

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

ALINE DA SILVA STOLK

**PROPOSTA DE INSTALAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM ÁREAS
DEGRADADAS POR MINERAÇÃO DE CARVÃO**

CRICIUMA

2018

ALINE DA SILVA STOLK

**PROPOSTA DE INSTALAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM ÁREAS
DEGRADADAS POR MINERAÇÃO DE CARVÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Bacharel no curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador(a): Prof. M.^a Rosimeri Venâncio
Redivo

CRICIUMA

2018

ALINE DA SILVA STOLK

**PROPOSTA DE INSTALAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM ÁREAS
DEGRADADAS POR MINERAÇÃO DE CARVÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Bacharel, no Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Restauração de Ambientes Alterados e Recuperação de Áreas Degradadas.

Criciúma, 28 de novembro de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Rosimeri Venâncio Redivo – Mestre - UNESC - Orientadora

Prof. Guilherme de Pieri Pickler – Mestre - UNESC

Prof. Marcio Just – Mestre - UNESC

Dedico esse trabalho aqueles que me oferecem todo amor, que me colocam afrente de tudo. Para aqueles que deixam suas escolhas em segundo plano para que as minhas fiquem em primeiro. Para aqueles que mais amo. Pai, Mãe e Irmã, esse trabalho é para vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por iluminar sempre o meu caminho, colocando pessoas tão especiais em minha vida, me protegendo e me guiando mesmo quando as luzes pareciam apagadas.

Agradeço a minha mãe Neusa e meu pai Pedro que eu amo tanto, que nunca mediram esforços para me protegerem e realizarem meus sonhos, onde citar qualidades ou argumentos os limitaria para explicar tudo o que são e o que representam para mim.

Agradeço a minha irmã Amanda que amo tanto, por toda atenção e carinho que me deu e por sempre estar presente em minha vida.

Agradeço a minha orientadora Rosimeri, que com toda sua sabedoria e atenção, me deu as orientações e o suporte necessário para que esse trabalho fosse desenvolvido.

Agradeço o meu supervisor de estágio, Luis Gustavo Kawahara que me deu a oportunidade de estagiar e obter tantos conhecimentos.

Agradeço ao diretor Jânio Denis Gabriel que me ensinou com tanta paciência.

Agradeço de coração, minha colega Sharlene Pereira Peniche que me ensinou e não mediu esforços para que eu conseguisse entender todos os fatores do estágio.

Agradeço ao professor Gustavo Deibler Zambrano que não mediu esforços para me ajudar diante de todos os seus conhecimentos, assim como sua atenção.

Agradeço aos professores do curso que com sua sabedoria me ensinaram e me motivaram a nunca desistir.

Agradeço a banca examinadora do meu trabalho, composta pelos professores Marcio Just e ao professor Guilherme de Pieri Pickler que aceitaram o meu convite e estarem presentes no dia tão importante para mim.

Agradeço todos os colegas do curso, que se fizeram mais que colegas, se tornaram amigos, pessoas que levarei para a vida toda com muito carinho.

Agradeço todos os meus amigos, que sempre estiveram por perto para me ajudarem nos momentos mais difíceis.

Obrigada a todos, que de alguma forma contribuíram direta ou indiretamente para a minha formação.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

Arthur Schopenhauer

RESUMO

A atividade de extração mineral de carvão, foi executada durante anos sem nenhuma técnica ou qualquer ação para que fosse minimizado os impactos ambientais ou tivesse uma degradação não tanto acentuada. Devido à falta de legislação para controle dessa atividade anteriormente, ocasionou uma quantidade imensa de áreas degradadas com a necessidade de serem recuperadas. Surgiu então, em 1993 a proposta do Ministério Público Federal com o intuito de recuperar os passivos ambientais gerados. Conseqüentemente após a aprovação da proposta, é possível verificar os dados do andamento da recuperação com o documento de Relatórios de Indicadores Ambientais do Processo de Cumprimento da Sentença nº. 2000.72.04.002543-9 (Ação Civil Pública nº. 93.8000.533-4), elaborado no âmbito do Grupo Técnico de Assessoramento à Execução da Sentença (GTA). Com a qualidade do solo comprometida, devido a contaminação do mineral sulfetado composto com S e Fe (FeS_2), a recuperação das áreas se tornam prolongadas, assim também por se tratar de extensas áreas. Aliando esses espaços sem nenhuma utilização futura e a possibilidade de poder contribuir com o crescimento de fontes alternativas de energia, esse trabalho tem como objetivo realizar uma análise da viabilidade técnica e econômica de implantação de sistemas de energia fotovoltaica para uma plausível implantação nessas áreas degradadas pela atividade de mineração. A geração de energia elétrica através da conversão fotovoltaica vem se destacando de forma expressiva e crescendo na matriz energética de vários países. A metodologia do estudo desse trabalho, consistiu na simulação de geração de energia de três áreas com passivos ambientais, através do *software System Model Adisor* e análise de dados a partir do resultado obtido através do sistema. Com os resultados obtidos, foi possível verificar que o retorno financeiro é significativo, assim como cobre os custos do investimento a longo prazo para aplicação do projeto. A implantação de energia fotovoltaica se mostrou viável, como alternativa de uso futuro para áreas degradadas pela mineração.

Palavras-chave: Degradação Ambiental. Extração Mineral. Energia Renovável. Ação Civil Pública.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização das bacias hidrográficas do sul de Santa Catarina com a delimitação da bacia carbonífera.....	17
Figura 2 – Divisão percentual da potência instalada no parque gerador brasileiro (dividido por tipo de usina).	20
Figura 3 – Divisão percentual da potência instalada no parque gerador brasileiro (dividido por tipo de usina).	22
Figura 6 – Janela principal do programa SAM mostrando o resumo dos resultados para um sistema de energia eólica.....	34
Figura 7 – Escala da variação de temperatura entre janeiro/2018 e setembro/2018.	37
Figura 8 – Escala da variação de umidade relativa entre janeiro/2018 e setembro/2018.	38
Figura 9 – Área 1 de estudo, Vila Rio Deserto em Urussanga.....	39
Figura 10 – Área 2 de estudo (Santana).	40
Figura 11 – Áreas de estudo 1, 2 e 3.	41
Figura 12 – Localização da área de estudo 1.....	42
Figura 13 – Geração mensal de energia.	44
Figura 14 – Localização da área de estudo 2.....	45
Figura 15 – Geração mensal de energia.	47
Figura 16 – Localização da área de estudo 3.....	48
Figura 17 – Geração mensal de energia.	50
Figura 18 – Simulação SAM da potência de cada área de estudo.....	51
Figura 20 – Gráfico com percentual de ocupação das classes da cobertura do solo.	54
Figura 21 – Principais componentes de um sistema fotovoltaico.	59
Figura 22 – Módulo fotovoltaico.	60
Figura 23 – Estrutura do módulo fotovoltaico.....	61
Figura 24 – Esquema da interligação dos módulos FV ligado a rede.	62
Figura 25 – Cabos utilizados nos sistemas FV.....	64
Figura 26 – Custo financeiro para recuperação das áreas degradadas.....	65
Figura 27 – Custo financeiro para recuperação das áreas degradadas.....	66
Figura 28 – Análise financeira das áreas 1, 2, 3 e total (somatório das três áreas). .	67

Figura 29 – Gráfico do <i>payback</i> da área 1.	67
Figura 30 – Gráfico do <i>payback</i> da área 2.	68
Figura 31 – Gráfico do <i>payback</i> da área 3.	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Itens que compõe o sistema proposto na área de estudo 1 e características conforme apresentados na simulação SAM.....	43
Tabela 2 – Itens que compõe o sistema proposto na área de estudo 2 e características conforme apresentados na simulação SAM.....	47
Tabela 3 – Itens que compõe o sistema proposto na área de estudo 3 e características conforme apresentados na simulação SAM.....	49
Tabela 4 – Classificação dos dados obtidos.	51
Tabela 5 – Geração de energia em kWp.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACP	Ação Civil Pública
AMESC	Associação dos Municípios do Extremo Sul Catarinense
AMUREL	Associação dos Municípios da Região de Laguna
AMURES	Associação dos Municípios da Região Serrana
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APP	Área de Preservação Permanente
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
DAM	Drenagem Ácida de Mina
EOL	Usinas Eólicas
FV	Fotovoltaico
GD	Geração Distribuída
ICRDL	Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda.
KWh	Quilowatts hora
KWp	Quilowatts pico
MP	Ministério Público
MPE	Ministério Público Estadual
MPF	Ministério Público Federal
NREL	<i>National Renewable Energy Laboratory</i>
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PPA	Plano Plurianual
PRAD	Plano de Recuperação de Área Degradada
SAM	<i>System Model Adisor</i>
SIECESC	Sindicato da Indústria de Extração de Carvão de SC
SC	Santa Catarina
SCG	Superintendência de Concessões e Autorizações de Geração

TEP	Toneladas Equivalente de Petróleo
TUSD	Tarifa de Utilização de Serviços de Distribuição
TUST	Tarifa de Utilização de Serviços de Transmissão
UFV	Usina Fotovoltaica
UHE	Usina Hidrelétrica
UTE	Usina Termelétrica
UV	Radiação Ultravioleta

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 ÁREAS DEGRADADAS POR MINERAÇÃO.....	13
3 PANORAMA ATUAL DE ENERGIA	19
3.1 GERAÇÃO DE ENERGIA NO ESTADO DE SC	23
3.2 GERAÇÃO DE ENERGIA POR SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	25
4 METODOLOGIA	29
4.1 PROPOSTA PARA APLICAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAÍCO EM ÁREA DEGRADADA.....	31
5 SYSTEM ADVISOR MODEL (SAM)	33
6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS	36
6.1 CARACTERÍSTICAS DO ENTORNO DAS ÁREAS ESTUDADAS	36
6.2 ÁREAS DE ESTUDO	41
6.2.1 Vila Rio Deserto	42
6.2.1.1 Proposta do Sistema de Geração de Energia Fotovoltaico na Área de Estudo 01 (Vila Rio Deserto, Urussanga/SC).....	43
6.2.2 Santana	44
6.2.2.1 Proposta do Sistema de Geração de Energia Fotovoltaico na Área de Estudo 02 (Mina Santana, Urussanga/SC).....	46
6.2.3 Poço Oito	48
6.2.3.1 Proposta do Sistema de Geração de Energia Fotovoltaico na Área de Estudo 03 (Poço 8, Içara/SC).....	49
6.3 DADOS GERAIS	50
6.4 RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS.....	52
6.5 COBERTURA DO SOLO.....	53
6.6 SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA	55
6.7 ANÁLISE DE SOMBREAMENTO	56
6.8 IRRADIAÇÃO SOLAR	57
6.9 SISTEMA FOTOVOLTAICO LIGADO À REDE	58
7 COMPONENTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	59
7.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	59
7.2 CÉLULAS FV	60

7.3 INVERSOR.....	62
7.4 ESTRUTURA METÁLICA.....	63
7.4.1 <i>String Box</i>	63
7.5 CABOS E CONECTORES	63
7.6 SISTEMA DE MONITORAMENTO	64
8 COMPARATIVO ENTRE AS ÁREAS.....	65
9 CONCLUSÃO	70
REFERÊNCIAS.....	72

1 INTRODUÇÃO

A atividade industrial de mineração proporcionou nos últimos anos um avanço na economia, desenvolvimento e crescimento industrial na região Sul. Para realização de cada etapa da atividade mencionada, possivelmente causaram impactos ambientais significativos. Atualmente, deve-se estar atento às alterações da legislação ambiental e suas implicações para o fechamento pois elas podem ter grande impacto no escopo e tempo das atividades de fechamento. Esses impactos ambientais carecem de controle conforme legislação vigente, medidas compensatórias e requisições dos órgãos competentes são exigidas para minimizar, prevenir a degradação de áreas afetadas (MMA, 2001, pg. 7).

As áreas degradadas existentes decorrem da inexistência de legislação no passado. Em função da falta de conhecimento dos impactos ambientais, hoje o número de locais a serem recuperados são significativos. Atualmente vários programas visam uma melhoria ambiental e uma minimização dos impactos causados pela mineração afim de recuperar as áreas degradadas e abandonadas. A recuperação natural de áreas degradadas por mineração de carvão é lenta e muitas vezes acabam abandonadas pelo tempo de decisão judicial e/ou impasse público (FOSCHINI *et al.*, 2002, pg. 2).

A degradação ambiental de acordo com Galatto-Sergio (2006), oriunda da mineração de carvão na região é reconhecida através do Decreto do Governo Federal (Dec. n. 85.206 de 25 de setembro de 1980) que considera a região carbonífera de Santa Catarina como a 14ª Área Crítica para Efeito de Controle da Poluição e Conservação da Qualidade Ambiental.

Conforme esses relatos, de acordo com Brasil (2010), o Ministério Público Federal (MPF) tomou partido sobre estas causas propondo uma Ação Civil Pública de n. 93.8000533-4, perante a Justiça Federal em Criciúma/SC, condenando solidariamente as empresas carboníferas de Santa Catarina e a União a recuperarem a degradação ambiental provenientes do setor de carvão mineral no Sul de Santa Catarina. Juntamente com estes acontecimentos houve a criação de um Grupo Técnico de Assessoramento no ano de 2006, com a participação de diversos profissionais de distintos órgãos e empresas, para a elaboração de planos para a recuperação dessas áreas.

O objetivo desse trabalho é de aliar a tecnologia a favor das áreas

degradadas por mineração de carvão na região Sul e conciliar áreas sem nenhuma utilidade com uma proposta de projeto de sistemas de módulos fotovoltaicos para a geração de energia, vista como uma tecnologia do futuro, onde se utiliza uma fonte limpa e inesgotável que é o sol.

Os principais fatores em consideração são os de viabilidade de implantação de projetos e instalação de sistemas fotovoltaicos em áreas degradadas de mineração, o levantamento das áreas degradadas potenciais para implantação de sistemas fotovoltaicos, acompanhar dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, realizar simulação de sistemas fotovoltaicos, realizar avaliação de desempenho do sistema; e por fim de verificar como é realizado projeto elétrico e arranjo físico (RAMPINELLI, 2013, p. 297).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A fundamentação foi elaborada a partir da pesquisa bibliográfica, a fim de atingir maior conhecimento teórico sobre o panorama de energia no país e no estado de Santa Catarina, assim como o levantamento de informações referente as áreas degradadas pela atividade de mineração de carvão.

2.1 ÁREAS DEGRADADAS POR MINERAÇÃO

A mineração de carvão no Brasil, principalmente na região Sul, proporcionou um substancial auxílio ao avanço da economia brasileira, ajudando a alavancar decisivamente o desenvolvimento do país. Como qualquer outra atividade industrial, a mineração de carvão também pode gerar inúmeros impactos ambientais negativos, se não forem tomadas medidas preventivas visando evitar e/ou minimizar tais impactos. No passado, os mineradores e órgãos não tinham plena consciência destas implicações ambientais. O importante, na época, era atender o mercado frente à demanda de carvão metalúrgico e energético com o apoio do Governo Federal (AMARAL *et al*, 2011. p. 2).

Referente a degradação de uma área, ela acontece quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, removidas, e a qualidade e regime de vazão do sistema hídrico for alterado. Ocasionalmente a perda de adaptação às características físicas, químicas e biológicas inviabilizando o desenvolvimento socioeconômico, e é inerente à atividade de mineração. (WILLIAMS *et al*, 1990, p.13).

De acordo com Costa-Samuel (2009), poucas são as informações morfológicas ou químicas existentes acerca dos solos construídos após a mineração de carvão a céu aberto, muitos estudos são realizados para a recuperação dessas áreas degradadas.

Durante o processo de mineração de carvão utilizado anteriormente, os materiais provenientes das escavações e desmontes das minas que não eram aproveitados - os estéreis e rejeitos - tinham como destino depósitos irregulares. Esses não obedeceram a nenhum critério técnico e/ou ambiental para o descarte, gerando além de impactos hídricos e do solo, também grandes impactos visuais. (AMARAL *et al*, 2011. p. 2).

Atualmente, para a execução da atividade de mineração de carvão, deve ser feito o devido licenciamento ambiental e seguir todas as normativas relacionadas na legislação existente. Conforme Almeida-Danilo (2016), a legislação ambiental brasileira é considerada por especialistas em direito ambiental como sendo uma das melhores do mundo. Todo empreendimento potencialmente impactante passa por um processo de licenciamento ambiental, em que são assumidos compromissos para adoção de medidas mitigadoras, visando o controle e a compensação ambiental desses impactos. A mesma prevê a participação popular neste processo, e possuímos recursos para responsabilizar e obrigar a todos os empreendimentos, que causem algum tipo de degradação ambiental, a apresentarem e executarem planos de reparação e compensação dos danos provocados.

Conforme as disposições estabelecidas na legislação brasileira, Resolução CONSEMA 98/2016, prevê-se a obrigatoriedade da recuperação dos danos ambientais causados pelo poluidor, ou seja, corrigir ou fazer corrigir os efeitos da atividade degradadora ou poluidora.

A recuperação da área degradada pode ser definida como a sua restituição e respectivo ecossistema a uma condição mais próxima possível de sua condição original, mas que pode ser diferente desta. Existem vários modelos e técnicas para a recuperação de uma área degradada, cuja escolha depende da situação de degradação da área e das condições de regeneração do ecossistema afetado. É por isso que há necessidade, para cada caso, de um Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) específico (PNSB, 2013, pg. 2).

O licenciamento para exploração de minérios, conforme Zanette-Eduardo (2016), em específico do carvão mineral, constitui-se de procedimentos de alta complexidade, vinculado à expedição de licenças específicas, investimento financeiro elevado e imposição de recuperação de possíveis áreas degradadas que servem como mecanismos de compatibilização com a proteção ambiental. Enfatiza-se a importância da prevenção de dano, tão importante quanto à recuperação do meio ambiente, para que não ocorram prejuízos que muitas vezes são irreversíveis e irreparáveis. O processo de recuperação da área degradada, relevante como recurso de minimização e proteção do meio ambiente é responsabilidade da pessoa jurídica licenciada.

No contexto da mineração do carvão, até início da década de 90, a forma como ocorria a exploração do minério, não seguia rígidos controles ambientais como

hoje, por parte da Indústria Carbonífera, Ministério Público e DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. As diferentes interpretações pelos legisladores e os órgãos de controle na relação do Direito Minerário e Direito Ambiental e, a fiscalização insuficiente, acarretou em grandes passivos ambientais na Bacia Carbonífera do Sul de SC (ZANETTE, 2016, pg.11).

Como consequência, conforme Zanette-Eduardo (2016) ocorreu a intervenção em Ação Civil Pública (ACP) decorrente do processo nº. 93.8000533-4, proposta pelo Ministério Público Federal perante a 8ª Vara Federal da Seção Judiciária do Estado de Santa Catarina em 15 de abril de 1993. Após instâncias jurídicas de defesa e fases de instrução processual, foi proferida a sentença, condenando solidariamente os réus a apresentarem um projeto de recuperação ambiental para toda a região, em 05 de janeiro de 2000. Nesta, as empresas carboníferas e a União são penalizadas pelos danos ambientais oriundos da mineração do carvão em Santa Catarina.

