês, com uma capacidade instalada média de 5,3 kW, o que representa aproximadamente R\$ 1600,00 em energia elétrica para a propriedade, ou outros produtos passíveis de serem produzidos com este adicional de energia.

Finalmente, a hidroeletricidade mostrou ser uma fonte de energia capaz de se adaptar a pequenas propriedades, prejudicadas pelo terreno declivoso, mas que podem esconder maneiras inteligentes de gerar renda e contribuir no desenvolvimento de energias renováveis. Logo, um convite para repensar o papel da agricultura familiar na geração de energia e preservação do meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- ABRACEEL. **Quem Pode Ser Consumidor Livre**. 2018. Disponível em: <<http://www.abraceel.com.br>>. Acesso em: 01 abr. 2019.
- ANEEL. Atlas da energia elétrica do Brasil. 3. ed. Brasília: Aneel, 2008. 236 p. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>>. Acesso em: 09 abr. 2019.
- ANEEL. **Resolução Normativa nº 482**, de 2012. . Brasília, DF, 17 abr. 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>>. Acesso em: 24 nov. 2018.
- ANEEL. **Perdas de Energia**. 2015. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/metodologia-distribuicao/-/asset_publisher/e2INtBH4EC4e/content/perdas/654800?inheritRedirect=false>. Acesso em: 01 abr. 2019.
- ANEEL. **Relatório de Preços por classe de consumo**. 2019. Disponível em: <http://relatorios.aneel.gov.br/_layouts/xlviewer.aspx?id=/RelatoriosSAS/RelSampRegCC.xlsx&Source=http%3A%2F%2Frelatorios%2Eaneel%2Egov%2Ebr%2FRelatoriosSAS%2FForms%2FAllItems%2Easpx&DefaultItemOpen=1>. Acesso em: 06 maio 2019.
- BAGGINI, Angelo. **Power Transformers: Introduction to measurement of losses**. Munich: Intas, 2019. 17 p. Disponível em: <http://www.intas-testing.eu/storage/app/media/INTAS_trasformers_descr.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2019.
- BANCO CENTRAL. **Inflação 2019 Meta**. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/#!/n/RELINF>>. Acesso em: 22 abr. 2019.
- BITTAR Matheus. Energia Hidráulica. In: KELMAN, Jerson et al (Org.). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: Tda Comunicação, 2008. Cap. 3. p. 49-61.
- BERKELEY EARTH. **Global Temperature Report for 2018**. 2019. Disponível em: <<http://berkeleyearth.org/2018-temperatures/>>. Acesso em: 26 abr. 2019.
- BOYLE, Godfrey. **Renewable Energy: Power for a Sustainable Future**. 3. ed. Oxford: Oxford, 2012. 584 p.
- BRASIL, República Federativa do. **ITAIPU BINACIONAL**. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/>>. Acesso em: 22 out. 2017.
- BRASIL. Congresso. Senado. Constituição (2016). **Emenda Constitucional nº 2, de 16 de dezembro de 2016**. ALTERA O ATO DAS DISPOSIÇÕES CONSTITUCIONAIS TRANSITÓRIAS, PARA INSTITUIR O NOVO REGIME FISCAL, E DÁ OUTRAS PROVIDÊNCIAS. Proposta de Emenda à Constituição Nº 55, de 2016 - Pec do Teto dos Gastos Públicos.
- BRASIL. **Instrução Normativa n. 51 de 18 de setembro de 2002**. Normas leite A, B e C, Leite cru resfriado e leite pasteurizado. Brasília, 18 set. 2002.

