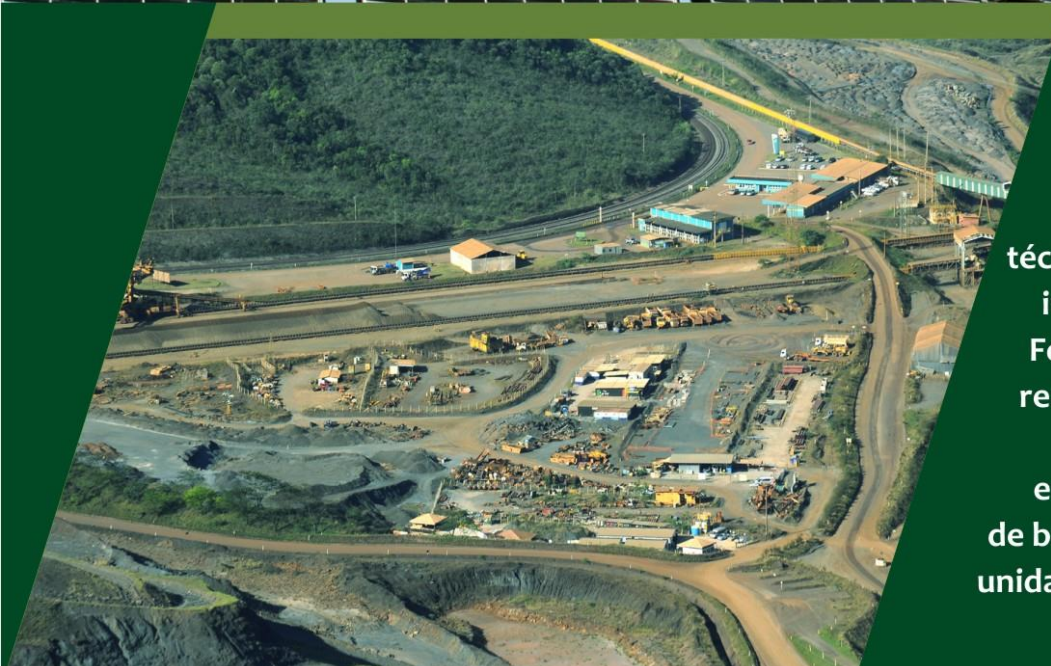




## Análise de pré-viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de uma Usina Solar Fotovoltaica em consórcio com a reabilitação de áreas degradadas.



### Relatório 2

Estudo de pré-viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de uma Usina Solar Fotovoltaica em consórcio com a reabilitação de áreas degradadas, em uma área de lixão e outra em área já minerada, que servirá de base para implantação de dessas unidades no estado de Minas Gerais.





# ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DE IMPLANTAÇÃO DE USINA SOLAR FOTOVOLTAICA PILOTO PARA OS POTENCIAIS MUNICÍPIOS MINEIROS

## FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE

### **Governo do Estado de Minas Gerais**

Fernando Damata Pimentel - Governador

### **Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMAD**

Jairo José Isaac - Secretário

### **Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM**

Germano Luiz Gomes Vieira – Presidente em exercício

### **Diretoria de Instrumentos de Gestão e Planejamento Ambiental - DIPA**

Antônio Henrique dos Santos - Diretor

### **Pesquisador**

Wemerson Rocha Ferreira

### **Orientador**

Wilson Pereira Barbosa Filho

### **Revisão**

Abílio César Soares de Azevedo

Elisa Meira Bastos

Lívia Maria Leite da Silva

Wilson Pereira Barbosa Filho



Belo Horizonte

2016








## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG, bem como à Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) pelo apoio e suporte técnico/administrativo que propiciaram o desenvolvimento e conclusão efetivos deste relatório.





## RESUMO



Na última metade de século XX foi verificado, nos países em desenvolvimento, um processo de urbanização que resultou em grandes concentrações populacionais em um número reduzido de cidades, agravando o uso de espaços públicos, da mobilidade urbana e do desnível de renda. Além disso, é de se destacar que dois terços do consumo mundial de energia ocorrem nas cidades. Desta forma, falar em mudanças climáticas, aquecimento global, energias renováveis e planejamento urbano, também é falar em cidades sustentáveis. Neste contexto, esse estudo tem como escopo discutir a possibilidade, dentro de um planejamento urbano sustentável, da implantação de usinas solares fotovoltaicas em áreas degradadas em consórcio com a prática de reabilitação, contribuindo, assim, com o fomento do uso de energias renováveis nas matrizes energéticas nacional, estadual e regional. Para tanto, este relatório apresenta, por meio de Estudos de Caso, de potenciais áreas em alguns municípios mineiros que, atendendo aos requisitos de escopo do projeto, demonstraram interesse participar de P&D como parceiros e possíveis sedes para a implantação de uma usina piloto. Tal discussão é pertinente frente ao momento atual, em que o país passa por risco energético e aumento das tarifas de energia, que é decorrente do uso de centrais termelétricas movidas a combustíveis fósseis.