A Ação Civil Pública nº. 93.80.00533-4, popularmente conhecida como ACP do Carvão, surgiu com o intuito de recuperar os passivos ambientais gerados entre o ano de 1972 até o ano de 1989. Sendo proposta pelo Ministério Público Federal perante a 8ª Vara Federal da Seção Judiciária do Estado de Santa Catarina em 15 de abril de 1993, contando ao todo com 24 (vinte e quatro) réus, entre empresas carboníferas, seus diretores e sócios majoritários, o Estado de Santa Catarina e a União (ZANETTE, 2016, pg. 67). Após a fase de instrução processual, em 2000 foi proferida a sentença condenando solidariamente os réus a apresentarem um projeto de recuperação ambiental para toda a região. Incluindo um PRAD da região que compõe a Bacia Carbonífera do Sul do Estado contemplando as áreas de depósitos de rejeitos, áreas mineradas a céu aberto e minas abandonadas, bem como o desassoreamento, fixação de barrancas, descontaminação e retificação dos cursos d'água, além de outras obras que visem amenizar os danos sofridos principalmente pela população dos municípios-sede da extração e do beneficiamento (ZANETTE, 2016, pg. 68).

De acordo com o art. 225, da Constituição Federal está explícita a imposição ao Poder Público e à coletividade no dever de defender e preservar o meio ambiente ecologicamente equilibrado. O § 1º estabelece as responsabilidades do Poder Público para assegurar a efetividade do direito de todos, “ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à

sadia qualidade de vida, preservar e restaurar os processos ecológicos essenciais e prover o manejo ecológico das espécies e ecossistemas”. A Lei n. 9985/2000, regulamentou os incisos II, III e VII do § 1º, do art. 225, da Constituição Federal e institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. O § 2º, cita a obrigatoriedade dos exploradores de recursos minerais em recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente. E, o § 3º afirma que, “as condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados”. Assim, é atribuição da União, fiscalizar, preservar e restaurar o “processo ecológico”, nos termos do artigo mencionado.

De acordo com Zanette-Eduardo (2016), as áreas de recuperação ambiental, assumidas pela União e pelas empresas carboníferas, perfazem um total de 4.629 hectares, estando distribuídas em diferentes regiões da Bacia Carbonífera.

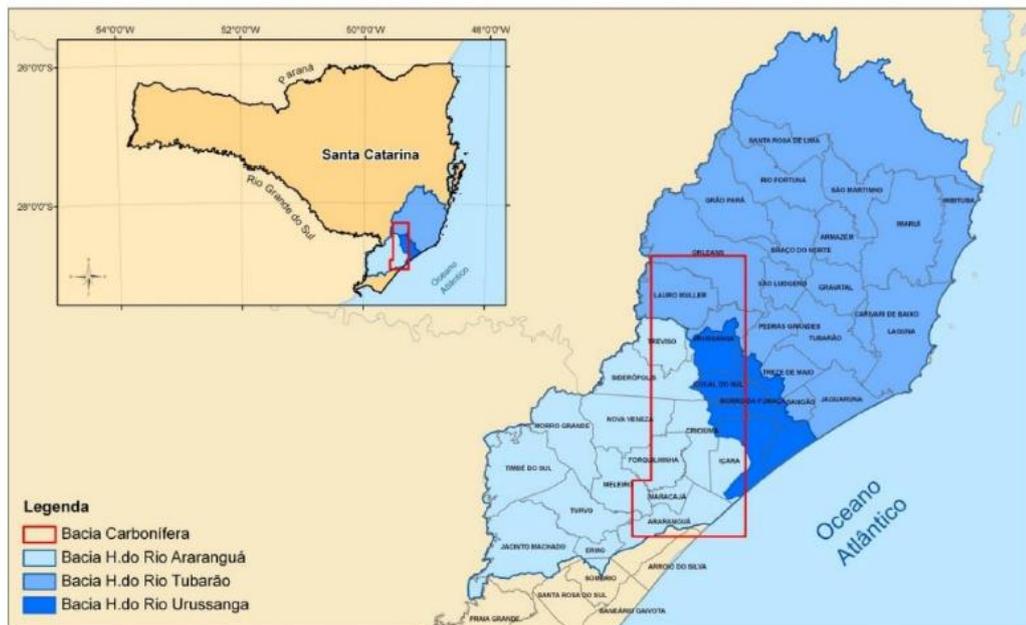
O cronograma de recuperação das áreas degradadas, conforme Zanette-Eduardo (2016), tem como obrigação para conclusão das obras, o ano de 2020. A recuperação de 2.031 hectares até o final do ano de 2013, a com custo estimado de R\$ 152.000.000,00. Com estimativa média de custo de R\$ 75.000,00 por hectare, estes são divididos entre as empresas carboníferas e a CSN. Restam aproximadamente 1.571 hectares a serem recuperados, que implica em um desembolso em torno de R\$ 157.000.000,00, considerando um custo estimado de R\$ 100.000,00 por hectare. Sendo investido pelas empresas carboníferas entre 3 a 3,5 % de seu faturamento bruto em recuperação ambiental. A relevância deste processo, o impacto financeiro, social e ambiental, constitui-se a partir da necessária recuperação decorrente da exploração mineral na região por mais de cem anos.

O 11º Relatório de monitoramento dos Indicadores Ambientais (2018), do Processo de Cumprimento da Sentença nº 200.72.04.002543-9 (Ação Civil Pública nº 93.8000.533-4), elaborado no âmbito do Grupo Técnico de Assessoramento a Execução da Sentença (GTA), é apresentado anualmente ao ministério público federal (MPF), ao juízo e a sociedade.

O GTA mostra o resultado dos indicadores ambientais de qualidade que compreendem o monitoramento dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, da cobertura do solo e do meio biótico integrando informações de todas as campanhas já realizadas. Também realiza uma avaliação integrada dos dados de

áreas com projetos de recuperação de áreas degradadas (PRAD) com os pontos notáveis vinculados a evolução da recuperação ambiental e sua relação com as áreas de preservação permanente (APP), discorrendo sobre o sucesso e as dificuldades de sua implantação e atualiza os dados do monitoramento das campanhas dos rios, de acordo com 11º Relatório de monitoramento dos Indicadores Ambientais (2018), a área de monitoramento que integra o Projeto de Recuperação Ambiental da Bacia Carbonífera no Sul Catarinense, tem aproximadamente 195 mil hectares e inclui 17 municípios do sul do estado, conforme figura abaixo pode ser observada a localização das bacias hidrográficas que compõe a parte de monitoramento do GTA.

Figura 1 – Localização das bacias hidrográficas do sul de Santa Catarina com a delimitação da bacia carbonífera.



Fonte: Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais. (2011).

Nas áreas impactadas, a delimitação das responsabilidades pelos passivos ambientais e os pátios operacionais em atividade na mineração de carvão são informados pelas empresas. Além das empresas envolvidas no processo de recuperação, esses dados também indicam quais as áreas que estão sob a responsabilidade da união. Essas informações foram baseadas de acordo com as reuniões realizadas com os técnicos das empresas envolvidas e, com apoio de ortofotos e imagens orbitais, são identificados os limites reconhecidos por cada

empresa. Após isso, são percorridos todos os distritos para a confirmação e a identificação das áreas (11º Relatório de monitoramento dos Indicadores Ambientais, 2018, pg. 29).

De acordo com as informações fornecidas pelas empresas existem 41,10 ha de áreas com sobreposições e, descontando esse montante do total de 4.475,93 ha, o balanço atual das áreas possui 4.434,83 ha de áreas com responsabilidade assumida pelas empresas e incluídas nos cronogramas dos PRAD, 764,49 ha de áreas ocupadas por pátios em operação e 968,47 ha de áreas ocupadas pela urbanização. A diferença entre o monitoramento da cobertura do solo (6.503,74 ha) e o somatório das áreas com PRAD (4.434,83 ha), das áreas urbanizadas (968,47 ha) e das áreas operacionais (764,49 ha) corresponde às áreas órfãs que compreendem 335,95 ha (11º Relatório de monitoramento dos Indicadores Ambientais, 2018, pg. 95).

A caracterização da fisionomia da vegetação, segundo o 11º Relatório de monitoramento dos Indicadores Ambientais (2018) teve como ponto de partida as informações encaminhadas pelas empresas ao SIECESC e a posterior verificação em campo. Foram registradas 98 espécies de árvores com regeneração natural e 46 espécies introduzidas pelos PRAD, em um total de 106,10 ha. Já o monitoramento já permitiu a identificação de diversos grupos da fauna em APP, tanto terrestres, quanto aquáticas. Baseados em consultas aos relatórios das empresas foram registradas, até o momento, 127 espécies da avifauna, 12 espécies de mamíferos (mastofauna), 11 espécies de anfíbios e 3 de répteis (herpetofauna) e 7 espécies do grupo da ictiofauna.

O relatório interpreta a caracterização dos trechos dos rios impactados das bacias hidrográficas do Araranguá, Urussanga e Tubarão, conjuntamente, com o resultado do monitoramento que indica a evolução da cobertura do solo, a fim de estabelecer a relação de causa/efeito para a qualidade dos recursos hídricos superficiais. Nessa análise, em nível de bacia hidrográfica. A extensão dos trechos de rios impactados pela drenagem ácida foi avaliada, através da elaboração de mapas, cujos rios são representados pelos indicadores pH e acidez, individualizados por cores (11º Relatório de monitoramento dos Indicadores Ambientais, 2018, pg. 116).

3 PANORAMA ATUAL DE ENERGIA

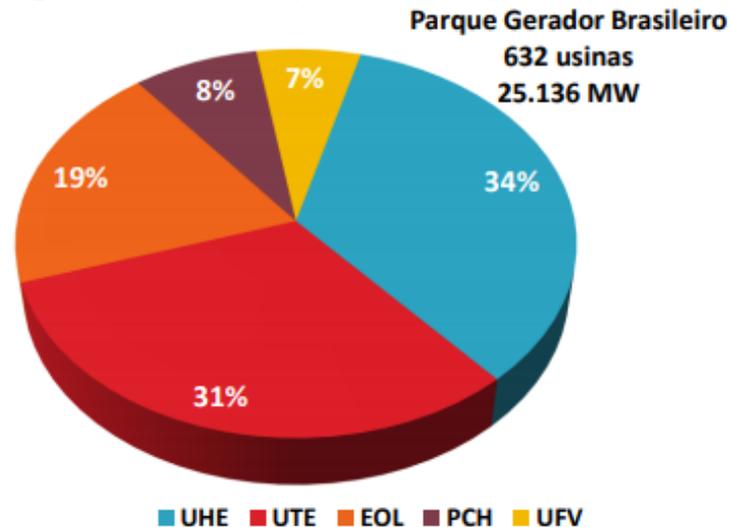
Dos 191 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep) correspondentes ao consumo final do país em 2004, a parcela correspondente à energia elétrica foi de aproximadamente 16,2 %. De acordo com o Plano Nacional de Energia (2007), este número reflete um forte crescimento no uso da energia elétrica ao longo do tempo, pois desde 1970 o crescimento anual médio do consumo de eletricidade foi de 6,7 %. A maior participação da energia elétrica ocorreu simultaneamente a diversas alterações na matriz energética nacional. De fato, o forte crescimento do consumo final, de 62,1 milhões de tep em 1970 para 191,1 milhões de tep em 2004, incorporou algumas mudanças nos padrões de uso da energia. Dentre essas, a mais acentuada foi à perda de participação da lenha, que representava 46 % do consumo final do país em 1970. No ano de 2004, no entanto, sua participação passou a representar apenas 8 % do consumo. Entre outras alterações, pode-se também destacar o crescimento do uso dos subprodutos da cana de açúcar, do gás natural e dos derivados de petróleo.

Num contexto de forte crescimento da economia mundial, da ordem de 3,8 % ao ano no período de 25 anos, e de maior conscientização ambiental, a demanda por energia também mostrou expansão, embora as taxas de crescimento tenham sido inferiores às da economia. A análise da evolução da matriz energética mundial nas primeiras décadas do século mostra um forte crescimento da participação das fontes renováveis, energia eólica e solar fotovoltaica, impulsionado pelo fortalecimento dos mecanismos globais de regulação ambiental, principalmente a partir da segunda década do século. Deve-se destacar que, a necessidade de redução dos níveis globais das emissões de gases causadores do efeito estufa contribuiu para uma maior utilização de energias “limpas” em diversos países (Plano Nacional de Energia, 2007, pg. 98).

Conforme o Relatório de Acompanhamento da Implantação de Empreendimentos de Geração da ANEEL (2018), o cenário de energia no país vem mudando constantemente, informando sobre a implantação de novos empreendimentos de geração de energia elétrica no Brasil, conforme a Figura 2, indicando no gráfico o percentual de cada tipo de usina a ser instalada nos próximos anos. O retrato atual dos novos empreendimentos de geração da energia elétrica por UHE, UTE, EOL, PCH e UFV, composta pelas iniciativas de geração outorgados

com unidades geradoras que ainda não entraram em operação comercial, é de 632 usinas, totalizando 25.136,42 MW de capacidade a ser instalada.

Figura 2 – Divisão percentual da potência instalada no parque gerador brasileiro (dividido por tipo de usina).



Fonte: ANEEL (2018).

Ainda conforme o relatório da ANEEL (2018), as UFV, com 1.686 MW, representam aproximadamente 7 % da capacidade a serem instaladas. Nos últimos anos a participação das fotovoltaicas no parque eólico brasileiro aumentou consideravelmente e esse panorama deverá se manter para os próximos anos com a entrada de mais 66 empreendimentos. Interessante ressaltar que essa fonte, devido às características construtivas, em 2017 apresentou um tempo médio de implantação inferior às demais usinas.

De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006), a queima de combustíveis fósseis responde por grande parte da demanda de energia no setor de transporte e atende a cerca de 40 % da energia utilizada no setor agropecuário brasileiro causando a contribuição mais importante em emissão de gases do efeito estufa (CO₂, CO, etc.) no Brasil. Programas de incentivo para adoção de queima de biomassa (etanol e biodiesel) estão em implementação no país e espera-se em um futuro próximo, a biomassa tenha uma contribuição significativa nesses setores reduzindo a contribuição brasileira para a emissão global de gases de efeito estufa.

Atualmente, a energia hidráulica é a principal fonte de energia para geração de eletricidade no Brasil. Apesar de ser considerada uma fonte renovável e limpa, as usinas hidroelétricas produzem um impacto ambiental ainda não

adequadamente avaliado, devido ao alagamento de grandes áreas cultiváveis. Estudos mostram que gases do efeito estufa, principalmente o Metano (CH₄), são emitidos para atmosfera em consequência de processos de degradação anaeróbica da matéria orgânica que ocorrem em áreas alagadas (Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006, pg. 12).

A energia nuclear, conforme o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006) é citada como uma fonte “limpa” de energia elétrica por não provocar a emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera. Sob o ponto de vista do desenvolvimento, é uma alternativa para cobrir o déficit de energia previsto, diversificar as fontes de energia nacionais e viabilizar o programa nuclear brasileiro. O país conta com a sexta maior reserva de urânio do mundo e apenas 25 % do território nacional foram mapeados. Por conta disso, o governo retomou o projeto de construção da usina nuclear de Angra III, com capacidade de 1.300 MW, completando assim o ciclo que iniciou com Angra 1 em 1985. Contudo, a energia nuclear não tem sido bem aceita pela sociedade civil em razão do questionamento sobre os riscos associados e ao problema do armazenamento dos rejeitos radioativos gerados.

Dentre as fontes renováveis de energia elétrica, a energia eólica é a que vem recebendo maior volume de investimentos por conta do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia. A capacitação tecnológica da indústria nacional e o custo decrescente da eletricidade de origem eólica, quando associados ao enorme potencial eólico nacional, indicam que essa forma de geração poderá ocupar, em médio prazo, um importante papel no país, principalmente atuando como fonte descentralizada e complementar de energia acoplada a rede elétrica. No entanto, boa parte do território brasileiro, incluindo praticamente toda a região amazônica e central do Brasil, não apresenta condição de vento adequada para geração de eletricidade (Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006, pg. 12).

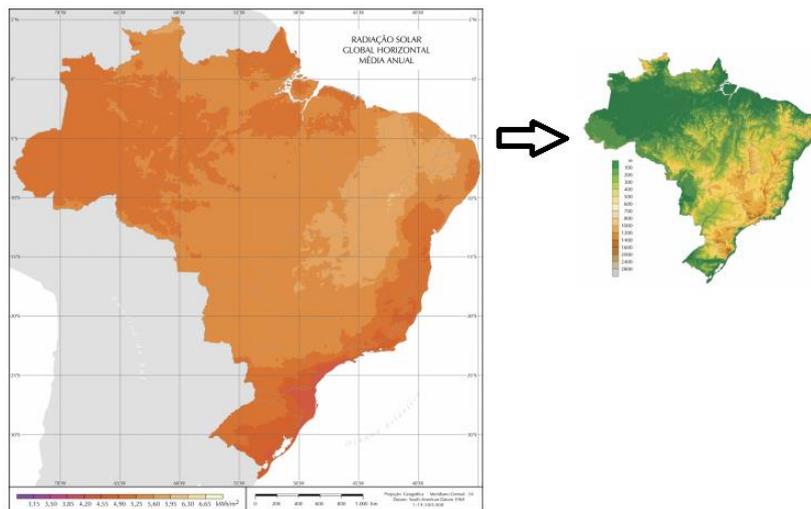
Por outro lado, o Brasil, por ser um país localizado na sua maior parte na região intertropical, possui grande potencial para aproveitamento de energia solar durante todo ano. A utilização da energia solar traz benefícios a longo prazo para o país, viabilizando o desenvolvimento de regiões remotas onde o custo da eletrificação pela rede convencional é demasiadamente alto com relação ao retorno financeiro do investimento, regulando a oferta de energia em períodos de estiagem, diminuindo a dependência do mercado de petróleo e reduzindo as emissões de

gases poluentes à atmosfera como estabelece a Conferência de Kyoto. Existe um grande leque de possibilidades a médio e longo prazo para aproveitamento dessa abundante forma de energia renovável, que vai desde pequenos sistemas fotovoltaicos autônomos até as grandes centrais que empregam energia solar concentrada, ou a sistemas de produção de hidrogênio para utilização em células de combustível para a produção de trabalho com emissão zero de CO₂ (Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006, pg. 12).

No entanto, essa energia ainda tem uma participação incipiente na matriz energética brasileira, conforme o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006), apenas a energia solar térmica para aquecimento de água tem despertado interesse no mercado nacional, principalmente para o emprego entre as classes A e B da sociedade, na indústria e nos serviços de hotelaria. Além da importância atual no panorama energético e no desenvolvimento sustentável do país, o conhecimento da radiação solar incidente é importante para áreas da atividade humana como, por exemplo, a meteorologia e a climatologia. No setor de agronegócios, é importante para o planejamento e obtenção da maior eficiência energética nas diversas etapas de produção: a seleção das culturas, o plantio, a colheita incluindo o desenvolvimento e operação de sistemas de irrigação de áreas e a secagem de grãos.