- BRASIL. Secretaria De Agricultura Familiar E Cooperativismo. **Mais alimentos: Sobre o Programa**. Disponível em: <<http://www.mda.gov.br/sitemda/secretaria/saf-mais/sobre-o-programa>>. Acesso em: 17 jun. 2019.
- CASAROTTO FILHO, Nelson et KOPITTKE, Bruno Hartmut. **Análise de Investimentos**. São Paulo: Editora Atlas S/A, 1994.
- CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA S.A. (Santa Catarina). **Tarifas do preço da energia em Santa Catarina**. 2018. Disponível em: <<http://www.celesc.com.br/portal/index.php/duvidas-mais-frequentes/1140-tarifa>>. Acesso em: 01 nov. 2018
- CIRAM, Epagri (Org.) **Precipitação de Julho de 2017 à julho de 2018**. Florianópolis, Santa Catarina, 2018.
- COLUSSI, Joana. **Estiagem no Sul reduz em quase 10% a safra de grãos no RS**. Zero Hora. Não-Me-Toque. 06 mar. 2018. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/economia/campo-e-lavoura/noticia/2018/03/estiagem-no-sul-reduz-em-quase-10-a-safra-de-graos-no-rs-cjefrb71100m901r42718psnd.html>>. Acesso em: 16 out. 2018.
- COUTO, José Luiz Viana do. **Risco de Acidentes na zona Rural**. 2004. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/mma31.htm>>. Acesso em: 07 out. 2017.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2017: Ano base 2016 / Empresa de Pesquisa Energética**. – Rio de Janeiro: EPE, 2017. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf>. Acesso em: 20 out. 2017.
- EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017**. Brasília: Grupojam Mídia Integrada Eireli, 2017. 232 p. Disponível em: <URL: <http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 01 abr. 2019.
- FAPESP. **Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho**. 2010. Disponível em <www.fapesp.br/publicacoes/energia.pdf>. Acesso em: 25 out. 2017.
- FULFORD, David; MOSLEY, Paul; GILL, Alastair. **Recommendations On The Use Of Micro!Hydro Power In Rural Development**. New York: John Wiley & Sons, 2000. 9 p.
- IBGE, **Censo agropecuário 2006**, Santa Catarina, Rio de Janeiro. Disponível em: http://servicodados.ibge.gov.br/Download/Download.ashx?u=ftp.ibge.gov.br/Censo_Agropecuario/Censo_Agropecuario_2006/agri_familiar_2006/4municipios.zip. Acesso em: 11 set. 2018.
- IBGE, **Inflação Histórica 2003 a 2019**. Brasília, Distrito Federal, 2019.

IEA (2019), **Key World Energy Statics 2018**,

<http://www.iea.org/stats/renewdata.asp?COUNTRY_CODE=29> Acesso em: 02 abr. 2019.

IPCC (Org.). **Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge Press, 2011. 1088 p.

KLUNNE, Wim Jonker. Hydro4Africa. 2018. Disponível em:

<https://hydro4africa.net/HP_database/country.php?country=South%20Africa>. Acesso em: 02 nov. 2018.

LAUBER, Volkmar, JACOBSSON, Staffan. Political Economy of Renewable Energy. In: WRIGHT, James D. (Ed.), **International Encyclopedia of the Social Behavioral Sciences**, 2 ed., v 18. Oxford: Elsevier, 2015. p. 367–373.

LAWDER, José Henrique. **Análise energética e econômica em uma agroindústria de laticínios**. 2012. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia na Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

LO, Kevin. A critical review of China's rapidly developing renewable energy and energy efficiency policies. In: FOLEY, Aoife M. (Ed.). **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Belfast: Elsevier, 2014. p. 508-516.

MACIEL, Samuel Alves. **Análise da relação chuva-vazão na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba**, Brasil. 2017. 213 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/18164>>. Acesso em: 03 maio 2019.

MAGALHÃES, Gildo. **Força e luz: eletricidade e modernização na República Velha**. São Paulo: Unesp, 2000. 122 p. (Coleção Prismas).

MARTINS, Daniel Tjäder. **Estudo De Alternativas De Arranjo De Uma Pequena Central Hidrelétrica: Um Estudo De Caso Da Cgh Martins**. 2015. 95 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

MELLO JUNIOR, Antonio Gonçalves de. **A Turbina de Fluxo (Michell-Banki) como Opção para Centrais Hidráulicas de Pequeno Porte**. 2000. Dissertação (Mestrado em Energia) - Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. doi:10.11606/D.86.2000.tde-15052013-144737. Acesso em: 2018-09-22.