**Palavras-chave:** *Usina Solar Fotovoltaica, Impactos Ambientais, Reabilitação de Áreas Degradadas, Diversificação da Matriz Elétrica.*





## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processos de restauração, recuperação e reabilitação de áreas degradadas.....	25
Figura 2: Radiação solar média diária anual em Minas Gerais.....	32
Figura 3: Fluxograma metodológico do projeto.....	34
Figura 4: Municípios consultados em Minas Gerais.....	37
Figura 5: Localização do município de Congonhas dentro de Minas Gerais – Vista aérea.....	39
Figura 6: Mapa do potencial de irradiação global diária média anual para Congonhas - Minas Gerais.....	40
Figura 7: Vista parcial do aterro de Congonhas.....	42
Figura 8: Resíduos expostos no depósito de lixo de Congonhas.....	42
Figura 9: Localização do município de Ouro Branco dentro de Minas Gerais – Vista aérea.....	43
Figura 10: Mapa do potencial de irradiação global diária média anual para Ouro Branco - Minas Gerais.....	44
Figura 11: Vista parcial do aterro de Ouro Branco.....	46
Figura 12: Localização do município de Itabira dentro de Minas Gerais – Vista aérea.....	47
Figura 13: Mapa do potencial de irradiação global diária média anual para Itabira - Minas Gerais.....	48
Figura 14: Vista da antiga pedreira de Itabira.....	50
Figura 15: Vista da mina da VALE em Itabira.....	50
Figura 16: Localização do município de Barão de Cocais dentro de Minas Gerais – Vista aérea.....	52
Figura 17: Mapa do potencial de irradiação global diária média anual para Barão de Cocais - Minas Gerais.....	53
Figura 18: Vista da mina em Barão de Cocais.....	54
Figura 19: Gráfico comparativo da irradiação horizontal global média entre os quatro municípios do estudo.....	55
Figura 20: Gráfico comparativo da irradiação horizontal global média anual entre os quatro municípios do estudo.....	56









## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quadro resumo da aplicação da metodologia de projeto. ....	36
Tabela 2: Dados de incidência solar e do ambiente para o aterro de Congonhas.....	41
Tabela 3: Dados de incidência solar e do ambiente para o aterro de Ouro Branco .....	45
Tabela 4: Dados de incidência solar e do ambiente para o aterro de Itabira .....	49
Tabela 5: Dados de incidência solar e do ambiente para o aterro de Barão de Cocais .....	53







## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
2. OBJETIVOS .....	15
2.1. Objetivo Geral .....	15
2.2. Objetivos Específicos .....	15
3. JUSTIFICATIVAS E RELEVÂNCIA DO PROJETO .....	17
4. CONCEITOS .....	21
4.1. Degradação Ambiental.....	21
4.2. Lixão:.....	22
4.3. Aterro Controlado:.....	23
4.4. Aterro Sanitário: .....	23
4.5. Recuperação Ambiental .....	24
4.6. Microgeração Distribuída .....	26
4.7. Minigeração Distribuída.....	26
4.8. Geração Distribuída .....	26
4.9. Irradiação Solar .....	27
4.10. Usina Solar Fotovoltaica.....	28
5. POTENCIAL DE GERAÇÃO SOLAR .....	29
5.1. Potencial de radiação solar em Minas Gerais.....	31
6. METODOLOGIA DE ESCOLHA DE MUNICÍPIOS .....	33
6.1. Etapas de realização.....	34
7. MUNICÍPIOS ESTUDADOS.....	37
7.1. Caracterização dos municípios .....	38
8. ANÁLISE COMPARATIVA DOS ESTUDOS DE CASO .....	55
9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	57
10. BIBLIOGRAFIA .....	59







## 1. INTRODUÇÃO

As mudanças no clima, as restrições econômicas e legais quanto às fontes de energia convencionais e o apelo quanto à sustentabilidade que garanta um equilíbrio e um conforto ambiental adequado às sociedades contemporâneas e futuras são temas cada vez mais recorrentes em discussões de nível técnico, científico e político. Da mesma forma, as demandas energéticas, e por serviços de energia de qualidade, com a continuidade necessária, têm exigido um esforço político considerável, de modo que as sociedades, cada vez mais conscientes e com necessidades mais refinadas, possam ter seus anseios correspondidos de forma adequada com relação às questões ambientais e econômicas. O equilíbrio é o caminho mais indicado por grande parte dos pesquisadores e acadêmicos da área ambiental e da energia, alinhando a manutenção do meio ambiente e seus recursos, com as demandas econômicas e o bem estar social.