As perspectivas e oportunidades de aproveitamento do potencial econômico relacionado com a exploração comercial dos recursos energéticos da radiação solar dependem basicamente de dois fatores: do desenvolvimento de tecnologia competitiva de conversão e armazenamento dessa energia; e de informações seguras e da política energética do país (Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006, pg. 16).

Figura 3 – Divisão percentual da potência instalada no parque gerador brasileiro (dividido por tipo de usina).



Fonte: ANEEL (2018).

De um modo geral, as informações de caráter científico necessárias são: o levantamento em alta resolução espacial do potencial energético solar; séries temporais de longa duração de dados de campo com resoluções temporais e espaciais adequadas à realização de estudos de incertezas e tendências; conhecimento sobre a variabilidade dessas fontes renováveis associada à fatores naturais e antropogênicos (Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006, pg. 13).

3.1 GERAÇÃO DE ENERGIA NO ESTADO DE SC

O território de estudo, é composta pela Associação dos Municípios da Região Carbonífera, conforme AMREC (2014), compreende uma área total de 2.089,37 km², correspondente a 2,23 % do total do estado. Limita-se ao norte e ao leste com AMUREL e o Oceano Atlântico, ao Sul com a AMESC e a oeste com a Associação dos Municípios da Região Serrana (AMURES). Compreendem os municípios de Cocal do Sul, Criciúma, Forquilha, Içara, Lauro Müller, Morro da Fumaça, Nova Veneza, Siderópolis, Treviso e Urussanga.

A energia elétrica é uma das formas de energia mais utilizadas no cotidiano e na produção econômica da sociedade. É derivada das diferenças de potencial elétrico em um condutor, de tal modo que possibilite a geração de uma corrente orientada de elétrons em um circuito. Caracteriza-se, principalmente, pela flexibilidade de transformação em outras formas de energia e pela facilidade de transporte em relação a outras fontes. Para que possa ser útil, ela precisa ser gerada por outras fontes energéticas e convertida em eletricidade para fins de

transporte da origem da fonte geradora até o local de consumo, quando novamente se converte em outro tipo de energia, de acordo com o uso que se faz necessário (Logística de Energia, 2015, pg. 64).

No estado de Santa Catarina, a principal distribuidora de energia é a Centrais de Elétricas de Santa Catarina S.A. (Celesc). O estado possui mais de 6 milhões de habitantes e o quinto maior mercado consumidor de energia elétrica do Brasil. A distribuição de energia elétrica é a principal atividade do Grupo Celesc. A Empresa leva energia para mais de 2,4 milhões de unidades consumidoras localizadas em 257 municípios catarinenses (91,79 % do território do Estado) e em Rio Negro, no Paraná, é responsável pelo suprimento de energia elétrica para o atendimento de quatro concessionárias e 16 permissionárias, que atuam nos demais 36 municípios catarinenses. O consumo residencial médio chega a 198kWh/mês, o maior índice da região Sul. A Empresa distribuiu, em 2011, quase 20 mil GWh, volume correspondente a 26,8 % do consumo da região Sul e a 5,2 % do total de energia elétrica consumida no País (Relatório Anual/Celesc, 2011).

De acordo com o Portal do Agronegócio (2015), a constatação do Balanço Energético do setor industrial de Santa Catarina, na Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina, em Florianópolis, sobre o uso de biomassa, somada a lixo, chega a 64,5 % do consumo total de energia pelo setor. Já a eletricidade e o gás natural representam respectivamente 19,7 % e 11,1 % das fontes utilizadas. As indústrias que mais consumiram energia no período de 2010 a 2012 foram cerâmica (33 %), papel e celulose (25 %) e alimentos e bebidas (19 %). O consumo de lenha na indústria de cerâmica vermelha chega a 90 % do total das fontes de energia utilizadas.

Conforme Biggar e Hesamzadeh (2014), apesar de existirem sete métodos de conversão de outros tipos de energia em eletricidade, apenas os métodos de efeitos fotoelétrico e eletroquímico e a indução eletromagnética possuem significância para a composição de sistemas elétricos de potência. Assim, o efeito fotoelétrico consiste na conversão de fótons (energia luminosa) em eletricidade, ao passo que o eletroquímico se utiliza de reações químicas para tal. No primeiro caso, são utilizados painéis solares feitos de materiais que, quando irradiados pela luz solar liberam elétrons, ou seja, a geração de energia elétrica ocorre por meio das unidades geradoras, essas instalações são responsáveis por converter outro tipo de energia em energia elétrica.

3.2 GERAÇÃO DE ENERGIA POR SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

A radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica e mostra-se uma opção bastante promissora, já que utiliza uma fonte renovável que é o sol, e o processo de geração de energia é limpo, ou seja, não emite gases residuais, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, através de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico (ANEEL, 2002, p. 23).

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade, sendo a célula fotovoltaica, um dispositivo fabricado com material semicondutor, a unidade fundamental desse processo de conversão. (PINHO *et al*, 2014, p. 50).

A Energia Solar Fotovoltaica, conforme CRESESB (2014) é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade. O efeito fotovoltaico, relatado por Edmond Becquerel, em 1839, é o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. A célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão, ou seja, esses painéis (ou módulos) fotovoltaicos contém uma associação de células semicondutoras que captam a radiação solar, o material semicondutor das células transforma a energia dos fótons em corrente elétrica pelo efeito fotovoltaico, o inversor processa a energia gerada pelos painéis de CC para CA e assegura o perfeito funcionamento do sistema fotovoltaico, opcionalmente, o inversor pode enviar dados de geração para a internet, possibilitando o monitoramento online através do computador, tablet ou celular.

De acordo com Vallêra-Antônio (2005), em 1877, W G Adams e R.E. Day fizeram uso das propriedades condutoras do selênio para desenvolver primeiro dispositivo sólido de produção de eletricidade por exposição à luz, ou seja, a primeira célula solar. A célula consistia em um filme de selênio depositado num substrato de ferro com um segundo filme de ouro, semitransparente, que servia como contato frontal. Com baixa eficiência, em torno de 0,5 %, no final do século XIX, o engenheiro alemão Werner Siemens comercializou células de selênio com fotômetros para máquinas fotográficas. Em 1883 tem-se a primeira célula solar

fotovoltaica, desenvolvida pelo estadunidense Charles Fritts, com rendimento de 1 %.

A primeira célula solar moderna teve início em 1953 quando Calvin Fuller, um químico do Bell Laboratories desenvolveu um processo para introduzir impurezas em cristais de silício, com a finalidade de controlar suas propriedades elétricas, este processo é denominado “dopagem”. Em 1954 foi criada a primeira célula fotovoltaica de silício, pela empresa Bell Laboratories, localizada em New Jersey, nos Estados Unidos. A aplicação da energia fotovoltaica era exclusivamente espacial. Ao final da década de 50, nesta época satélites foram lançados ao espaço com módulos FV acoplados. As aplicações terrestres para energia fotovoltaica só foram difundidas na década de 70, impulsionadas pela crise energética vigente da época (VALLÊRA, 2005, pg. 02).

Na década de 60 as células eram feitas à mão e o custo de instalação chegava US\$1.000 (mil dólares) por Watt. No entanto, até a última década, o custo de instalação dessa tecnologia diminuiu para menos de US\$ 4 (quatro dólares) por Watt, em 2017 chegando a US\$ 0,40 por Watt, conforme a figura, o que a tornou uma fonte viável no mercado brasileiro. A crise de 70 provocou o aumento do interesse do estudo da tecnologia fotovoltaica, levando os EUA a incentivar projetos de pesquisa e desenvolvimento e criar a NREL. Esses investimentos possibilitaram grandes avanços na tecnologia fotovoltaica, nos materiais e inversores, além das legislações e incentivos fiscais para promover seu uso (ANEEL, 2013, pg. 03).

Figura 4 – Custo do FV últimos anos.



Fonte: ANEEL, 2013.

Ainda conforme a ANEEL (2013), no Brasil, a instalação de usinas fotovoltaicas tem se mostrado viável, tendo em vista o crescente número de pedidos de novas outorgas recebidos pela SCG. Entre os fatores que contribuíram para atratividade do mercado brasileiro à exploração de Centrais Geradoras Fotovoltaicas está a Resolução Normativa 481, de 17 de abril de 2012, a qual estabeleceu que os agentes geradores por fonte solar outorgados até 31 de dezembro de 2017, receberão 80 % de desconto nas tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição - TUST e TUSD.

A demanda energética brasileira vem se mostrando crescente devido ao aumento populacional, à utilização da tecnologia cada vez mais presente no dia a dia das pessoas e presente em todos os setores econômicos. De acordo com o estudo de previsão de carga lançado em 2018 pela ONS, essa carga tende de aumentar 20 % até 2022. Além disso, a preocupação com o meio ambiente e as mudanças climáticas que estão evidentes nos dias de hoje, implica à matriz energética a necessidade de buscar formas alternativas de geração de energia elétrica que tenham menor impacto e emissões de gases de efeito estufa. Atualmente 68,1 % da matriz energética brasileira é constituída de fontes hídricas que são renováveis, porém, apresentam um grande abalo social e ambiental na região de sua construção e, portanto, acaba não sendo uma opção propícia atualmente (RIBAS, 2018, p. 15).

Conforme Ribas-Ana (2018), devido ao aumento da utilização desses sistemas no mundo, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) criou uma regulamentação (482/2012), para autorizar a utilização de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica e a política de créditos de energia. Desde então, muitos consumidores têm instalado esse tipo de gerador para diminuir a conta de energia elétrica, contribuindo assim com o meio ambiente.

Hoje em dia esse sistema se torna de alto custo de investimento, isso ocorre, segundo Ribas-Ana (2018), pela seguinte justificativa:

Os componentes utilizados em sistemas fotovoltaicos conectados à rede eram considerados de alto custo, tornando assim inviável a utilização por pequenos consumidores devido à demora do retorno do investimento inicial. Atualmente, com o aumento da demanda e a redução dos custos com a produção em série desses componentes, esse investimento mostra-se mais viável e vem transformando-se em uma alternativa para os consumidores. (RIBAS, 2018, p. 15).

Em face da necessidade de se combater o aquecimento global, vários países vêm adotando políticas de incentivo ao uso de fontes alternativas, entre as quais a energia solar, em substituição às fontes de origem fóssil, que liberam CO₂ na atmosfera, um dos gases causadores do efeito estufa. Reflexo dos incentivos mencionados, a produção primária de energia solar por painéis fotovoltaicos aumentou 395 % entre 2003 e 2013. A produção primária total de energia cresceu 17 % no mesmo período, frente a 56 % das fontes renováveis. Somente o crescimento da geração de energia eólica superou a energia solar (SILVA, 2015, p. 07).

4 METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa utilizada no trabalho fundamentou-se no método qualitativo e quantitativo, com enfoque na viabilidade econômica científica. De acordo com Flick-Uwe (2009), a pesquisa qualitativa é de particular relevância ao estudo das relações sociais, além de serem adotadas como ponto de partida para uma argumentação no sentido de justificar a utilização da pesquisa.

Com o objetivo de avaliar e pesquisar a viabilidade de implantação de projetos de instalação de sistemas fotovoltaicos, em áreas degradadas de mineração, para Silva-Mauricio (2004), a pesquisa aplicada se define em:

Sempre haverá algum conhecimento prévio sobre o tema em questão, essa etapa do projeto de pesquisa é importante para o pesquisador formar uma linha de raciocínio consubstanciada no conhecimento de outros autores. Desse modo, ao concluir a pesquisa, poderá haver uma contribuição para o desenvolvimento do tema. O referencial teórico é o alicerce da pesquisa. (SILVA *et al*, 2004, p. 101).

A pesquisa também se classifica como exploratória, segundo Oliveira-Maxwell (2011), se resume em:

Eles possibilitam aumentar o conhecimento do pesquisador sobre os fatos, permitindo a formulação mais precisa de problemas, criar novas hipóteses e realizar novas pesquisas mais estruturadas. Nesta situação, o planejamento da pesquisa necessita ser flexível o bastante para permitir a análise dos vários aspectos relacionados com o fenômeno. (MAXWELL, 2011, pg. 42).

A proposta da pesquisa exploratória foi identificar algo novo que poderá ser alvo de futuras pesquisas. Os estudos exploratórios, geralmente, são úteis para diagnosticar situações, explorar alternativas ou descobrir novas ideias (OLIVEIRA, 2011, p.21).

Conforme esses conceitos expostos, conclui-se que o referido trabalho caracteriza-se como uma pesquisa Aplicada e Exploratória. Inicialmente o trabalho foi desenvolvido com a **pesquisa bibliográfica** do tema, trazendo assuntos relacionados a áreas degradadas e os impactos relacionados pela atividade de

extração do minério de carvão, dando sequência a pesquisa relacionada com o panorama de geração de energia por sistemas fotovoltaicos.

Após pesquisa bibliográfica referente aos temas abordados, foi feito um **descritivo** da situação necessária para uma possível instalação de módulos fotovoltaicos para a geração de energia, como por exemplo, os índices da radiação solar, geometria da área disponível, distribuição de rede elétrica local, sombreamento, vegetação, riscos de alagamento, entre outros aspectos.

Posteriormente a verificação dos dados coletados, foi feita uma **simulação de geração de energia**, a mesma foi realizada com o *software* “*System Advisor Model*”, essa ferramenta gera resultados anuais de energia, rentabilidade, desempenho do sistema, qualidade, produção de energia conforme irradiação solar disponível.

Em seguida, foi possível analisar **economicamente os resultados** obtidos pela energia gerada na simulação, sendo avaliado a capacidade de geração de energia em quilowatt/pico.

Por fim, o estudo foi concluído com os resultados gerados na simulação e assim definido se a proposta de instalação do sistema fotovoltaico foi **viável** técnico-econômico para a organização x e suas diretrizes se aplicam de forma alternativa para a realidade atual.

A seguir a figura 5 detalha as etapas das atividades que foram adotadas no trabalho de conclusão de curso.

Figura 5 – Fluxograma das atividades aplicadas no trabalho de conclusão de curso.



Fonte: Autora, 2018.

4.1 PROPOSTA PARA APLICAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAÍCO EM ÁREA DEGRADADA

A proposta do estudo dispõe sobre o direcionamento para a instalação de um sistema fotovoltaico em três áreas degradadas por mineração sem perspectiva de utilização futura. De acordo com Rampinelli-Giulliano, (2013), o projeto técnico-científico para implantação de sistemas fotovoltaicos em áreas degradadas e recuperadas ambientalmente deve ser dividido em quatro etapas:

1. Levantamento de dados energéticos e ambientais, seleção e dimensionamento dos equipamentos;
2. Instalação e monitoramento das características elétricas e térmicas do sistema fotovoltaico e dos parâmetros ambientais;
3. Análise e descrição dos impactos energéticos e ambientais;
4. Transferência dos resultados.

Ainda de conforme Rampinelli-Giulliano, (2013), o objetivo geral do projeto deve ser a instalação de um sistema fotovoltaico em uma área de recuperação

ambiental e a determinação experimental, através de um projeto de instalação de dimensão, dos impactos energéticos da conversão de energia solar e sua distribuição na rede elétrica e os impactos ambientais nesta área, visando à redução do custo da recuperação.

De acordo com cada projeto foi obtido o número de módulos e assim a quantidade de inversores, esses consistem em converter energia elétrica em corrente contínua em energia elétrica em corrente alternada (RAMPINELLI, 2013, p. 294).

A comparação e análise do desempenho entre diversos e diferentes sistemas fotovoltaicos podem ser realizadas mediante análise de um conjunto de índices, denominados de índices de mérito técnico de sistemas fotovoltaicos. A análise do desempenho do sistema fotovoltaico baseia-se nos índices de mérito, utilizados pelo programa de avaliação energética da Comunidade Econômica Europeia, em seu programa de avaliação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Essa metodologia de análise necessita que a instalação fotovoltaica seja monitorada por um período mínimo de um ano, para que sejam conhecidos os índices médios mensais e, por consequência, o desempenho energético do sistema fotovoltaico conectado à rede (RAMPINELLI, 2013, p. 301).

O programa de simulação utilizado para realizar a simulação é o “*System Advisor Model*”, onde se utiliza o total da área de cada local em metros quadrados e a região. Com essas informações o *software* resulta em quanto quilowatt por hora será gerado de energia anualmente (WITTMER, 2015).

5 SYSTEM ADVISOR MODEL (SAM)

O *software Advisor Modelo de Sistema (SAM)* foi desenvolvido e distribuído pelo NREL. SAM é um modelo de computador técnico-econômico que calcula o desempenho e métricas financeiras de projetos de energia renovável, os desenvolvedores do projeto, os fabricantes de equipamentos e pesquisadores usam gráficos e tabelas de SAM que resultam no processo de avaliação, tecnologia e opções de incentivos financeiros para projetos de energia renovável. Também simula o desempenho de energia fotovoltaica, concentração de energia solar, o aquecimento solar de água, do vento, geotérmica, e sistemas de energia de biomassa, e inclui um modelo genérico de base para a comparação com os tipos convencionais ou outros sistemas. Os modelos financeiros são utilizados para projetos que estão dispostos a comprar e vender eletricidade a preços de varejo (residenciais e comerciais) ou vender eletricidade a um preço determinado em um acordo de compra de energia (PPA). Ferramentas de simulação de *software* facilitam parâmetros e análises de sensibilidade (BLAIR, *et al*, 2017, pg. 04).

Para modelar um projeto de energia renovável no SAM, Blair-Nate *et al* (2017) afirmar que, você escolhe um modelo de desempenho e um modelo financeiro para representar o projeto e atribuir valores a variáveis de entrada, para fornecer informações sobre a localização do projeto, o tipo de equipamento no sistema, os custos de instalação e operação do sistema e os custos financeiros e incentivos. Uma vez que estiver satisfeito com os valores das variáveis de entrada, executa-se simulações e depois examina os resultados obtidos até que os dados fiquem apropriados para serem utilizados.

O *software* não modela sistemas *off-grid* de energia ou sistemas de energia híbrida, com mais de uma fonte de geração de energia. Ainda é possível realizar modelos de projetos de grande ou pequeno porte, que vão desde instalações telhado fotovoltaicos residenciais a grandes projetos de geração de energia solar de concentração e parques eólicos. Os pesquisadores podem estudar o código para entender os algoritmos de modelo, e os programadores de *software* podem contribuir com seus próprios modelos e melhorias para o projeto. Os manuais de referência que descrevem os algoritmos modelo também estão disponíveis para *download* no site do programa (BLAIR, *et al*, 2017, pg. 09).

Ainda conforme Blair-Nate *et al* (2017), uma simulação do programa envolve o cálculo de saída do sistema de energia para cada iteração por hora em um ano, e calcula um fluxo de caixa do projeto durante um período de vários anos. Ferramentas de simulação tornam possível a realização de estudos envolvendo múltiplas simulações para modelagem paramétrica e estocástica, para análises que investigam os impactos sobre os resultados do modelo de variações e incerteza nas premissas sobre o tempo, desempenho, custo e parâmetros financeiros que são descritas, como a análise paramétrica que atribui valores para as variáveis para a criação de gráficos e tabelas, esses mostram o valor de métricas de saída para cada valor da variável de entrada.