MIGLIAVACCA, Alencar; SCARTAZZINI, Luiz Silvio. **A Energia Solar Aplicada À Atividade Leiteira Em Pequena Propriedade Do Sul Do Brasil**. In: **Congresso Sobre Geração Distribuída E Energia No Meio Rural**, 10., 2015, São Paulo. São Paulo: USP, 2015. Disponível em: <<http://www.iee.usp.br/agrener2015/sites/default/files/tematica7/724.pdf>>. Acesso em: 04 dez. 2018.

MIRANDA, Evaristo Eduardo de; (Coord.). **Brasil em Relevô**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em:
<<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 11 set. 2018.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Lei nº 11326, de 24 de junho de 2006**. Estabelece As Diretrizes Para A Formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. Brasília, 25 jul. 2006. Disponível em:
<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11326.htm>. Acesso em: 11 set. 2018.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Lei nº 10848, de 15 de março de 2004**. Brasília, DF, 15 mar. 2004. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/110.848.htm>. Acesso em: 24 nov. 2018.

SAMMARTANO, Vincenzo et al. **Banki-Michell Optimal Design by Computational Fluid Dynamics Testing and Hydrodynamic Analysis**. *Energies*, [s.l.], v. 6, n. 5, p.2362-2385, 29 abr. 2013. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/en6052362>.

SANTA CATARINA. SECRETARIA DE ESTADO DA FAZENDA. . **Governo do Estado deve isentar ICMS para microgeração de energia renovável**. 2018. Disponível em: <<http://www.sef.sc.gov.br/midia/noticia/2052>>. Acesso em: 06 jun. 2019.

SANTOS, Edmilson Moutinho dos et al. **Gás natural: estratégias para uma energia nova no Brasil**. São Paulo: Fapesp, 2002.

SCHMIDT, Mario. **Nova História Crítica**. São Paulo: Nova Geração, 2009. 840 p.

SHAYANI, Rafael Amaral; OLIVEIRA, Marco Aurélio Gonçalves de; CAMARGO, Ivan Marques de Toledo. CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 5., 2006, Brasília. **Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais**. Brasília: Unb, 2006. 16 p.

STEVAUX, José Cândido et al. **Changes in a large regulated tropical river: the Paraná River downstream from the Porto Primavera Dam, Brazil**. 2009. *Geomorphology*. v. 110 (in press).

THE SCHUMACHER CENTRE FOR TECHNOLOGY AND DEVELOPMENT (Reino Unido) (Org.). *Practical Action*. Rugby, 2011. 6 p. Disponível em:
<<https://www.doc-developpement-durable.org/file/Energie/hydraulique/Michell%20Banki%20Turbine.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2018.

TIECHER, Tales (Org.). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil**: contextualizando as atividades agropecuárias e os problemas erosivos. Frederico Westphalen: Editora URI, 2015. 152 p.

TOLMASQUIM, Mauricio. **As origens da crise energética brasileira**. *Ambient. soc.*, Campinas, n. 6-7, p. 179-183, jun 2000. Available from
<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2000000100012&lng=en&nrm=iso>. access on 07 nov. 2017.
<http://dx.doi.org/10.1590/S1414-753X2000000100012>.

TOLMASQUIM, Maurício T. et al (Org.). **Energia Renovável**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2016. 452 p. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/Documents/Energia Renovável - Online 16maio2016.pdf](http://www.epe.gov.br/Documents/Energia%20Renovavel%20-Online%2016maio2016.pdf)>. Acesso em: 27 set. 2017.

TVTEM. **Ministério Público abre inquérito para investigar falta de energia na região de Jundiaí**. 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/sorocaba-jundiai/noticia/2019/02/27/ministerio-publico-abre-inquerito-para-investigar-falta-de-energia-na-regiao-de-jundiai.ghtml>>. Acesso em: 02 abr. 2019.

UFMG, Departamento de Física. Energia: **Calor Específico Da Água**. Belo Horizonte: 2012. 3 p. 1 v.

WEILAND, Peter. **Biomass Digestion in Agriculture: A Successful Pathway for the Energy Production and Waste Treatment in Germany**. Engineering In Life Sciences, [s.l.], v. 6, n. 3, p.302-309, jun. 2006. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/elsc.200620128>.