Na busca por recursos que proporcionem maior conforto às pessoas, com o maior acesso econômico e as mudanças nos padrões de consumo, sabe-se, que ao longo do século XX, intensificou-se a exploração de recursos naturais, o que foi acompanhado pela disseminação de uma cultura do descartável e do consumismo desmedido. Tal situação trouxe consigo uma maior produção de lixo, o que se configura como um dos maiores problemas sociais urbanos da atualidade. Houve, ainda, uma intensificação da exploração minerária, que também se caracteriza como uma geradora de grandes impactos ambientais.

Como solução na transformação dos passivos ambientais em ativos sociais, propõe-se a instalação de usinas solares fotovoltaicas nas áreas degradadas, como forma de reabilitação das mesmas. Para tal, conta-se com parcerias entre o Poder Público e o setor privado, de modo a contribuir para a construção de um caminho, rumo ao desenvolvimento sustentável.







## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo Geral

Analisar a viabilidade técnica, dentro de um planejamento urbano e rural sustentável, da implantação de usinas solares fotovoltaicas em áreas degradadas em consórcio com a prática de reabilitação, transformando passivos ambientais em ativos sociais e contribuindo, também, com o fomento do uso de energias renováveis na matriz energética do estado de Minas Gerais.

### 2.2. Objetivos Específicos

- Identificar municípios de Minas Gerais com potencial solar que possibilite a instalação de um projeto piloto de uma usina solar fotovoltaica em seu território, em consórcio com a reabilitação de áreas degradadas, com parceria entre FEAM, CEMIG, Prefeitura Municipal e possíveis empresas parceiras;
- Realizar um inventário das potenciais áreas de cada município que se enquadrem nos quesitos do projeto;
- Identificar o potencial energético solar nas áreas apresentadas;
- Utilizar modelagem apropriada para a estimativa do potencial solar para geração de energia elétrica fotovoltaica em cada área apresentada.







### 3. JUSTIFICATIVAS E RELEVÂNCIA DO PROJETO

O Brasil apresenta um dos maiores índices de radiação solar do mundo. A maior parte do território nacional se localiza próximo à linha do Equador, não apresentando assim grandes variações de radiação solar ao longo do dia. Esse fato, aliado a atual escassez de energia nacional, cuja matriz energética é baseada nas grandes Usinas Hidrelétricas e nas Termoelétricas abastecidas a combustíveis fósseis, serve de grande motivação para que se busquem alternativas energéticas de cunho renovável, como o caso da solar.

Segundo a Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG, para sistemas fotovoltaicos planos (sem dispositivos de concentração) o requisito de radiação solar são valores acima de 2.000 kWh/m<sup>2</sup>.ano, ou seja, 5,5 kWh/m<sup>2</sup>.dia (valor média diário anual) (CEMIG, 2012), valores esses, um pouco acima do que usualmente se aplica à elaboração de estudos de viabilidade de instalação de centrais fotovoltaicas em escala mundial.

Sabe-se ainda que várias são as formas de degradação ambiental causadas por ações antrópicas, tais como: efluentes de resíduos industriais, erosão, lixiviação, desmatamento, queimadas e incêndios florestais, ocupação humana desregulada, caça predatória, poluição do ar e da água, entre outros. De forma mais enfática, conforme o escopo deste projeto, a disposição inadequada dos resíduos sólidos urbanos – RSUs –, bem como a degradação causada por atividades de exploração minerária, representam um grave passivo ambiental para grande parte dos municípios de Minas Gerais, configurando-se, inclusive, como um problema ambiental e de saúde pública. Precisamente o estado mineiro apresentava em 2014, conforme dados apontados pelo panorama da destinação de RSUs da FEAM (2015), cerca de 31% de seus municípios fazendo uso de lixões para destinação de seus RSUs (FEAM, 2015); já com relação à mineração, conforme dados fornecidos pela FEAM (2016), o estado possuía, em 2015, 169 áreas classificadas como abandonadas e 231 como paralisadas, sendo 97 áreas classificadas como paralisada com controle ambiental e 134 áreas classificadas como paralisada sem controle ambiental (FEAM, 2015). Faz-se, pois, necessária a recuperação



e reabilitação de tais áreas degradadas de modo a reduzir os passivos e possibilitar a sua transformação em ativos ambientais, sociais e econômicos.