Figura 6 – Janela principal do programa SAM mostrando o resumo dos resultados para um sistema de energia eólica.



Fonte: BLAIR *et al*, (2017).

Útil para otimização das relações entre as variáveis de entrada e resultados. A análise estocástica consiste em criar histogramas que mostram a sensibilidade das métricas de saída às variações de valores de entrada. A probabilidade de análise de transposição, que descreve os locais com dados meteorológicos disponíveis por muitos anos, o cálculo da probabilidade da produção total anual do sistema será superior a um determinado valor. O Excel Exchange utiliza o programa Excel para calcular o valor de variáveis de entrada, e passa

automaticamente os valores das variáveis de entrada de SAM para Excel (BLAIR, *et al*, 2017, pg. 13).

O LK script que escreve seus próprios programas na interface de usuário SAM para controlar simulações altera os valores das variáveis de entrada, grava dados em arquivos de texto e interage com planilhas do Excel. Os navegadores de entradas que exibem todas as entradas em cada caso em um arquivo SAM como uma única tabela que pode ser filtrada para encontrar variáveis de entrada com valor diferente e exportados para um arquivo CSV. Em casos de importação como de arquivos SAM, o *software* realiza quando necessário. O gerador de relatórios é um dos principais aspectos positivos encontrados no programa, pois cria um arquivo PDF com tabelas de resumo e gráficos dos dados e de resultados obtidos na simulação (BLAIR *et al*, 2017, pg. 13).

6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

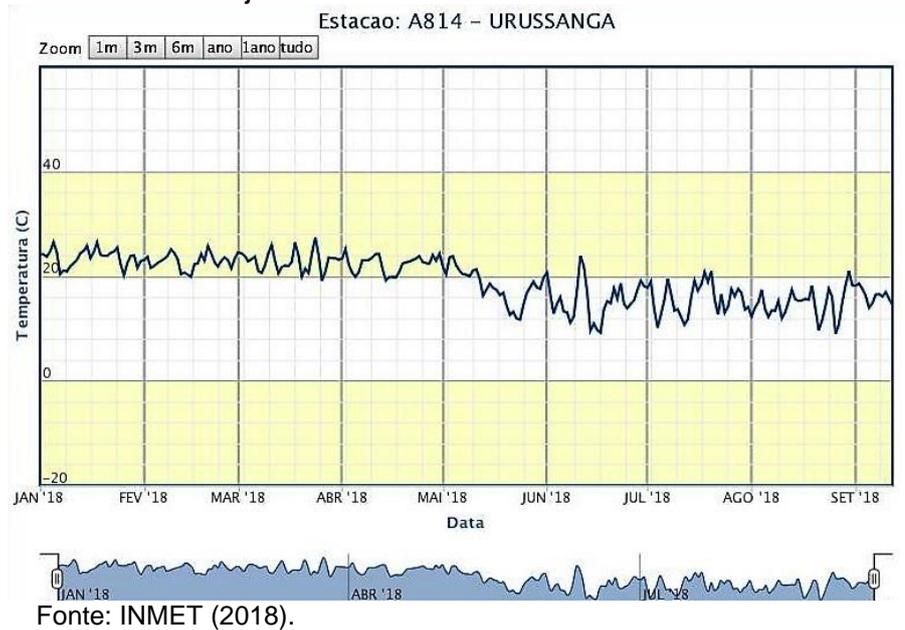
Por meio da modelagem das proposições do *software* SAM, simulou-se o projeto do sistema FV para cada uma das áreas de estudo. Obtendo o cálculo e a economia devido a geração de energia ao longo dos anos.

6.1 CARACTERÍSTICAS DO ENTORNO DAS ÁREAS ESTUDADAS

Os fatores climáticos são os responsáveis pelas características ou modificações dos elementos do clima em determinada região, conforme Vianello-Rubens (1991), os elementos climáticos são definidos pelos atributos físicos que representam as propriedades da atmosfera geográfica de um dado local. A temperatura, a umidade e a pressão influenciam na manifestação dos elementos precipitação, vento, nebulosidade, ondas de calor e frio, entre outros.

O clima da região sul é caracterizado pela ação de massas de ar intertropicais quentes e massas polares frias, sendo as últimas responsáveis pelo caráter mesotérmico do clima de efeito acentuado, porém, atuando em ondas esparsas que são dominadas parcialmente pelas massas intertropicais. As oscilações da frente polar que atingem o território catarinense durante todo o ano, imprimem sobre o seu clima dois aspectos característicos, a instabilidade do tempo e a elevada pluviosidade no decorrer do ano. Referente as chuvas de verão, se faz por interferência da expansão da massa equatorial continental para o sul, estendendo-se até o litoral sul da região. As temperaturas variam, estando a média anual entre 15 °C e 20 °C, sendo janeiro o mês mais quente e julho o mais frio. (PRAD/Rio Deserto, 2006, pg. 10).

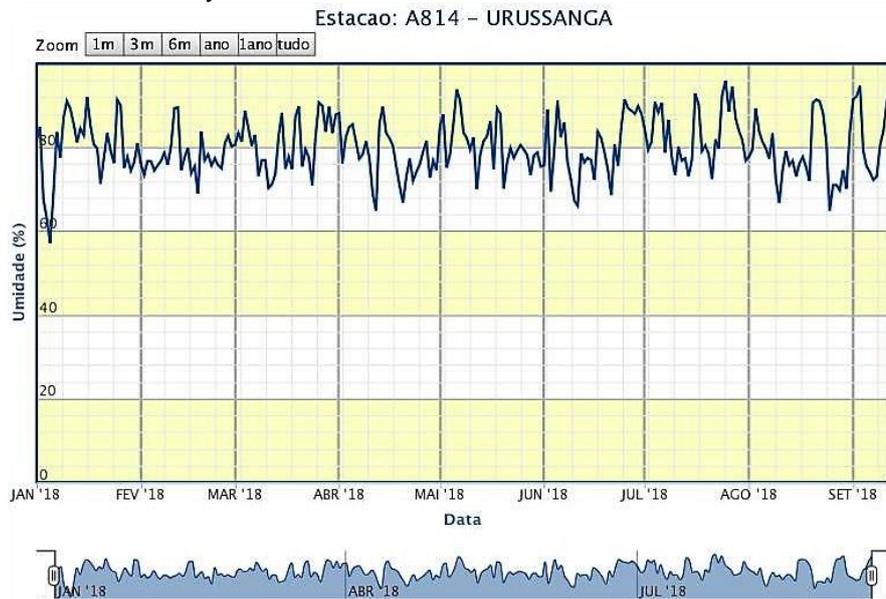
Figura 7 – Escala da variação de temperatura entre janeiro/2018 e setembro/2018.



De acordo com Nimer-Edmon, (1972), em virtude do balizamento intertropical da marcha zenital do Sol, o inverno torna-se, evidentemente, mais longo e mais frio à medida que nos afastamos do equador. Sendo o clima subtropical e corresponde, às latitudes de 30° a 40°. O inverno é pouco vincado apenas parcialmente, ficando a maior parte de seu território sujeito, frequentemente, a um inverno acentuado, embora nunca rigoroso, no sentido climatológico.

De acordo com a classificação climática de Koppen-Geiger (2007), a região se enquadra no clima do grupo C – mesotérmico, uma vez que as temperaturas medias do mês mais frio estão abaixo dos 18 °C e acima de 3 °C e neste grupo, ao tipo (f) sem estação seca distinta (Cf), pois não há índices pluviométricos mensais inferiores a 60 mm.

Figura 8 – Escala da variação de umidade relativa entre janeiro/2018 e setembro/2018.



Quanto a altitude da região, o clima se distingue por subtipo de verão (a) com clima temperado chuvoso e úmido em todas as estações e com temperaturas medias nos meses mais quentes de 28 °C (Cfa) e com verões brandos (Cfb) Koppen-Geiger (2007).

Em visita *in loco* nas áreas 1, 2 e 3, proposta no estudo desse trabalho foi possível observar que a área apresenta vegetação rasteira em alguns pontos e já desenvolvida em outros, porém, de forma geral, a vegetação rasteira domina em parte expressiva dos locais de estudo. Conforme figura 9, os locais possuem acesso via estradas e superfície irregular, intermediando entre topografia plana a ondulada, em algumas partes, com uma inclinação acima de 25°, isso ocorre devido aos montes de rejeitos que ocorre a partir da oxidação e hidrólise de sulfetos (pirita) estarem ainda acumulados nos locais.

Figura 9 – Área 1 de estudo, Vila Rio Deserto em Urussanga.



Fonte: Autora (2018).

Ressaltando que as áreas estão em processo de recuperação conforme PRAD, na figura 10, observa-se que as áreas irregulares são intensificadas devido aos montes de rejeitos, que ocorre a partir da oxidação e hidrólise de sulfetos (pirita).

Figura 10 – Área 2 de estudo (Santana).



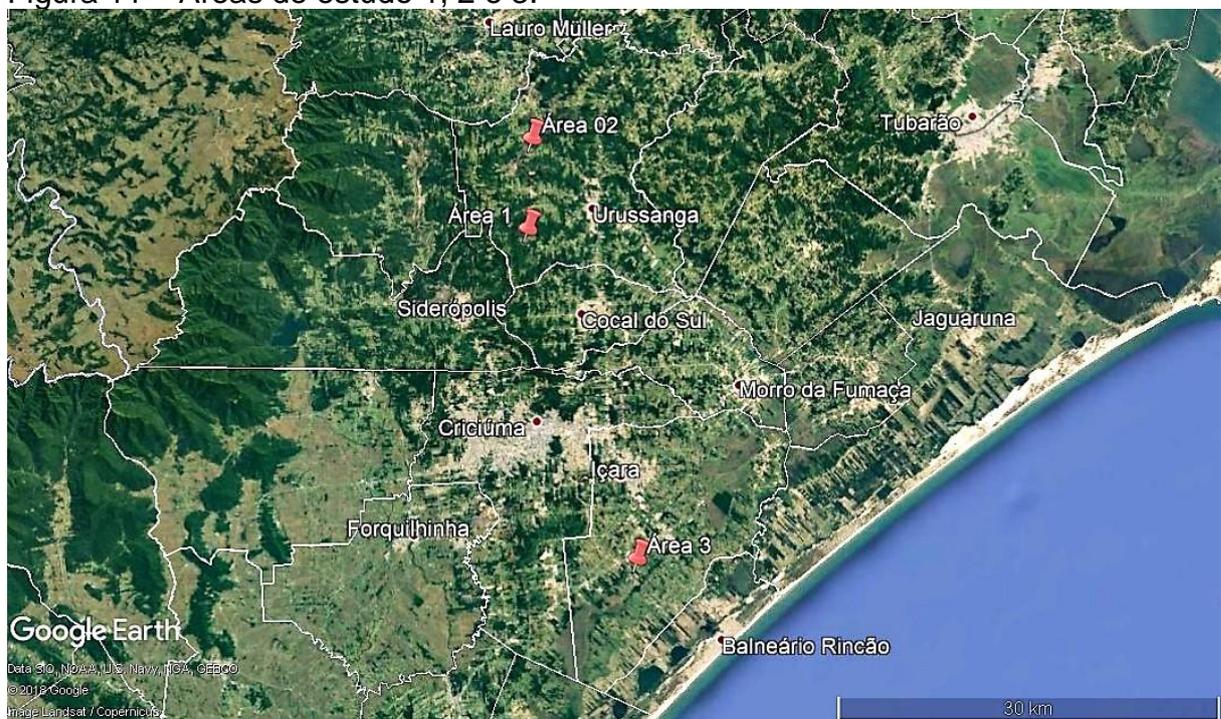
Fonte: Autora (2018).

De acordo com 11º Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais (2017), o monitoramento da cobertura do solo, no âmbito da sentença, visa a identificação e a atualização dos limites para quantificar as transformações que ocorrem nas parcelas superficiais da cobertura do solo, impactadas pela mineração de carvão, sendo necessário o acompanhamento e a representação cartográfica da evolução das áreas e da paisagem. É considerada como transformação qualquer modificação que altere a cobertura do solo após o término das atividades de mineração a céu aberto ou da deposição de rejeitos e nas áreas operacionais, seja ela oriunda de ação antrópica, como os processos de recuperação ambiental ou a ocupação/urbanização das áreas, ou natural, incluindo a vegetação espontânea, os processos erosivos e as áreas inundadas por lagos artificiais.

6.2 ÁREAS DE ESTUDO

O monitoramento das temáticas ambientais da qualidade dos recursos hídricos, da cobertura do solo e do meio biótico integram o Projeto de Recuperação Ambiental da Bacia Carbonífera no Sul Catarinense e tem por objetivo avaliar a eficácia dos trabalhos nas áreas em processo de recuperação e controle ambiental, executados pela União Federal e empresas envolvidas na sentença proferida na Ação Civil Pública. Na figura 11, apresenta-se as três áreas de estudos com suas delimitações de município.

Figura 11 – Áreas de estudo 1, 2 e 3.



Fonte: Google Earth, (2018).

Assim como os objetivos destacados na mesma ACP, ou seja, a contribuição direta no aprimoramento de técnicas para o tratamento de drenagem ácida de mina, o acompanhamento da introdução de pecuária em área que já teve as obras de recuperação ambiental concluída e que está em fase de monitoramento, segundo os critérios técnicos estabelecidos e o estudo da viabilidade de implantação, em áreas de recuperação ambiental com presença de rejeitos, de equipamentos voltados à produção de energia de forma alternativa (MPF, 2012).

6.2.1 Vila Rio Deserto

A área caracterizada como área 1 do estudo, fica localizada na Vila Rio Deserto, no município de Urussanga/SC, conforme Figura 12.

Figura 12 – Localização da área de estudo 1.



Fonte: Google Earth (2018).

De acordo com o PRAD/Rio Deserto (2006), o início das atividades da Mina Rio Deserto ocorreu em 1922, com a produção totalmente voltada para a geração de energia. Em 1972, além de extrair e beneficiar, a empresa passou a industrializar o carvão mineral, diversificando o seu uso e passando a produzir subprodutos de carvão mineral. As atividades de mineração foram encerradas em 1993, ficando o parque industrial instalado em sua superfície, pertencente a ICRDL, e os depósitos de rejeitos gerados ao longo da vida útil desta mina, pertencentes a GAMA, por fim, em 2002 foi realizado o PRAD desta área.

Encerrada as atividades nas áreas utilizadas pelo empreendimento, ainda segundo o PRAD, Rio Deserto (2006), ocorreram modificações no relevo em função da construção de bacias de sedimentação de rejeitos, apresentando alterações fisiográficas em relação ao condicionamento geomorfológico original. Essas

modificações podem ser consideradas “relevo tecnogênico” em função dos depósitos de rejeitos e das bacias de sedimentação.

Apesar de localmente alterada, a geomorfologia regional está inserida na Unidade Geomorfológica Depressão da Zona Carbonífera Catarinense configurada por uma faixa alongada na direção N-S, nos francos domínios do Palermo, o relevo é ondulado, numa espécie de platô com ondulações correspondendo a pequenos morrotes descampados. Para pasto, de encostas suavizadas. No Oeste da área aparece uma nítida quebra de relevo Formação Serra Geral/Palermo Geral, com relevo platô e drenagens escavadas com vegetação de maior porte (Rio Deserto, 2006).

6.2.1.1 Proposta do Sistema de Geração de Energia Fotovoltaico na Área de Estudo 01 (Vila Rio Deserto, Urussanga/SC)

Para realizar a simulação de geração de energia na área 01, foi considerado o total de 45 hectares e a localização em coordenadas geográficas da área a ser instalado o sistema, conforme dispostos informações de entrada para a simulação de geração de energia, do sistema utilizado no trabalho, o SAM. Obtendo uma solução completa com os seguintes itens dispostos na tabela 1:

Tabela 1 – Itens que compõe o sistema proposto na área de estudo 1 e características conforme apresentados na simulação SAM.

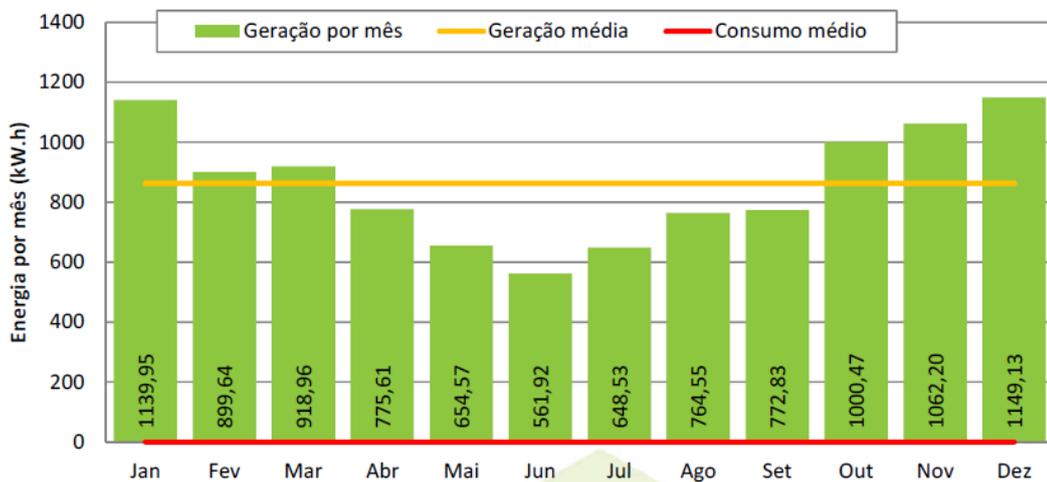
Item	Modelo	Quantidade
Painel Solar	Jinko/340W	5280
Inversor Solar	Fronius/ECO 25.0-3	60
Stringbox	Kit proteção DC e AC	1
Estrutura	Kit Fixação p/módulos	1
App Monitoramento Wi-Fi	-	1
Frete dos Módulos	1	1
Projeto ART, instalação e regularização	-	1

Fonte: SAM, 2018.

O potencial de geração de energia é calculado utilizando uma média dos níveis de radiação solar de cada região. Conforme a simulação, o sistema FV

conectado à rede, obteve uma potência de geração de 1795,20 kWp e valor médio da radiação solar igual a 4,37 kWh/(m².dia). As informações contidas na Tabela 1 foram apresentadas conforme se estabeleceu pelo próprio sistema SAM, os modelos e quantidade de equipamentos são selecionados pelo sistema, onde os critérios instituídos para a escolha de tais equipamentos sejam aqueles que proporcionam melhor desempenho. As perdas sistêmicas em função da temperatura nos painéis, posição e inclinação dos painéis, eficiência dos equipamentos, entre outros, somam ao todo 16,50 %. Com esses valores, é possível calcular o valor de energia gerada por mês. Na Figura 13 a seguir é possível observar a geração mensal da simulação.

Figura 13 – Geração mensal de energia.



Fonte: SAM (2018).