Nesse contexto, a FEAM, entidade integrante do SISEMA, apresenta neste documento uma análise de pré-viabilidade técnica, dentro de um planejamento urbano e rural sustentável, para implantação de usinas solares fotovoltaicas em áreas degradadas em consórcio com a prática de reabilitação visando gerar energia elétrica por meio de uma fonte renovável, no caso, com uso de painéis solares fotovoltaicas, reaproveitando um local que já tenha sofrido algum tipo de impacto ambiental como áreas mineradas ou contaminadas, como aterros sanitários desativados ou em processo de desativação. A análise de implantação de projeto piloto no Estado de Minas Gerais poderá influenciar empresas e prefeituras a recuperar áreas degradadas com retorno econômico, por meio da compensação de energia ou venda em leilões.

A análise de implantação do projeto piloto no Estado de Minas Gerais poderá influenciar empresas e prefeituras a recuperarem áreas degradadas com retorno econômico da comercialização de eletricidade, por meio da compensação de energia ou venda em leilões ou no mercado livre (contratos bilaterais).

Além disso, o fomento à inserção da energia solar fotovoltaica na matriz energética nacional, estadual e regional pode contribuir para a redução dos níveis de poluição e do aquecimento global. Além de estar ligada ao contexto de geração distribuída – GD, que, embora tenha apresentado diferentes conceitos no meio acadêmico-científico, essencialmente evidencia alguns pontos em comum, como: localização próxima da região de consumo; produção em pequena escala, e incentivo ao uso de recursos renováveis disponíveis localmente. Os recursos energéticos distribuídos podem e devem contribuir na redução das emissões de gases de efeito estufa – GEEs, e para mitigar a mudança climática, permitindo a redução das necessidades de grandes instalações de geração de cargas e extensas linhas de transmissão, o que diminui as perdas de energia e o impacto ambiental gerado por essas



construções, tendo como contrapartida a otimização do uso de novas tecnologias.

A instalação de Usinas Solares Fotovoltaicas em parceria com a reabilitação de áreas degradadas visa auxiliar a redução da permanência de impactos negativos em áreas degradadas e, por consequência, no planejamento urbano e rural, beneficiando toda a população da região e do estado, além de trazer um retorno financeiro para as prefeituras municipais, indústrias de mineração e empresas particulares interessadas, por meio da comercialização de energia ou da compensação. Em uma perspectiva otimista, tem-se que, mesmo apresentando uma significativa participação de energia renovável em sua matriz, a expansão da capacidade instalada do setor elétrico brasileiro, determinada pela política e planejamento elétrico com base nas potencialidades naturais nacionais, prioriza as fontes renováveis de base hídrica, eólica, solar e biomassa. Como resultante da atual matriz elétrica e de sua evolução o custo do abatimento da emissão de carbono tende a ser bastante reduzido (GESEL, 2012).





## 4. CONCEITOS

Conforme a afirmação de Wilson (1998), “o primeiro passo para a sabedoria é referir-se às coisas pelos seus nomes corretos” (WILSON & YOUNG, 1996). Desta forma, é preciso ter clara a definição e limites dos conceitos que são abarcados pelo tema proposto. Este capítulo tem, pois, o intuito de apresentar os principais conceitos tratados neste Estudo, de modo a constituir-se como um facilitador à compreensão do relatório.

### 4.1. Degradação Ambiental

A degradação ambiental pode ser entendida, de modo geral, como qualquer alteração causada pelo Homem no ambiente. Contudo, há certa variância quanto ao consenso na definição dos conceitos de área degradada e degradação ambiental.

O Guia de Recuperação de Áreas Degradadas da SABESP define degradação ambiental, como sendo as “modificações impostas pela sociedade aos ecossistemas naturais, alterando (degradando) as suas características físicas, químicas e biológicas, comprometendo, assim, a qualidade de vida dos seres humanos” (SABESP, 2003). Os autores Neves e Tostes (1992) definem da seguinte forma o ato de degradar: “Degradar é deteriorar, estragar. É o processo de transformação do meio ambiente que leva à perda de suas características positivas e até à sua extinção”. Lembrem, ainda, que, ao longo do tempo, tanto aqueles que exercem atividades econômicas, quanto o Poder Público, têm provocado degradação ambiental. Com relação ao Estado, pode-se citar fontes de degradação como as estatais poluidoras, más gestões de saneamento, e incentivos fiscais a atividades degradantes (NEVES & TOSTES, 1992). Para Bitar e Braga (1995) “áreas degradadas são geradas por intervenções significativas nos processos do meio físico” (BITAR & BRAGA, 1995). Uma área encontra-se degradada quando, independentemente do tipo de interferência, seu ambiente, entre outros sintomas, apresenta:

- Perda da vegetação nativa;



- Redução ou eliminação da fauna;
- Incapacidade de regeneração biótica;
- Destruição da camada fértil;
- Alteração da vazão e da qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

São várias as formas de degradação ambiental causadas por ações antrópicas, tais como: efluentes de resíduos industriais, erosão, lixiviação, desmatamento, queimadas e incêndios florestais, ocupação humana desregulada, caça predatória, poluição do ar e da água, entre outros.

Neste projeto de P&D escolheu-se trabalhar sob o conceito contido na legislação federal, em seu Decreto Federal Nº 97.632, de 10 de abril de 1989, onde a degradação ambiental é tida como o "conjunto de processos resultantes de danos no meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como, a qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais" (BRASIL, 1989).

#### 4.2. Lixão:

Também conhecido como “vazadouro”, é uma técnica de disposição final de RSUs, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo, sem critérios técnicos e medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. É o mesmo que descarga a “céu aberto”, sendo considerada inadequada e ilegal no Brasil, pois acarreta problemas de saúde pública, como a proliferação de vetores de doenças (moscas, mosquitos, baratas, ratos), geração de gases que causam odores desagradáveis e intensificação do efeito estufa e poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas pelo chorume (líquido de coloração escura, malcheiroso e de elevado potencial poluidor, produzido pela decomposição da matéria orgânica contida nos resíduos), além de provocar poluição visual. Nos casos de lançamento de resíduos em encostas, é possível ainda ocorrer a instabilidade dos taludes pela sobrecarga e absorção

temporária da água da chuva, podendo provocar deslizamentos ([FEAM], 2010).

#### 4.3. Aterro Controlado:

É uma técnica de confinamento de RSUs sem poluir o ambiente externo, todavia sem a implementação de elementos de proteção ambiental. Este método de disposição geralmente produz poluição localizada, não havendo impermeabilização de base, o que compromete a qualidade do solo e das águas subterrâneas, nem sistema de tratamento de lixiviados (chorume mais água de infiltração) ou de extração e queima controlada dos gases gerados. Esse método é preferível ao lixão, mas apresenta qualidade bastante inferior ao aterro sanitário, sendo conhecido como uma técnica de transição. A recuperação de um lixão como aterro controlado pode ser uma alternativa temporária para os municípios com populações inferiores a 20.000 habitantes, até que seja implantado, por meio de respectivo processo de regularização ambiental, sistema adequado de disposição final de resíduos ([FEAM], 2010).

#### 4.4. Aterro Sanitário:

É uma técnica de disposição de RSUs no solo, que não causa danos à saúde pública e ao meio ambiente, uma vez que utiliza medidas de minimização dos impactos ambientais. Tal método emprega princípios de engenharia no intuito de confinar os resíduos sólidos na menor área permissível e reduzi-los ao menor volume possível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada etapa de trabalho, ou, caso necessário, em intervalos menores. Esta técnica é relativamente simples, mas exige cuidados próprios, bem como procedimentos e metodologias característicos, incluindo sempre uma rigorosa avaliação dos impactos ambientais causados localmente e sobre as áreas de interferência e influência do aterro sanitário ([FEAM], 2010).



O aterro sanitário deve contar com todos os sistemas de proteção ambiental:

- Impermeabilização de base e laterais;
- Recobrimento diário dos resíduos;
- Cobertura final das plataformas de resíduos;
- Coleta e drenagem de lixiviados;
- Coleta e tratamentos dos gases;
- Drenagem superficial;
- Tratamento de lixiviados;
- Monitoramento ambiental.

A ABNT/NBR nº 13896/1997 – “Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação” ([ABNT], 1997), recomenda que seja feita a construção de aterros com vida útil mínima de dez anos, sendo que seu monitoramento deve prolongar-se por, ao menos, mais dez anos após o seu encerramento ([FEAM], 2010). Assim, novos usos do solo, por meio de processos de reabilitação, devem considerar que os resíduos aterrados ainda permanecem em processo de decomposição após o encerramento das atividades por períodos relativamente longos, que podem ser superiores a 10 anos ([FEAM], 2010).

#### 4.5. Recuperação Ambiental

A recuperação de uma área degradada pressupõe que sejam adotadas medidas de melhoria do meio físico que possam restabelecer a mínima condição do local, tal qual ao seu estado original ou em condições de utilização para outro fim, devendo resultar em uma paisagem estável, que promova a autossuficiência do solo e devolva a sua capacidade produtiva, restabelecendo a fauna, minimizando os níveis de poluição do ar e da água. Esta recuperação representa devolver ao ambiente uma condição de uso conforme as características preexistentes, atribuindo ao mesmo a capacidade de desenvolver uma situação de equilíbrio que permita a formação de um novo



solo e de uma nova paisagem, porém compatíveis com os aspectos físicos, estéticos e sociais das áreas adjacentes podendo superar o estado paisagístico de origem.