Também é possível verificar informações sobre o cálculo do retorno de investimento, valores máximos e mínimos de economia gerada pelo sistema, *payback* ao longo de 25 anos com taxas mínimas e máximas e o rendimento acumulado no final do período de vida útil do sistema, ou seja, 25 anos que o sistema FV possui de rendimento (Simulação *System Advisor Model* - SAM, 2018).

6.2.2 Santana

A área caracterizada como área 2 do estudo, fica localizada no município de Urussanga/SC, conforme Figura 14.

Figura 14 – Localização da área de estudo 2.



Fonte: Google Earth (2018).

Entre os anos de 1940 a 1970 foi o período inicial das atividades de mineração na Mina Santana, de acordo com o PRAD/Santana (2002), executando o trabalho manualmente com escoamento de carvão bruto do subsolo até a superfície através de cabos de aço, trilhos de madeira e vagonetas. Os poços das minas embocadas através das encostas, onde continha o afloramento de camada de barro branco, ou o acesso ao subsolo através de poços com profundidade de vinte a cinquenta metros. Era escoado para a superfície somente carvão bruto com pouco estéril agregado, sendo que a grande maioria do estéril era deixado manualmente acondicionado em subsolo, na forma de muros para dar sustentação ao teto e cobertura de rocha sobre a camada de carvão removida, para evitar assim as rachaduras e desabamentos. Dessa forma, eram gerados pequenos depósitos na superfície em conta dessa atividade, sendo que não havia usina de beneficiamento.

Entre 1970 a 1978, a lavra era exercida manualmente com o uso de cabos de aço, trilhas e vagonetas, porém, através do método de câmaras e pilares onde a lavra era exercida nas galerias e os pilares davam sustentação ao teto. Instalaram-se os primeiros dois pré lavadores, ou seja, as usinas de beneficiamento, passando assim, o carvão bruto ser desmontado em duas frações, uma sendo a parte do minério constituída pelos leitos de carvão mineral que eram transportadas

até a pilha de bruto para beneficiamento e uma outra fração estéril era transportada para o depósito de rejeito (PRAD Santana, 2002, pg. 07).

Em 1978, foram implantadas as primeiras bacias de decantação, com a finalidade de reter e recuperar os finos de carvão mineral, seu uso para a fabricação do coque e clarificar a água e operar sem desagüe direto no rio (PRAD/Santana, 2002, pg. 07).

Já 1980 foi aberta uma segunda mina, com o método de câmaras e pilares mecanizados com escoamento de carvão bruto do solo até a superfície, através de pás carregadeiras e transportadores de correia e assim foi implantado a uma usina de beneficiamento (PRAD Santana, 2002, pg. 07).

No ano de 1986, conforme o PRAD Santana (2002), foram desativadas duas outras minas do mesmo grupo da organização, onde manteve-se algumas atividades como a do lavador, bacia de decantação de finos de carvão mineral, circuito de finos, represas de água e depósitos de rejeitos que constituíam a planta de rejeitos daquele setor.

Então, em 1992, ainda de acordo com o PRAD Santana (2002) verificou que com a falta de demanda foi temporariamente suspensa a atividade extrativa da segunda mina que operava na extração de reservas de carvão e por fim esse setor passou a operar somente a usina de beneficiamento de antigos depósitos de rejeitos para o reaproveitamento de carvão mineral contido no local, o que ocorre ainda nos dias atuais (PRAD Santana, 2002, pg. 07).

6.2.2.1 Proposta do Sistema de Geração de Energia Fotovoltaico na Área de Estudo 02 (Mina Santana, Urussanga/SC)

Para realizar a simulação de geração de energia na área 2, foi considerado o total de 74 hectares e a localização em coordenadas geográficas da área a ser instalado o sistema, conforme dispostas informações de entrada para a simulação de geração de energia, do sistema utilizado no trabalho, o SAM. Obtendo uma solução completa com os seguintes itens dispostos na tabela 2:

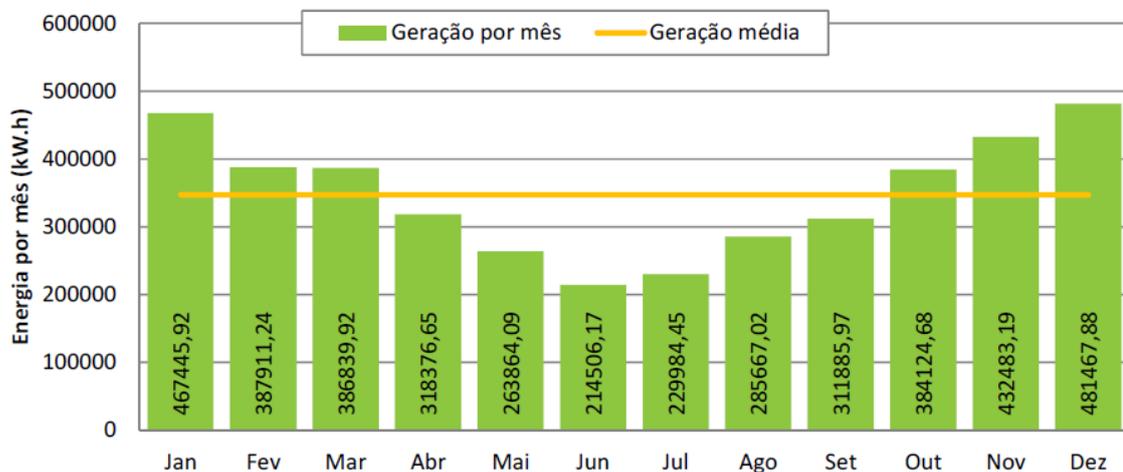
Tabela 2 – Itens que compõe o sistema proposto na área de estudo 2 e características conforme apresentados na simulação SAM.

Item	Modelo	Quantidade
Painel Solar	Jinko/340W	9196
Inversor Solar	ABB/PVS 120	22
Stringbox	Kit proteção DC e AC	1
Estrutura	Kit Fixação p/módulos	1
App Monitoramento Wi-Fi	-	1
Frete dos Módulos	1	1
Projeto ART, instalação e regularização	-	1

Fonte: SAM, 2018.

Conforme a simulação, o sistema FV conectado à rede desta área, obteve uma potência de geração de 3126,64 kWp, empregando o valor médio da radiação solar, as perdas sistêmicas em função da temperatura nos painéis, posição e inclinação dos painéis, eficiência dos equipamentos, é possível observar a geração mensal da simulação.

Figura 15 – Geração mensal de energia.



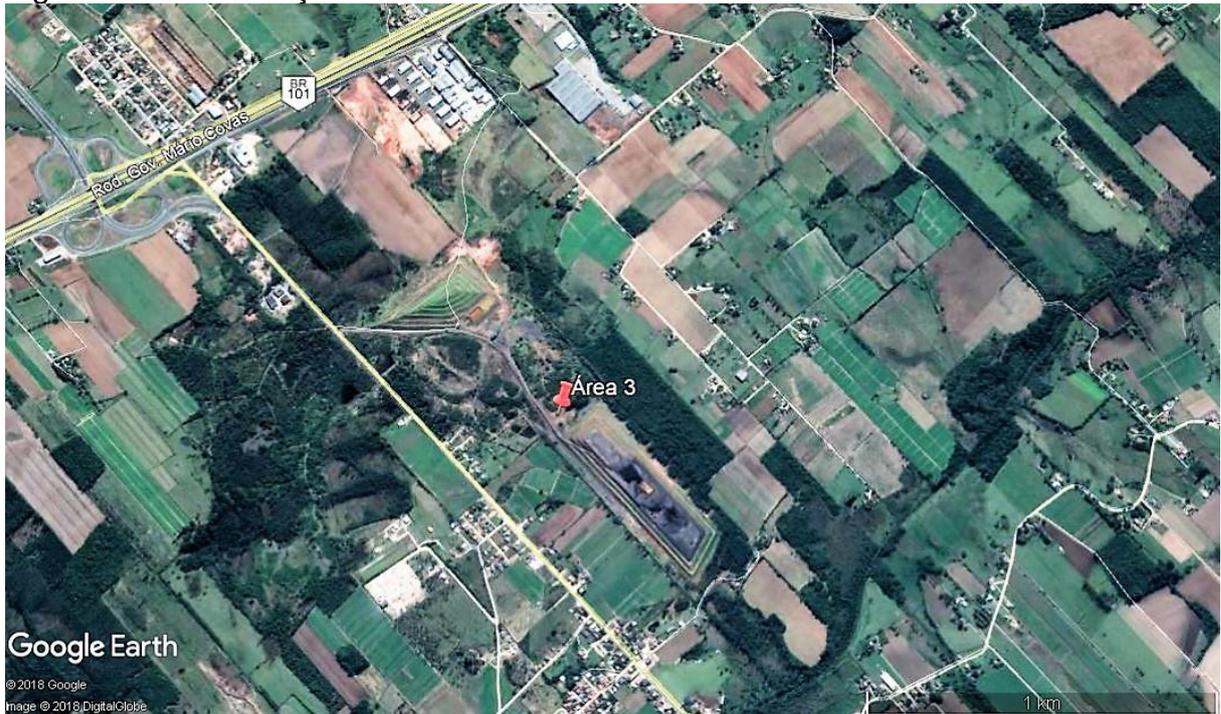
Fonte: SAM (2018).

Ainda é possível aferir informações sobre o cálculo do retorno de investimento, valores máximos e mínimos de economia gerada pelo sistema, *payback* ao longo de 25 anos com taxas mínimas e máximas e o rendimento acumulado no final do período de vida útil do sistema, ou seja, 25 anos que o sistema FV possui de rendimento (Simulação *System Advisor Model* - SAM, 2018).

6.2.3 Poço Oito

A área caracterizada como área 3 do estudo, fica localizada no município de Içara/SC, conforme Figura 16.

Figura 16 – Localização da área de estudo 3.



Fonte: Google Earth (2018).

Os passivos ambientais das antigas minas Poço 8 e Poço 10, conforme o 11º Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais (2017), são representados por surgências de água subterrânea ácida, cuja área de influência abrange a sub-bacia do rio dos Porcos, localizada no município de Içara, às margens da rodovia SC-444. Nessas minas antigas a lavra subterrânea foi realizada para o aproveitamento das reservas das camadas de carvão Barro Branco e Bonito Inferior, compreendendo uma área total de 405,61 ha. Deste total, 196,37 ha correspondem ao polígono subterrâneo da Mina Poço 8 e 209,24 ha ao polígono da Mina Poço 10.

As atividades de lavra foram iniciadas na década de 60 na Mina Poço 8 e meados de 1976 na Mina Poço 10, ambas as minas paralisadas por volta de 1988. As áreas impactadas pelas minas Poço 08 e Poço 10 permaneceram sem ações de exploração e/ou recuperação ambiental até meados de 1999 quando a empresa São

Domingos Indústria e Comércio de Coque Ltda. retomou as atividades na área envolvendo o rebeneficiamento dos rejeitos carbonosos e, também, os trazidos de outros lugares, até a metade de 2006. A lavra foi realizada com o recuo de pilares, com elevado índice de recuperação das reservas (11º Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais, 2017, pg. 191).

Ainda conforme o 11º Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais (2017), em janeiro de 2013 foi iniciada a implantação do projeto de reabilitação ambiental das minas Poço 8 e Poço 10 com atividades, como a construção da célula de rejeitos, a raspagem de rejeitos e a remodelagem topográfica na área impactada sob responsabilidade da CSN, aliado às atividades de construção do solo, implantação da vegetação e tamponamento das surgências de DAM conhecidas.

6.2.3.1 Proposta do Sistema de Geração de Energia Fotovoltaico na Área de Estudo 03 (Poço 8, Içara/SC)

E para a simulação de geração de energia na área 03, foi considerado o total de 4 hectares e a localização em coordenadas geográficas da área a ser instalado o sistema, conforme dispostas informações de entrada para a simulação de geração de energia, do sistema utilizado no trabalho, o SAM. Obtendo uma solução completa com os seguintes itens dispostos na tabela 03:

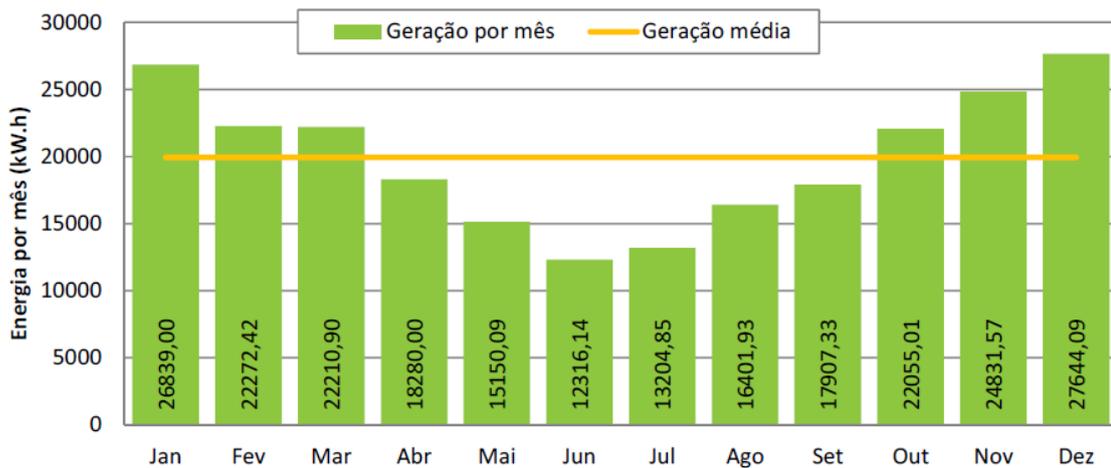
Tabela 3 – Itens que compõe o sistema proposto na área de estudo 3 e características conforme apresentados na simulação SAM.

Item	Modelo	Quantidade
Painel Solar	Jinko/340W	528
Inversor Solar	Fronius/ECO 25.0-3	6
Stringbox	Kit proteção DC e AC	1
Estrutura	Kit Fixação p/módulos	1
App Monitoramento Wi-Fi	-	1
Frete dos Módulos	1	1
Projeto ART, instalação e regularização	-	1

Fonte: SAM, 2018.

De acordo com a simulação, o sistema FV conectado à rede desta área, obteve uma potência de geração de 179,52 kWp, empregando o valor médio da radiação solar, as perdas sistêmicas em função da temperatura nos painéis, posição e inclinação dos painéis, eficiência dos equipamentos, é assim possível observar a geração mensal da simulação.

Figura 17 – Geração mensal de energia.



Fonte: SAM (2018).

Além disso, é possível aferir informações sobre o cálculo do retorno de investimento, valores máximos e mínimos de economia gerada pelo sistema, *payback* ao longo de 25 anos com taxas mínimas e máximas e o rendimento acumulado no final do período de vida útil do sistema, ou seja, 25 anos que o sistema FV possui de rendimento (Simulação *System Advisor Model* - SAM, 2018).

6.3 DADOS GERAIS

A partir dos dados obtidos, verificou-se os principais itens qualitativos e econômico financeiro para uma análise simplificada de cada uma das simulações. A Tabela 4 descreve os resultados obtidos de cada local de proposta do sistema, o tamanho da área em hectares, a geração de energia através dos resultados de simulação de cada área de estudo, os valores em reais (R\$) do custo de recuperação a ser executado em cada área de estudo, esses valores foram obtidos conforme no Relatório GTA, o valor em reais (R\$) em investimento de cada sistema

FV a ser instalado e o valor em reais (R\$) do retorno do investimento num período de 25 anos conforme vida útil do projeto.

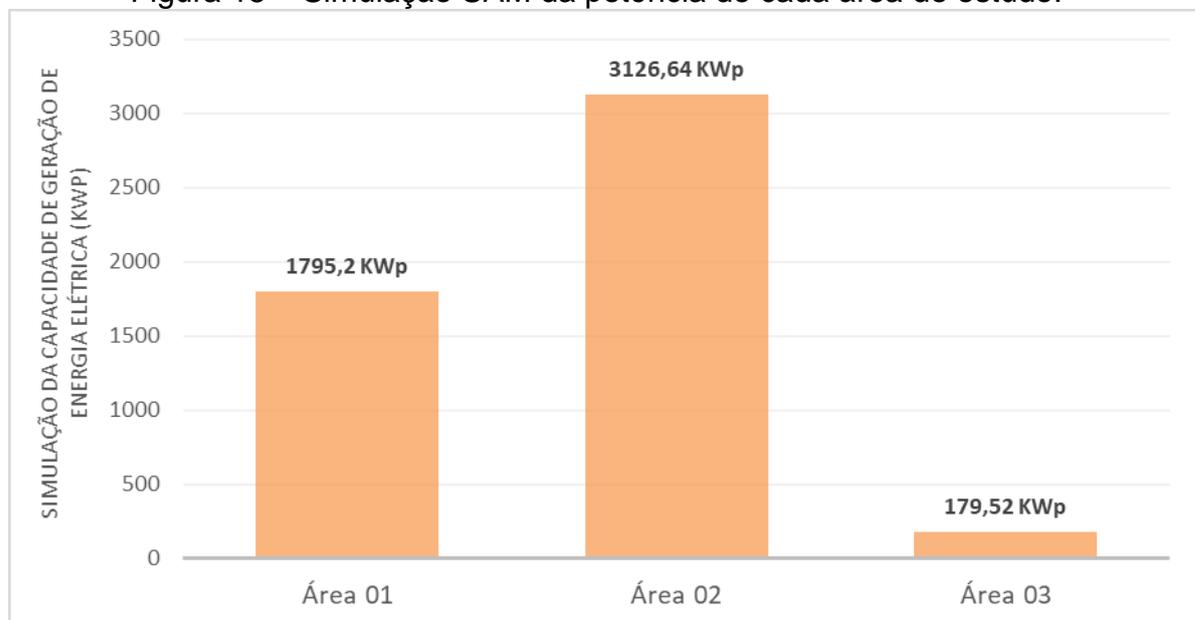
Tabela 4 – Classificação dos dados obtidos.

Local	Área (ha)	KWp	R\$ Custo Recuperação	R\$ Investimento	R\$ Retorno Total
A 01	45	1795,2	1.503.000,00	7.690.680,00	319.897,09
A 02	74	3126,64	29.000.000,00	13.394.600,00	78.690.032,49
A 03	4	179,52	1.900.000,00	769.070,00	4.518.084,92
Total	123	5101,36	32.403.000,00	21854350,00	83.528.014,50

Fonte: SAM, 2018.

Conforme a potência gerada de energia em quilowatts x pico de acordo com o tamanho de cada área e com base no número de módulos FV, observa-se a capacidade de geração de energia para cada área realizada através da simulação SAM.

Figura 18 – Simulação SAM da potência de cada área de estudo.

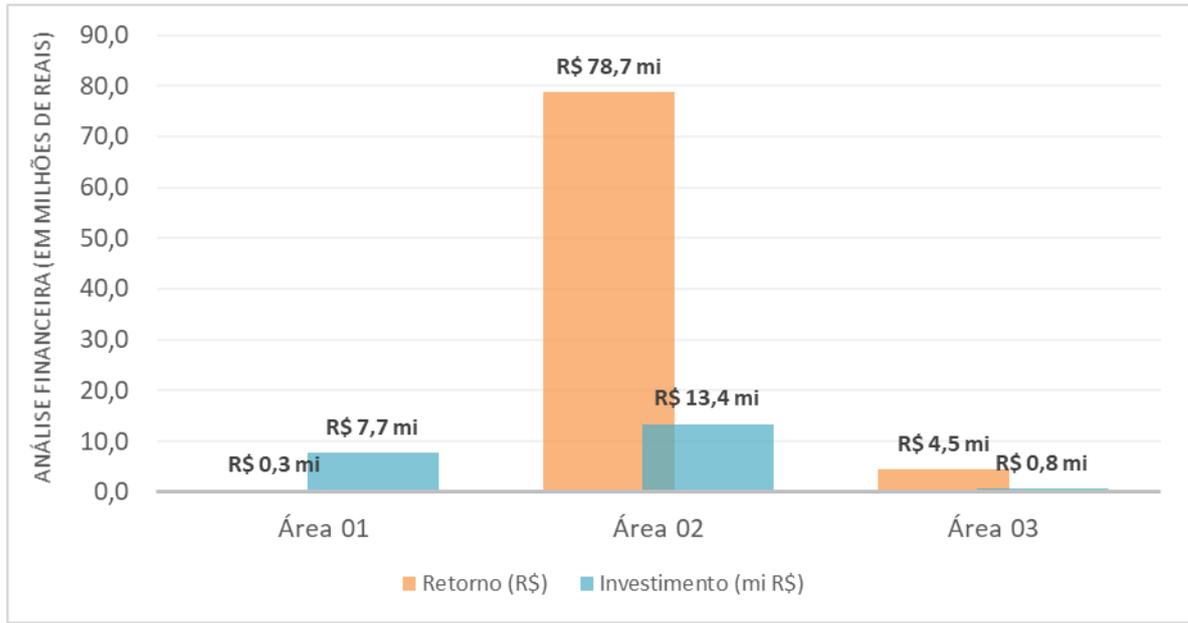


Fonte: Autora, (2018).

A partir da capacidade de geração de energia de cada sistema proposto, é possível estimar o custo total para a implantação do sistema FV, sendo possível estimar as informações sobre o cálculo do retorno de investimento, os valores de

economia gerada pelo sistema, ou seja, o *payback* de aproximadamente 6 a 7 anos. De acordo com a Figura 19, observa-se os valores obtidos.

Figura 19 – Simulação do custo e retorno do investimento de cada área de estudo.



Fonte: Autora, (2018).

O custo de investimento na proposta da área 1 é maior ao custo de retorno, na proposta da área 2 o custo de retorno é quatro vezes maior que a de investimento e na proposta 3 o custo de retorno também é maior ao de investimento. Foi utilizado outro *software* de simulação de energia para a proposta da área 1, o valor se deu ao mesmo, o que pode ser explicado através de visita *in loco*, é que a área fica próxima de morros, podendo ser considerado que a geração de energia pode ser reduzida pelo fato do sombreamento do local.

Considerando que a mesma organização seja responsável pela implantação dos 3 sistemas, ainda assim, o custo de retorno das áreas 2 e 3 compensam a área 1.

6.4 RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

De acordo com os conceitos estabelecidos pelos Critérios para recuperação ou reabilitação de áreas degradadas pela mineração de carvão, da Ação Civil Pública nº 93.8000533-4 (2015), cada área a recuperar/reabilitar deve ser

objeto de um PRAD específico, obedecendo ao PRAD (padrão) judicialmente homologado.

A execução do PRAD fica sujeita a prévio licenciamento ambiental, nos termos do art. 10 da Lei 6.938/81, Resolução CONAMA 237/97 e Resolução CONSEMA 13/2008. O licenciamento ambiental do PRAD é atribuição da Fundação do Meio Ambiente (FATMA), que, se aprová-lo, emitirá uma Licença Ambiental de Instalação (LAI), que autoriza a execução das obras de recuperação ou reabilitação (MPF, 2015, pg. 05).

Após a conclusão das obras, a FATMA emitirá uma Licença Ambiental de Operação (LAO), que autoriza o início da fase de monitoramento. Somente após comprovada a eficácia da recuperação, mediante monitoramento por tempo suficiente, é que a FATMA emitirá um laudo atestando a recuperação da área (MPF, 2015, pg. 05).

Ainda conforme critérios para recuperação ou reabilitação de áreas degradadas pela mineração de carvão, da Ação Civil Pública nº 93.8000533-4 (2015), quando a execução do PRAD implicar em rebeneficiamento de rejeitos de carvão, é necessária também autorização do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), já que se trata de atividade de lavra, conforme definido no Código de Mineração (Decreto-Lei nº 227/1967).

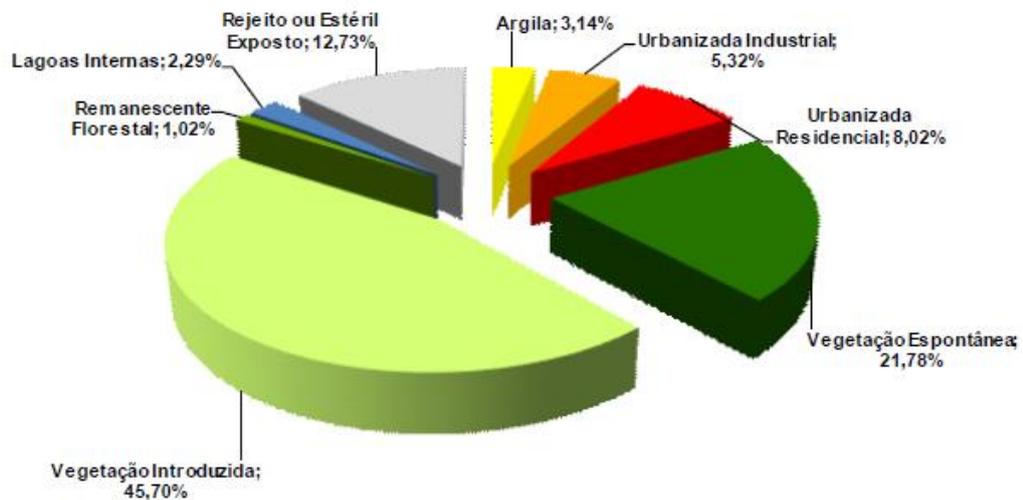
6.5 COBERTURA DO SOLO

Através da atividade e/ou processo exercidos em determinado local, é possível realizar a classificação de resíduos no solo e as características, a partir do resultado e aferir se as substâncias causam impacto à saúde e ao meio ambiente. Conforme a norma ABNT NBR 10004:2004, a classificação dos resíduos sólidos acontece em dois grupos, Classe I e II, sendo esses de resíduos perigosos e resíduos não perigosos respectivamente (NBR 10004:2004).

De acordo com o 11º Relatório de monitoramento dos Indicadores Ambientais (2018), os dados obtidos na 5ª campanha de monitoramento da cobertura do solo, corresponde à situação ambiental das áreas entre março e maio de 2017, compreendendo todos os distritos da Bacia Carbonífera de Santa Catarina. O objetivo da campanha é de mostrar as quantificações das unidades de mapeamento da cobertura do solo e a dinâmica das alterações ao longo do tempo,

portanto, foram utilizados nos levantamentos quantitativos e os dados espaciais (imagens orbitais de alta resolução do satélite WorldView-2) obtidos na campanha anterior para traçar paralelos temporais, cuja atualização da cobertura do solo foi realizada através dos trabalhos da validação de campo. Através da Figura 20 a seguir, pode ser observada a porcentagem total do levantamento do solo, esses exibem o panorama geral do mapeamento da cobertura do solo nas áreas impactadas pela mineração de carvão de toda a Bacia.

Figura 20 – Gráfico com percentual de ocupação das classes da cobertura do solo.



Fonte: 11º Relatório de monitoramento dos Indicadores Ambientais, (2018).

Conforme Sánchez *et al* (1994), apontaram os impactos ambientais mais importantes relacionados à mineração de carvão em Santa Catarina: drenagem ácida de mina, depósitos de rejeito e bacias de decantação, com a conseqüente contaminação das águas superficiais e subterrâneas; degradação do solo devido às escavações, remoção da camada de solo orgânico, estéril e disposição desordenada de rejeitos; problemas de subsidência em área urbanas e rurais; iv) poluição do ar; v) perda de área cultivável pela disposição de resíduos; e vi) impacto visual.

Ainda conforme o 11º Relatório de monitoramento dos Indicadores Ambientais (2018), são mostradas as quantificações referentes à evolução da cobertura do solo para cada distrito, ou seja, para cada área de estudo equivale a um distrito do relatório.

6.6 SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA

Anteriormente, até o ano de 2012 o conceito de geração distribuída referia-se a energia elétrica gerada e conectada na mesma distribuidora, com a compra de geração distribuída descrevendo, assim, uma contratação realizada entre distribuidora e usina sem presença de leilão. Recentemente, a ideia de geração distribuída trata de uma configuração geográfica e logística da produção de energia elétrica caracterizada por alta difusão e reduzida densidade, geralmente em local mais próximo ao consumo, através de unidades geradores de baixo e médio porte, incluindo: cogeneradores, geradores de emergência, geradores para horários de ponta, módulos fotovoltaicos (DALLA VECCHIA, 2016, pg. 04).

A definição de Geração Distribuída (GD), diz respeito à Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, que delimita o conceito a fontes renováveis de elevada eficiência energética e permite o armazenamento virtual dos excedentes da geração de energia elétrica em forma de créditos de energia, assim estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica.

No qual no Art. 2º fica adotadas as seguintes definições: microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. E a minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW para fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (Resolução Normativa ANEEL, 2012, pg. 01).

De acordo com Dalla Vecchia-Neide (2016), a resolução da GD teve início com o propósito de possibilitar as UCs gerarem sua própria energia elétrica, em especial através de módulos fotovoltaicos. A eletricidade gerada em corrente contínua passa por um inversor e então é conectada tanto à UC quanto à rede de distribuição, exigindo um medidor bidirecional ou dois medidores unidirecionais. Com essa estrutura, a energia gerada é consumida imediatamente pela unidade consumidora, ou é injetada na rede de distribuição, enquadrando-se no que a

resolução da GD define como “empréstimo gratuito” em troca de créditos de energia que podem ser compensados pela rede noutro momento. Essa transação virtual é necessária à viabilidade de geradores como um módulo fotovoltaico, que dependem de fonte renovável intermitente.

O sistema de Compensação de Energia Elétrica criado pela ANEEL em abril de 2012, regulamenta e define Micro e Minigeração Distribuída como a produção de energia elétrica com pequenas centrais geradoras de fontes renováveis ou cogeração qualificada que estejam conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de UCs que estejam na mesma distribuidora. Esse sistema de compensação, se dá primeiramente em relação a energia ativa para ser compensada no mesmo posto tarifário, tendo excedentes estes créditos poderão ser usados em outro posto horário na mesma UC e no mesmo ciclo de faturamento. Restando créditos o mesmo procedimento de compensação se dará para outra UC que já tenha sido cadastrada previamente, obedecendo a ordem escolhida. Estes créditos de energia podem ser compensados em até 60 meses (DALLA VECCHIA, 2016, pg. 04).

A partir das simulações geradas para cada área de estudo é possível verificar na Tabela 5 a seguir, a quantia de energia gerada do somatório de todas as áreas de estudo. Possibilitando assim ter uma quantia significativa de energia a ser conectada à rede local.

Tabela 5 – Geração de energia em kWp.

Local	Área (ha)	KWp
A 01	45	1795,2
A 02	74	3126,64
A 03	4	179,52
Total	123	5101,36

Fonte: SAM, 2018.

6.7 ANÁLISE DE SOMBREAMENTO

Para uma melhor desenvoltura de um arranjo fotovoltaico, deve ser levado em conta alguns quesitos, como a questão da topografia do local e a interferência de sombreamento. Uma das grandes preocupações nos sistemas FV é a relativa aos

efeitos de sombreamento, de acordo com Serrão-Marcos (2010), esses impedem a incidência solar em determinadas células. Caso uma pequena parte de um painel esteja sombreada, por exemplo, devido ao acúmulo de sujeira, isso pode ser suficiente para praticamente zerar a produção de energia não somente na área sombreada, mas em todo o ramo correspondente.

Por isso é de tamanha importância o levantamento desses dados de sombreamento, irradiação solar, topografia do terreno, entre outros para o sucesso do projeto de instalação de um sistema FV.

6.8 IRRADIAÇÃO SOLAR

Um dos quesitos mais importantes para a geração do sistema de energia fotovoltaico, os níveis radiação solar, os mesmos em um plano horizontal na superfície da Terra variam com as estações do ano, de acordo com Fadigas-Eliane (2012), devido principalmente à inclinação do seu eixo de rotação em relação ao plano da órbita em torno do Sol. A irradiação/radiação variam também de acordo com a região, devido principalmente às diferenças de latitude, condições meteorológicas e altitudes. A realização de projetos de sistemas solares exige o conhecimento da energia coletada pelo plano de abertura dos equipamentos, em nosso caso, os painéis fotovoltaicos.

Ao pesquisar uma área para uma possível instalação de sistema FV deve ser levado em conta os principais elementos que podem garantir uma boa geração de energia, a partir dos dados fornecidos pelas estações solarimétricas, existem métodos que permitem gerar dados numa escala de tempo qualquer, seja diária, horária. A utilização de uma escala temporal reduzida permite avaliar o desempenho do equipamento solar em condições mais próximas da realidade, pois leva em conta as variações no comportamento dos componentes estudados com a variação da radiação incidente em períodos de tempo. A forma mais comum de apresentação dos dados de radiação é através de valores médios mensais para a energia cumulada ao longo do dia (FADIGAS, 2012, pg. 27).

6.9 SISTEMA FOTOVOLTAICO LIGADO À REDE

As empresas de distribuição, o setor comercial e centros de pesquisa concentram esforços para desenvolver sistemas FV ligados à rede elétrica. Estes sistemas não são ainda competitivos com outros tipos de produção de eletricidade. No entanto, a previsão de cenários futuros dando prioridade à componente ecológica abre boas perspectivas para a utilização de energias limpas. Em alguns países da Europa o resultado da cultura ambientalista começa a surtir efeito em conjunto com consumidores, engenheiros e arquitetos para utilizar, desenvolver e integrar painéis fotovoltaicos na substituição de telhados convencionais (FINOCHIO, 2013, pg. 05).

7 COMPONENTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

De modo geral, um sistema de geração de energia FV é composto pelos itens destacados na Figura 21.

Figura 21 – Principais componentes de um sistema fotovoltaico.



Fonte: EGNEX, (2018).

7.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Painéis (ou módulos) fotovoltaicos contêm uma associação de células semicondutoras que captam a radiação solar (EGNEX, 2017).

Para alcançar as potências comerciais, os fabricantes de módulos fotovoltaicos conectam células fotovoltaicas entre si, geralmente em série, em um processo de conexão que é feito soldando os terminais da parte frontal de uma célula à parte traseira da seguinte, e assim por diante. Um painel fotovoltaico é um conjunto de módulos fotovoltaicos eletricamente ligados entre si, que fornecem determinado potencial, e geralmente estarão ligados a um dispositivo de condicionamento de potência e/ou controle (SOUZA, 2010, pg. 40).

O nível de tensão não depende diretamente dos níveis de radiação solar. As células fotovoltaicas são fabricadas para operar a determinados níveis de tensão sendo possível controlar estes níveis de tensão a partir da associação de módulos em série (SOUZA, 2010, pg. 43).

Figura 22 – Módulo fotovoltaico.



Fonte: EGNEX, (2018).

7.2 CÉLULAS FV

O material semicondutor das células feito de silício, transforma a energia dos fótons (luz) em corrente elétrica pelo efeito fotovoltaico. A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade através do efeito fotovoltaico. Existem na natureza materiais classificados como semicondutores, que se caracterizam por possuírem uma banda de valência totalmente preenchida por elétrons e uma banda de condução totalmente vazia à temperaturas muito baixas (EGNEX, 2017, pg. 03).

A corrente produzida pelo efeito fotovoltaico é contínua e geralmente a potência dos módulos é dada pela potência de pico. A magnitude de corrente produzida por um módulo FV varia diretamente com o nível de radiação solar do local (CRESESB, 1999, pg. 17).

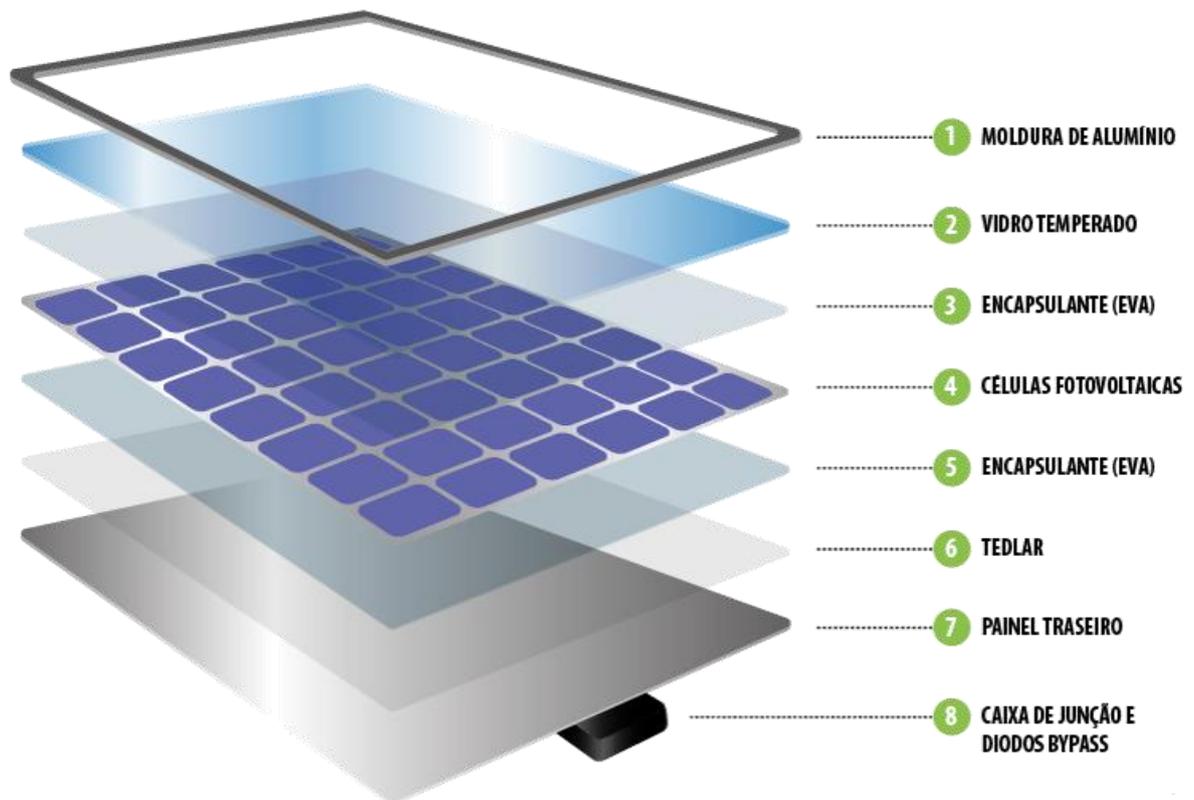
Os semicondutores mais apropriados à conversão da luz solar são os mais sensíveis, ou melhor, aqueles que geram o maior produto corrente-tensão para a luz visível, já que a maior parcela de energia fornecida pelos raios do sol está dentro da faixa visível do espectro (FADIGAS, 2012, p.44).