Na literatura tem-se utilizado diversos termos para conceituar o processo realizado em áreas degradadas visando o retorno de suas características mais próximas antes da ação que as deteriorou. Dentre eles destacam-se Recuperação, Reabilitação e Restauração.

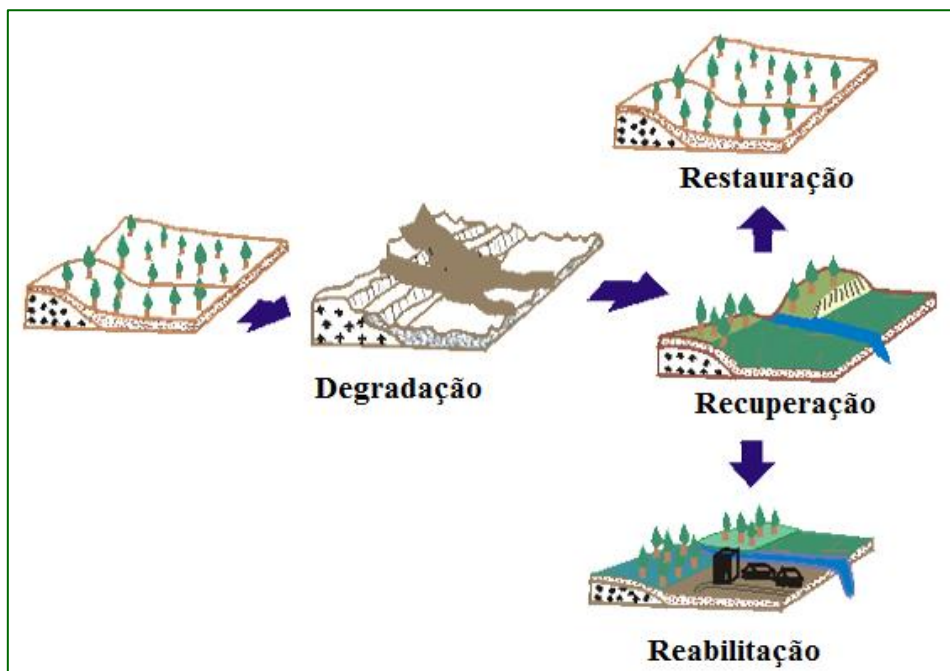


Figura 1: Processos de restauração, recuperação e reabilitação de áreas degradadas.

Fonte: Adaptado de Bitar e Braga (1995).

Nesta linha de raciocínio, Bitar (1997), aliado à Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (2016), diferencia as três definições como:

- **Restauração:** é a reprodução das condições originais exatas da área antes da perturbação causada pela intervenção antrópica, caracterizando-se como uma possibilidade bastante improvável, senão, impossível (BITAR, 1997) (SÃO PAULO, 2005);
- **Recuperação:** está associada à ideia de que o local alterado deverá ter qualidades próximas à anteriores, devolvendo o



equilíbrio e a estabilidade dos processos ambientais atuantes (BITAR, 1997) (SÃO PAULO, 2005);

- **Reabilitação:** é um recurso utilizado quando a solução mais viável é o desenvolvimento de atividades alternativas que se adequem ao uso humano e não aquela de reconstituir a vegetação original, mas desde que seja planejada de modo a não causar impactos negativos no ambiente (BITAR, 1997) (SÃO PAULO, 2005).

#### 4.6. Microgeração Distribuída

De acordo com a Resolução Normativa 687/2015 da ANEEL, microgeração distribuída caracteriza-se por uma “*central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras*” (ANEEL, 2015).

#### 4.7. Minigeração Distribuída

A ANEEL, em sua Resolução Normativa 687/2015, estabelece que minigeração distribuída é aquela em que uma “*central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras*” (ANEEL, 2015).

#### 4.8. Geração Distribuída

A GD é definida como o uso integrado ou isolado de recursos modulares de pequeno porte por concessionárias, consumidores e terceiros em aplicações que beneficiam o sistema elétrico e ou consumidores específicos. O termo tem

sintonia com outras expressões normalmente usadas como: autogeração, geração in situ, cogeração e geração exclusiva (OLADE, 2011). Este modelo oferece inúmeras vantagens ao setor elétrico, visto que a disposição da unidade de geração próxima a carga permite a diminuição das perdas associadas ao transporte de energia elétrica, além de uma maior diversificação das tecnologias empregadas para produção de energia, e assim sua escolha pode ser realizada em função dos requerimentos específicos da carga ou da disponibilidade dos recursos energéticos locais (OLADE, 2011). As tecnologias de GD têm evoluído para incluir potências cada vez menores. O conceito envolve, ainda, equipamentos de medida, controle e comando que articulam a operação dos geradores e o eventual controle de cargas (ligamento/desligamento) para que estas se adaptem à oferta de energia. Com a GD, torna-se possível obter maior eficiência energética (INEE, 2001).

A GD também pode ser definida como a geração e armazenamento de energia elétrica em pequena escala, mais próximo ao centro de carga, com opção de interagir, ou seja, comprar ou vender com a rede, e, em alguns casos, considerando a máxima eficiência energética (OLADE, 2011). É uma denominação genérica de um tipo de geração elétrica que se diferencia da realizada pela geração centralizada por ocorrer em locais em que não seria instalada uma usina geradora convencional, contribuindo assim para aumentar a distribuição geográfica da geração de energia elétrica em determinada região (COGEN, 2012).

#### 4.9. Irradiação Solar

Um dos principais aspectos da energia proveniente do Sol é a chamada Irradiância Solar (G), que constitui uma medida de potência (energia/tempo) por unidade de área, sendo medida em watts por metro quadrado ( $W/m^2$ ), ou, quando se trata de expressar a irradiância incidente sobre uma célula fotovoltaica, em miliwatts por centímetro quadrado ( $mW/cm^2$ ). A irradiância solar que chega a nosso planeta tem um valor médio aproximado de  $1.367 W/m^2$ , ou aproximadamente  $1.400 W/m^2$ . Entende-se que a Irradiação Solar



corresponde à quantidade de energia solar incidente por unidade de superfície durante um período definido de tempo (normalmente um dia, mês ou ano), sendo obtida por meio da integral da irradiância global neste período. É expressa, comumente, em kWh/(m<sup>2</sup>·dia), kWh/(m<sup>2</sup>·mês) ou kWh/(m<sup>2</sup>·ano) (ONUUDI, 2014).

#### 4.10. Usina Solar Fotovoltaica

A conversão direta da energia solar em energia elétrica ocorre pelos efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais, particularmente os semicondutores. Entre esses efeitos, destacam-se o fotoelétrico e o fotovoltaico. O primeiro caracteriza-se pelo surgimento de uma diferença de potencial, provocada pela junção de dois metais, em condições específicas. No segundo, os fótons, contidos na luz solar, são convertidos em energia elétrica, por meio do uso de células solares (BRASIL, 2008).

A usina solar, também conhecida como parque solar, é um sistema fotovoltaico de grande porte (sistema FV) projetado para a produção e venda de energia elétrica. As usinas de energia solar se diferenciam dos sistemas fotovoltaicos instalados em casas e indústrias pois elas fornecem energia em alta tensão para fins de distribuição e não para o autoconsumo. A produção de energia da usina de energia solar vem dos painéis fotovoltaicos que convertem a energia do sol em energia elétrica para ser vendida para a rede (SOLAR, 2016).




## 5. POTENCIAL DE GERAÇÃO SOLAR


O Sol é a estrela mais próxima da Terra e emite uma enorme quantidade de radiação, fruto de diversas reações internas de fusão nuclear. Apenas uma parcela pequena desta energia chega ao planeta Terra, mas o suficiente para caracterizar-se como um imenso recurso natural. No contexto das conversões energéticas fotovoltaicas, é preciso, pois, conhecer e entender qual é sua natureza e sua disponibilidade espacial e temporal, a fim de aproveitar eficientemente este recurso solar.

Atualmente, a teoria aceita para a fonte de energia do Sol foi proposta por Hans Albrecht Bethe, em 1937. Entre 1935 a 1938, Bethe estudou reações nucleares e reações seção eficaz (ciclo carbono-oxigênio-nitrogênio), dirigindo a sua importante contribuição a nucleossíntese estelar. Desenvolveu a teoria das reações nucleares e dos núcleos compostos; descobriu, ainda, as reações que fornecem energia para as estrelas, ou seja, como as estrelas produzem sua própria energia por meio de processos de fusão nuclear (LEITE, 2007). Tal fonte seria as reações termonucleares, onde quatro prótons são fundidos em um núcleo de hélio, com liberação de grande quantidade de energia à medida que a matéria é convertida em energia: aproximadamente 4 bilhões de quilos de matéria por segundo. Enquanto a temperatura no interior do Sol é de mais de  $4,0 \times 10^7$  °C, os gases na sua superfície estão a aproximadamente  $6,0 \times 10^3$  °C (HINRICHS & KLEINBACH, 2011). A reação nuclear mais importante nas estrelas brilhantes é o ciclo carbono-nitrogênio, enquanto que nas estrelas mais fracas, como o Sol, são as reações próton-próton (LEITE, 2007). Assim, tendo-se que a composição do Sol é 92,1% hidrogênio, 7,8% hélio, 0,061% oxigênio, 0,039% carbono e 0,0084% nitrogênio, pode-se concluir que o Sol tem hidrogênio suficiente para alimentar essas reações por bilhões de anos (MORAES, 2002). Outro fator importante para se entender a quantidade de energia fornecida pelo Sol à Terra é a distância entre os dois corpos celestes. Desta forma, sabe-se que essa distância corresponde a cerca de  $1,499 \times 10^8$  km. Conhecendo-se essa distância, tornou-se possível determinar a