Uma célula fotovoltaica não armazena energia elétrica, apenas mantém um fluxo de elétrons estabelecidos num circuito elétrico enquanto houver incidência de luz sobre ela (NASCIMENTO, 2014, pg. 13).

As células fotovoltaicas são fabricadas na sua grande maioria, utilizando o silício e pode ser constituída de cristais monocristalinos, policristalinos ou de silício amorfo. Os estudos têm se dirigido a diferentes materiais semicondutores e técnicas de deposição destes em camadas finas com espessura de poucos microns. Entre os materiais mais estudados estão o silício amorfo hidrogenado, o disseleneto de cobre e índio e o telureto de cádmio (PINHO *et al*, 2014, pg.72).

Pode ser observado na Figura 23, a estrutura de uma placa FV e os materiais que a compõe, sendo esses: alumínio, vidro temperado, células FV semicondutoras e EVA (Etil Vinil Acetato).

Figura 23 – Estrutura do módulo fotovoltaico.

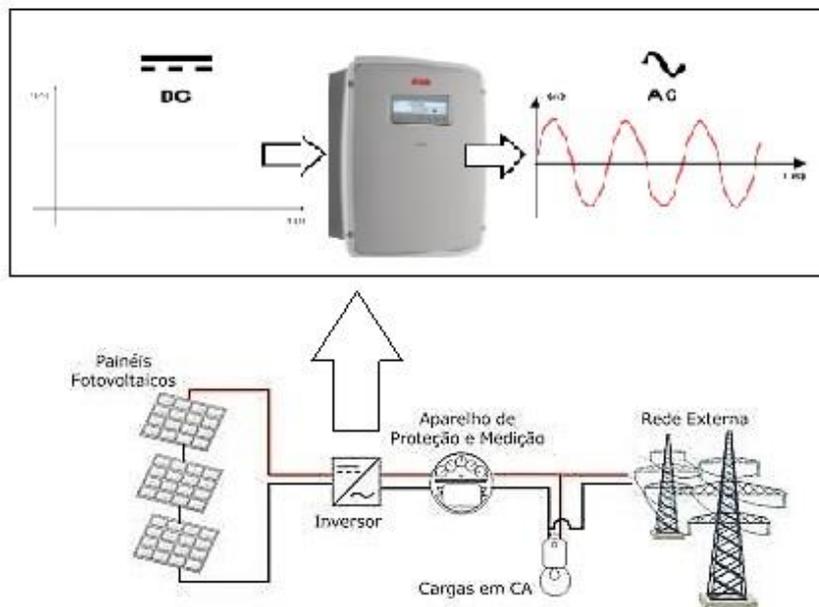


Fonte: EGNEX, (2018).

7.3 INVERSOR

A função desse aparelho é converter a corrente contínua (CC), gerada pelo arranjo fotovoltaico, em corrente alternada (CA), de acordo com funcionamento da rede de distribuição. Além de ajustar-se ao ponto de máxima potência (MPP) do arranjo fotovoltaico, conseguindo o seu maior rendimento, o aparelho possibilita também o registro operacional do sistema, guardando/transmitido os dados durante o seu funcionamento, através de displays, cartões de memória, permitindo uma transmissão direta a computador, e possuir dispositivos de proteção em CC e CA, como por exemplo: proteção contra curtos-circuitos (CC/CA), proteção contra inversão de polaridade, proteção contra sobrecargas e sobre tensões, proteção para a conexão com a rede (SOUZA, 2010, pg 65). A figura abaixo representa equipamento eletrônico utilizado para converter a energia elétrica em (CC) para energia elétrica de corrente alternada (CA).

Figura 24 – Esquema da interligação dos módulos FV ligado a rede.



Fonte: EGNEX, (2018).

Em vista que as células fotovoltaicas geram energia elétrica em (CC), o inversor é essencial à interligação dos módulos fotovoltaicos à rede básica no Brasil em 60 Hz (SALVARO *et al*, 2017, pg. 03).

7.4 ESTRUTURA METÁLICA

Nas instalações em plano horizontal (solo) deve-se verificar a altura mínima e também as cargas de vento que adicionam um esforço mecânico aos suportes e ancoragens. Deve ser observada a correta orientação e inclinação do painel, que permite captar o máximo de energia ao meio dia solar e horas próximas, que é o momento de maior concentração da radiação solar. A inclinação adequada permite a melhor captação durante o ano, compensando a menor irradiância nos períodos de inverno, além de evitar o acúmulo de sujeira e para que a água da chuva possa limpar as placas. (SOUZA, 2010, pg. 55).

A estrutura de sustentação dos módulos, de acordo com Fadigas-Elaine (2012), utiliza materiais comuns tais como madeira, aço galvanizado ou alumínio. Além do suporte, a estrutura deve permitir o agrupamento e interligação dos módulos de forma simples. Podem ainda estar presentes no arranjo, dispositivos de orientação do painel segundo o movimento do Sol. O rastreamento do Sol pode ser parcial, ou seja, movimento em torno de um eixo (Leste – Oeste) durante o dia, e rastreamento total com acompanhamento também do movimento do Sol de Norte a Sul durante as estações do ano. O uso de rastreador pode aumentar em torno de 40 % a energia produzida durante o ano. Entretanto introduz no sistema um componente móvel sujeito à manutenção além de encarecer o custo do sistema.

7.4.1 *String Box*

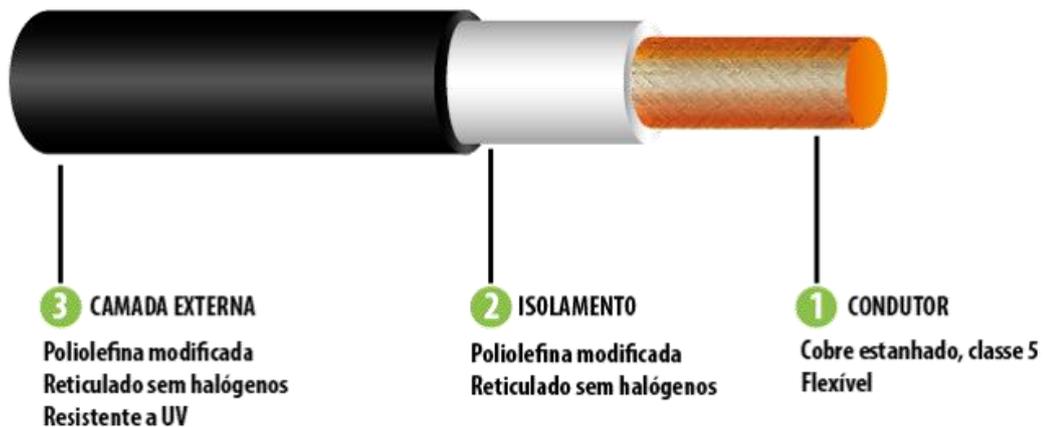
É um quadro que contém equipamentos de proteção do sistema fotovoltaico e da rede elétrica. Um equipamento de proteção que isola o sistema de produção de energia fotovoltaica para impedir o risco de propagação de acidentes elétricos, como os curtos-circuitos e os surtos elétricos (EGNEX, 2018, pg. 05).

7.5 CABOS E CONECTORES

De acordo com o Manual de Apresentação da EGNEX (2018), os cabos utilizados nos sistemas FV possuem dupla capa, desenvolvido especialmente para instalações fotovoltaicas, são resistentes às variações de temperatura, possuem

proteção UV, não ressecam ou perdem coloração, são materiais de cobre estanhados, por isso os cabos e conexões não sofrem oxidação e o contato elétrico permanece preservado e são altamente resistente às intempéries climáticas, preservando a conexão elétrica, devem possuir extra flexibilidade, na Figura 25, pode ser verificado o cabo exposto em camadas.

Figura 25 – Cabos utilizados nos sistemas FV.



Fonte: EGNEX, (2018).

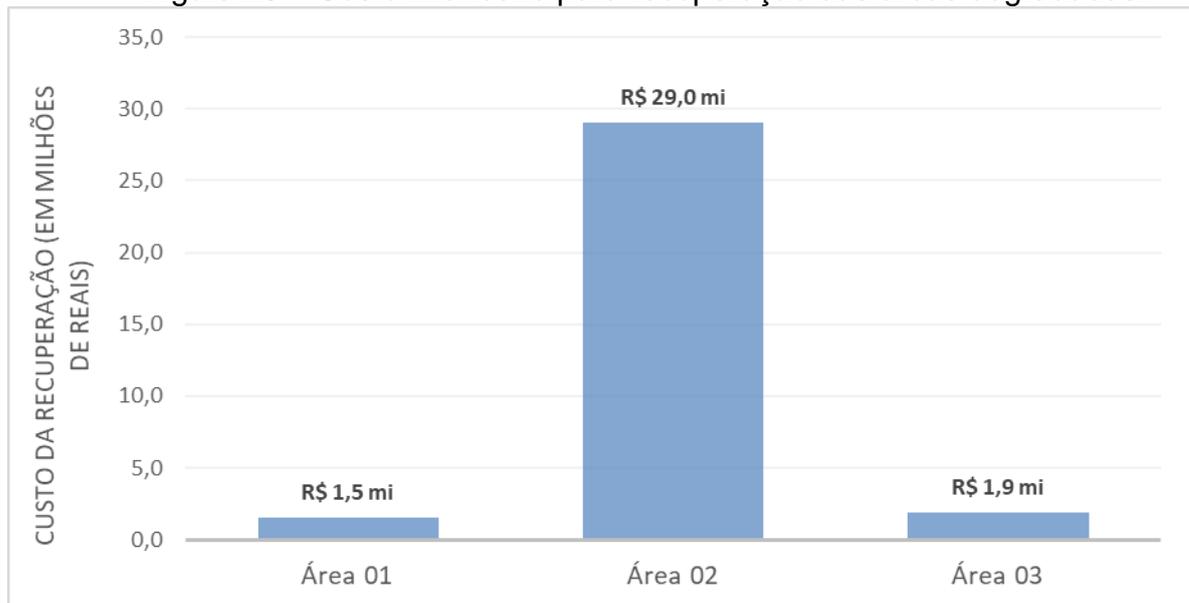
7.6 SISTEMA DE MONITORAMENTO

O sistema de monitoramento ou então o medidor bidirecional, possibilita o acompanhamento online da geração do sistema fotovoltaico, ou seja, o histórico da geração. O aplicativo permite o cliente monitorar remotamente sua geração solar. O acesso ao sistema é feito através de um cadastro ao monitoramento no site do fabricante (EGNEX, 2018, pg. 08).

8 COMPARATIVO ENTRE AS ÁREAS

Diante das simulações obtidas pelo *software* SAM, foram desenvolvidos dados para cada área degradada de estudo. A Figura 26 apresenta o custo financeiro de cada área. De maneira geral, a organização responsável pelos locais deve viabilizar o PRAD para cada uma dessas áreas estabelecidas.

Figura 26 – Custo financeiro para recuperação das áreas degradadas.



Fonte: Autora, (2018).

Com a simulação de geração de energia, pode ser observado nas figuras 18 e 19 desse trabalho o equivalente de quilowatts de potência gerado para cada uma das áreas de estudo e também o comparativo entre as três propostas de sistema FV de custo de investimento e de retorno, abaixo na Figura 27, é possível analisar um comparativo das simulações.

Figura 27 – Custo financeiro para recuperação das áreas degradadas.

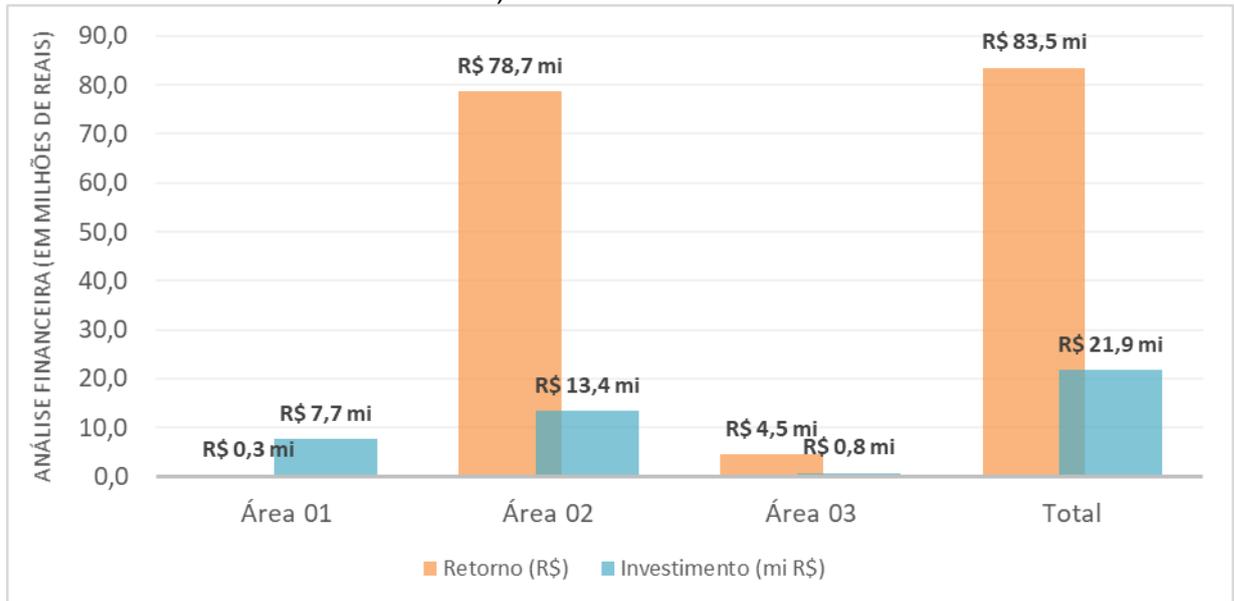


Fonte: Autora, (2018).

É possível verificar que o projeto possui um custo elevado de investimento, entretanto um retorno financeiro considerável. Os sistemas FV que apresentam maiores lucros em questão de retorno econômico, são as A 2 e A 3, os sistemas dessas áreas possuem uma potência de energia que pode ser equivalente para geração de créditos quando conectados à rede.

Constata-se que apesar do sistema da A 1 não apresentar uma taxa de retorno significativa, os outros sistemas das A 2 e A 3 possuem uma taxa de retorno equivalente a A 1. Na Figura 28 a seguir é possível observar as taxas de investimento e de retorno de cada área assim como do somatório de todas elas.

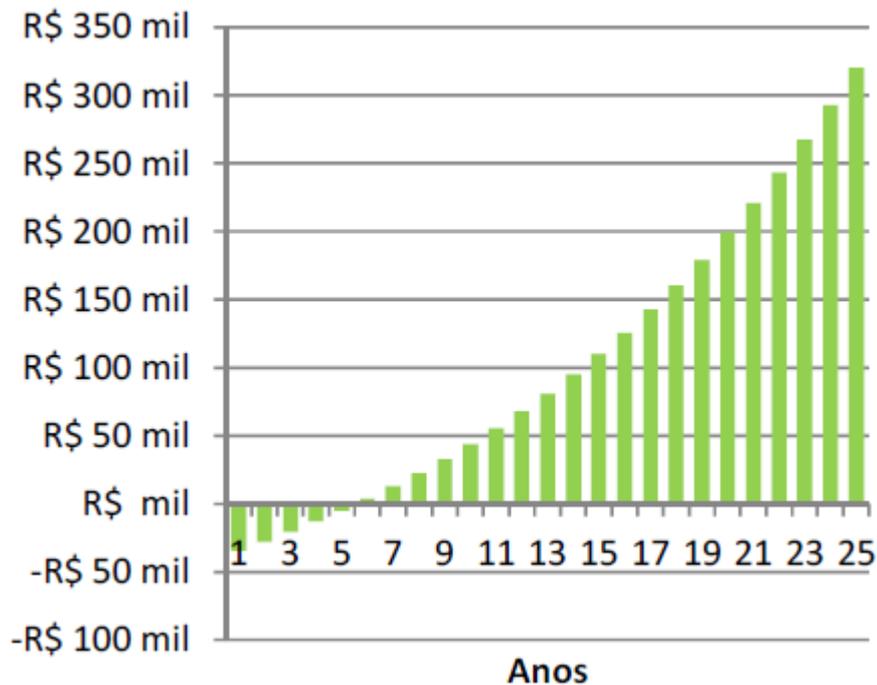
Figura 28 – Análise financeira das áreas 1, 2, 3 e total (somatório das três áreas).



Fonte: Autora, (2018).

Além desses fatores também pode ser destacado os gráficos de *payback* de cada área. Possibilitando a verificação do tempo o sistema irá levar para se pagar. Na Figura 29 apresenta a análise do *payback* da simulação da área 1.

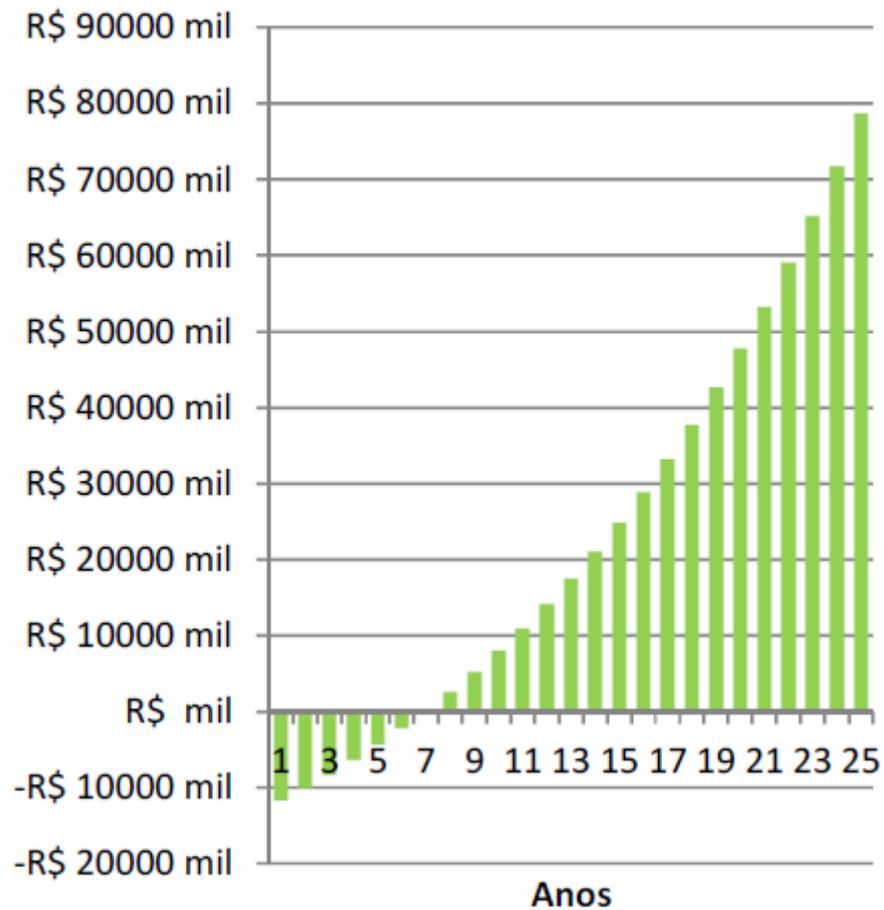
Figura 29 – Gráfico do *payback* da área 1.



Fonte: SAM, (2018).

Na área 1 a estimativa de retorno de investimento, conforme simulação SAM acontece no período do sexto ano em diante.

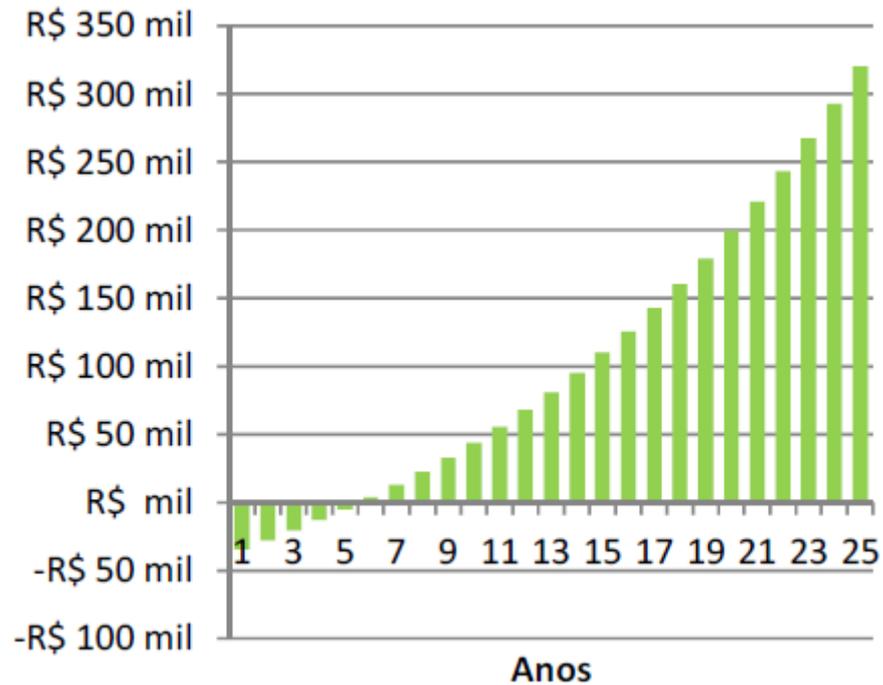
Figura 30 – Gráfico do *payback* da área 2.



Fonte: SAM, (2018).

A área 2 a estimativa de retorno de investimento acontece no período do sétimo ano em diante conforme a Figura 30.

Figura 31 – Gráfico do *payback* da área 3.



Fonte: SAM, (2018).

E na área 3 a estimativa de retorno de investimento ocorre do sexto ano em diante conforme Figura 31.

O cálculo do retorno de investimento determina os valores de economia gerada pelo sistema, ao longo de 25 anos. A sistematização dos dados apresentou um retorno de capital positivo.

9 CONCLUSÃO

Com esse estudo, foi possível averiguar os dados referentes a proposta de implantação de sistemas fotovoltaicos em áreas degradadas pela atividade de mineração de carvão. A metodologia aplicada foi adequada para atingimento dos objetivos deste trabalho utilizando *softwares* e em cálculos para análise da viabilidade técnico-econômica e análise de quesitos para implantação do mesmo em cada área.

Em relação aos fatores climáticos, os estudos demonstraram que esses são favoráveis para a viabilidade do projeto a irradiação solar no Sul do Brasil tem capacidade para manter bons resultados para cada área.

Embora a qualidade dos solos degradados por mineração de carvão não apresente quaisquer interferências na questão da geração de energia, as etapas da recuperação dos solos devem ser respeitadas e concluídas para cumprimento da Ação Civil Pública nº 93.8000533-4 e finalização dos PRAD's. Pode ser feito um estudo aprofundado para verificar se os componentes existentes no solo degradado possam causar alguma interferência nas placas ou na estrutura FV, visto que não houve nenhuma referencia bibliográfica encontrada com esses dados.

Alusivo aos modelos das placas FV, existem modelos e marcas diversificados no mercado, sendo essas a maioria proveniente do exterior. A demanda por esses materiais cresce no país possibilitando o aumento característico da geração de energia limpa FV.

Conclui-se que a inserção dos sistemas FV nas três áreas propostas, mostrou ser uma alternativa eficiente e inovadora do ponto de vista técnico científico, econômico e principalmente ambiental, proporcionando oportunidades para contribuição de geração de energia por um processo que não degradada de forma significativa o meio ambiente.

Tendo em vista os resultados obtidos neste trabalho, recomenda-se em relação a área de estudo, a escolha de terrenos com topografia plana, pois são consideradas melhores para o aproveitamento e instalação das estruturas dos módulos FV.

Com relação a estrutura de fixação em solo das placas, uma pesquisa aprofundada as estruturas mecanizadas deve ser verificada, para obter um percentual ainda maior do aproveitamento da luz solar.

Sobre o valor do investimento, novos orçamentos com outras empresas podem ser realizados, para aferir melhores propostas no mercado.

Com relação ao licenciamento e regularização da atividade das usinas FV, os terrenos de cada área de estudo devem ser loteados para atender a legislação da ANEEL 482/2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Sendo loteados de acordo com que se forme minigeradoras com capacidade de 100 kW conforme permitido na legislação e assim a regularização acontecer de forma com que seja possível a conexão ligada a rede.

Sobre os créditos que serão gerados através da atividade das minigeradoras de energia, a organização responsável pela suposta instalação do projeto pode trocar os créditos para outras unidades da sua companhia, podendo essas serem as unidades operacionais.

Destacando que com a proposta de estudo, a tipologia de geração de energia contribui de forma sustentável com as condições de energias limpas no mercado.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 1 ed. Brasília, 2002. p. 199. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 17 ago. 2018.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Nota técnica nº 2013-SCG/ANEL. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 09 set. 2018.
- ANEEL. Cadernos Temáticos ANEEL. Micro e Minigeração Distribuída. Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Maio. 2016.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Resolução Normativa n. 482 de 17 de abril de 2012. p. 04.
- ALMEIDA, Danilo Sette de. **Legislação básica aplicada à recuperação ambiental**. Recuperação ambiental da Mata Atlântica. 3 ed. Ilhéus, BA, 2016, p. 32-39. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 16 ago. 2018.
- AMARAL, Jose Eduardo do; CANCELIER, Taise da Silva; KREBS, Antônio Silvio J.; RODRIGUES, Graziela Torres. **Mitigação Ambiental de áreas degradadas pela mineração de carvão em Santa Catarina**. 2011, Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina – SATC. Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda. Criciúma/SC. 17 p. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 16 ago. 2018.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro. 2004. p. 77.
- Associação dos Municípios da Região Carbonífera (AMREC). Histórico: Aspectos Gerais da Região. Criciúma/SC. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 15 set. 2018.
- BIGGAR, D. R.; HESAMZADEH, M. R. A economia dos mercados de eletricidade. Chichester: Wiley, 2014. p. 409. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 13 ago. 2018.
- BLAIR, N.; DIORIO, N.; FREEMAN, J.; GILMAN, P.; NEISES, T.; WAGNER, M. *System Advisor Model (SAM)*. Versão 2017/09/05. Laboratório Nacional de Energia Renovável. Dourado, CO. Disponível em: [\[link\]](#) Acessado em: 09 set. 2018.
- BRASIL. Lei Federal Nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: [\[link\]](#). Acesso em: 20 ago. 2018.
- Brasil. Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Energia 2030 / Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília, 2007, p. 343. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 10 set. 2018.
- BRASIL. Conselho Estadual do Meio Ambiente – CONSEMA. **Resolução CONSEMA nº 98, de 5 de maio de 2017**. Aprova a Listagem das Atividades Consideradas Potencialmente Causadoras de Degradação Ambiental passíveis de licenciamento ambiental no Estado de Santa Catarina e a indicação do competente

estudo ambiental para fins de licenciamento. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 17 ago. 2018.

BRASIL, JUSTIÇA FEDERAL - SEÇÃO JUDICIÁRIA DE SANTA CATARINA. Grupo Técnico de Assessoramento à sentença de execução. Ministério Público Federal. Criciúma, SC: Procuradoria da República em Santa Catarina, Ação Civil Pública nº 93.8000533-4 (Processo de Execução nº 2000.72.04.002543-9), 2010. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 30 out. 2018.

BRITO, M. C; SILVA, J. S. Energia Fotovoltaica: Conversão de Energia Solar em Eletricidade. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. 2006, O Instalador. p. 7. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 12 set. 2018.

Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito – CRESESB. Energia Solar, Princípios e Aplicações. 2014, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - Cepel - Rio de Janeiro – RJ. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 13 set. 2018. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Disponível em: < LINK > Acesso em: 26 set. 2018.

CHIGUERU, Tiba. **Atlas Solarimétrico do Brasil**. Banco de Dados Solarimétricos. Recife, 2000, p. 116. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 16 ago. 2018.

COSTA, Samuel. ZOCHE, Jairo José. **Fertilidade de Solos Construídos em Áreas de Mineração de Carvão na Região Sul de Santa Catarina**. Revista Árvore 2009: Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 67 ago. 2018.

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Grupo de Trabalho de Energia Solar. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos** / Rio de Janeiro, CRESESB, 1999. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 12 out. 2018.

DALLA VECCHIA, Neide Alves. **Geração Distribuída para Compensação de Energia Elétrica**. Smart Energy – Conferência Internacional de Energias Inteligentes. Curitiba/PR, 2016. p. 5. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 18 out. 2018.

EGNEX Elétrica Ltda. Curso Hands On de Instalação de Sistemas Fotovoltaicos. Egnex The Next Energy. Curitiba/PR, 2017. p. 21.

EGNEX Elétrica Ltda. Manual de Apresentação Institucional. Egnex The Next Energy. Curitiba/PR, 2018. p. 56.

FADIGAS, FARIA AMARAL ELAINE. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade Técnico-Econômica**. Grupo de Energia Escola Politécnica (GEPEA). Universidade de São Paulo, SP. 2012. pg 71. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 10 out. 2018.

FINOCHIO, Marco Antônio Ferreira. Noções de Energia Solar Fotovoltaica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. 2013, p. 11.

FLICK, Uwe. **Introdução a Pesquisa Qualitativa**. Métodos de Pesquisa. 3.ed São

Paulo: Ed. Artmed, 2009. 20 p. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 17 ago. 2018.

FOSCHINI; REGINA C; RIBEIRO, CRISTIANE, GUEDES; SALVADOR, NEMÉSIO NEVES B. **Legislação ambiental sobre recuperação de áreas degradadas pela exploração de minérios e o uso do mecanismo da caução.** São Paulo, 2002, p. 14. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 16 ago. 2018.

GALATTO, S.L. Avaliação da eficiência de coberturas secas sobre rejeito de carvão visando à prevenção da drenagem ácida de mina. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. UNESC. Criciúma, Santa Catarina, 2006, p. 129. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 16 out. 2018.

GOOGLE. Google Earth Website. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 08 out. 2018.

Grupo Técnico de Assessoramento – GTA. 11º Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais. v. 1. Ação Civil Pública nº 93.8000.533-4, Processo de Cumprimento de Sentença nº 2000.72.04.002543-9. Santa Catarina, 2017, p. 255. Grupo Técnico de Assessoramento. Indicadores Ambientais (GTA): Plano de Monitoramento. 9º Relatório do GTA 2015.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Relatório do Estado do Santa Catarina. 2018. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 16 out. 2018.

KOPPEN, Geiger. **Distribuição atualizada dos tipos de clima segundo a classificação.** Mapa mundial atualizado da classificação climática de Köppen-Geiger. 2007. pg. 07. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 14 ago. 2018.

Logística de energia 2015. Redes e Fluxos do Território / IBGE, Coordenação de Geografia. - Rio de Janeiro, 2016, p. 102. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 13 set. 2018.

MAP Engenharia e Topografia. Plano de Recuperação de Área Degrada (PRAD). Santana, Urussanga/SC, 2002. Empresas Rio Deserto. p. 93.

MAP Engenharia e Topografia. Plano de Recuperação de Área Degrada (PRAD). Vila Rio Deserto, Urussanga/SC, 2006. Empresas Rio Deserto. p. 76.

Ministério Público Federal (MPF). Procuradoria da República de Santa Catarina. Procuradoria da República em Criciúma/SC. **Critérios para recuperação ou reabilitação de áreas degradadas pela mineração de carvão.** Revisão 07. Ação Civil Pública nº 93.8000533-4. (Processo de Cumprimento de Sentença nº 2000.72.04.002543-9). Criciúma, 2015. p. 20.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos. Programa de Proteção e Melhoria da Qualidade Ambiental. IBAMA – Licenciamento Ambiental Federal. Manual de Normas e Procedimentos para Licenciamento Ambiental no Setor de Extração Mineral. Brasília. 2001. p. 132. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 22 ago. 2018.

Ministério Público Federal (MPF). Edital n. 4913725. Documento eletrônico assinado por Rafaela Santos Martins da Rosa, Juíza Federal Substituta, na forma do artigo 1º, inciso III, da Lei 11.419, de 19 de dezembro de 2006 e Resolução TRF 4ª Região nº 17, de 26 de março de 2010. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 06 out. 2018.

NASCIMENTO, Araújo, Cassio. **Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica**. Lavras/MG. 2004. pg. 21. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 15 out. 2018.

NIMER, Edmon. **CLIMATOLOGIA DA REGIÃO SUL DO BRASIL**. Introdução a Climatologia Dinâmica. Subsídios a Geografia Regional do Brasil. Rev. Bras. Geogr., 34: 3-48, 1972. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 11 set. 2018.

OLIVEIRA, Maxwell Ferreira de. **Metodologia Científica: um manual para a realização de pesquisas em administração**. Catalão – UFG. 2011, p. 72. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 15 ago. 2018.

PEREIRA, E. B; Fernando Ramos MARTINS; ABREU S. L; RÜTHER R. Atlas brasileiro de energia solar. São José dos Campos, 2006, p. 60. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 11 set. 2018.

PINHO, Tavares João; GALDINO, Marco Antônio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES – CEPEL – DTE – CRESEB. Rio de Janeiro, 2014, p. 530. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 17 ago. 2018.

Portal do Agronegócio. Biomassa é a principal fonte de energia da indústria catarinense. Canal Energia. 2015. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 12 set. 2018.

RAMPINELLI, Giuliano Arns; GOMES, Júlio César Quintão. **Projeto de Implantação de Sistemas Fotovoltaicos em Áreas Degradadas e Recuperadas Ambientalmente**. Revista Ciências Exatas e Naturais, Vol. 15, n. 2. Criciúma 2013. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 18 ago. 2018.

Relatório Anual. A Celesc em 2011. Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A. Florianópolis, 2011, pg. 66. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 13 set. 2018.

Relatório de Acompanhamento da Implantação de Empreendimentos de Geração. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Nº 11- Março de 2018. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 09 set. 2018.

RIBAS, Ana Caroline; CASTRO, Fernanda Hahn. **Caracterização do Sistema Fotovoltaico Conectado ao Delt e Análise da Eficácia da Limpeza dos Módulos**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2018, p. 74.

Roteiro de Apresentação para Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) Terrestre. Parque Nacional da Serra da Bocaina (PNSB). Serviço Público Federal – Ministério do Meio Ambiente (MMA). Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Bocaina/SP, 2013. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 15 set. 2018.

SALVARO, Pedro Vitor. MAGNUS, Douglas de Matos. **Estudo da Utilização de Áreas Degradadas para Instalação de Usinas Fotovoltaicas no Sul de Santa Catarina.** V Congresso Brasileiro de Carvão Mineral. Criciúma/SC. 2017. pg. 13. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 11 set. 2018.

SÁNCHEZ, L. E.HENNIES, W. T.ESTON, S. M.MENEZES, C. B. . Impactos cumulativos e passivos ambientais no carvão mineral de Santa Catarina, no sul do Brasil. Terceira Conferência Internacional sobre Questões Ambientais e Gestão de Resíduos em Energia e Produção Mineral. 1994, Perth.1994. pg. 85. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 22 out. 2018.

SERRÃO, Marcos Antônio dos Santos. **Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico para uma Casa de Veraneio em Pouso da Cajaíba-Paraty.** Rio de Janeiro. 2010, pg. 99. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 11 out. 2018.

SILVA, Rutelly Marques da. **Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios.** Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG, Senado, 2015 (Texto para Discussão nº 166), p. 07. Disponível em: [\[link\]](#). Acesso em: 17 ago. 2018.

SILVA, Maurício Corrêa da; CHACON, Márcia Josienne Monteiro; PEDERNEIRAS, Marcleide Maria Macedo; LOPES, Jorge Expedito de Gusmão. **Procedimentos Metodológicos para a Elaboração de Projetos de Pesquisa Relacionados a Dissertações de Mestrado em Ciências Contábeis.** Revista contabilidade e finanças. 2004, vol.15, n.36, pp.97-104. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 17 ago. 2018.

System Advisor Model (SAM). General Description (Versão 2017.9.5). Simulação de Geração de Energia. Golden, CO. National Renewable Energy Laboratory. 2018. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 20 ago. 2018.

SOUZA, Di Ronilson. Os sistemas de Energia Solar Fotovoltaica. Blue Sol Energia Solar. Ribeirão Preto/SP, 2010. pg. 114. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 19 out. 2018.

VALLÊRA, Antônio, M; BRITO, Miguel Centeno. **As Energias do Presente e do Futuro.** Ed. Carlos Varandas. Gazeta de Física, v. 29. Lisboa, 2005, p. 92.

VIANELLO, Rubens Leite; ALVES, Adil Rainier. **Meteorologia Básica e Aplicações.** Viçosa, UFV. Impr. Univ. 1991. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 10 ago. 2018.

WILLIAMS, D. D.*et al.* **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação.** Brasília: MINTER/Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais – IBAMA. 1990. p. 96.

WITTMER, Bruno; MERMOUD, André; SCHOTT, Thomas. **“Análise do desempenho de instalações de rede fotovoltaica, comparando dados medidos com resultados de simulação para identificar problemas na operação e monitoramento”.** Cartaz apresentado na 30ª Conferência e Exposição Europeia de

Energia Solar Fotovoltaica, 2015, Alemanha. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 18 ago. 2018.

ZANETTE, Eduardo Netto. **UM ESTUDO SOBRE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DE ÁREAS DEGRADADAS NA MINERAÇÃO DO CARVÃO EM SANTA CATARINA COM ÊNFASE NA AÇÃO CIVIL PÚBLICA Nº. 93.80.00533-4.**

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016. p. 92. Disponível em: [\[link\]](#) Acesso em: 24 set. 2018.