luminosidade do Sol, que é a potência produzida por ele. Desta forma, cada metro quadrado na Terra recebe do Sol uma potência aproximada de 1.400 watts, ou 1.400 joules por segundo. Por meio desta potência recebida na Terra, determina-se a luminosidade do Sol em  $4 \times 10^{26}$  watts, ou  $4 \times 10^{33}$  ergs por segundo. Toda essa quantidade de energia corresponde à queima de  $2 \times 10^{20}$  galões de gasolina por minuto, mais de 10 milhões de vezes a produção anual de petróleo na Terra (MORAES, 2002).




O grande interesse na energia solar está nas possibilidades de aproveitamento desta pela humanidade, por meio de conversões energéticas. A energia proveniente da radiação solar que atinge a atmosfera terrestre a cada ano equivale a  $1,52 \times 10^{18}$  kWh e o consumo anual de energia no mundo é de  $1,40 \times 10^{14}$  kWh, em 2010 (COGEN, 2012), ou seja, 0,01% da radiação solar supriria a demanda mundial anual de energia (SANTOS, 2011). Tem-se ainda que uma hora de energia solar incidente sobre a Terra equivale ao consumo energético no mundo durante um ano (COGEN, 2012).



Conforme apresentado por Silva (2014), a maioria das fontes de energia utilizadas pelo Homem provêm da energia fornecida pelo Sol. Tal energia pode, também, ser aproveitada, em sua forma direta, para a geração de energia térmica, potência mecânica e/ou energia elétrica (SILVA, 2014).



Todavia, dentre os vários processos de aproveitamento da energia solar, os mais usados, e conseqüentemente mais desenvolvidos, no contexto atual são o aquecimento de água e a geração de energia elétrica (SILVA, 2014). Existem dois sistemas tecnológicos para produção de energia elétrica por fonte solar: o heliotérmico, que utiliza superfícies refletoras para concentrar radiação solar direta em um receptor, em cujo interior circula um fluido de trabalho que realiza um ciclo termodinâmico para gerar energia elétrica; e o fotovoltaico, cuja transformação da radiação solar em eletricidade, por meio do efeito fotovoltaico, é direta e se dá nas células fotovoltaicas (BRASIL, 2008). Os módulos fotovoltaicos utilizam a radiação solar global para o processo de conversão energética em eletricidade; já os sistemas heliotérmicos utilizam somente a componente direta de radiação solar e produzem calor e energia somente em regiões com altos índices de radiação solar direta (CEMIG, 2012).



O potencial brasileiro de aproveitamento solar, aliado a atual escassez nacional de energia, cuja matriz energética é baseada nas grandes Usinas Hidrelétricas e nas Termoelétricas abastecidas a combustíveis fósseis, serve de grande motivação para que se busquem alternativas energéticas de cunho renovável.

De acordo com o Atlas Solarimétrico de Minas Gerais, elaborado pela Cemig, a identificação dos locais mais promissores para usinas solares fotovoltaicas, deve-se ponderar certas variáveis (CEMIG, 2012). São elas:

- Recurso solar;
- Declividade do terreno;
- Disponibilidade de terrenos de forma não conflituosa;
- Acesso de transporte;
- Acesso de linhas de transmissão.

### 5.1. Potencial de radiação solar em Minas Gerais

Segundo a CEMIG, para sistemas fotovoltaicos planos (sem dispositivos de concentração) o requisito de radiação solar são valores acima de 2.000 kWh/m<sup>2</sup>-ano, ou seja, 5,5 kWh/m<sup>2</sup>-dia (valor médio diário anual), valores esses, um pouco acima do que usualmente se utiliza para a elaboração de estudos de viabilidade de instalação de centrais fotovoltaicas em nível mundial (CEMIG, 2012).

O território mineiro possui várias regiões que apresentam tais requisitos de radiação. Segundo o Atlas Solarimétrico de Minas Gerais, o Estado possui radiação solar global diária média anual entre 4,5 e 6,5 kWh/m<sup>2</sup>-dia (CEMIG, 2012), conforme pode ser observado na Figura 2.



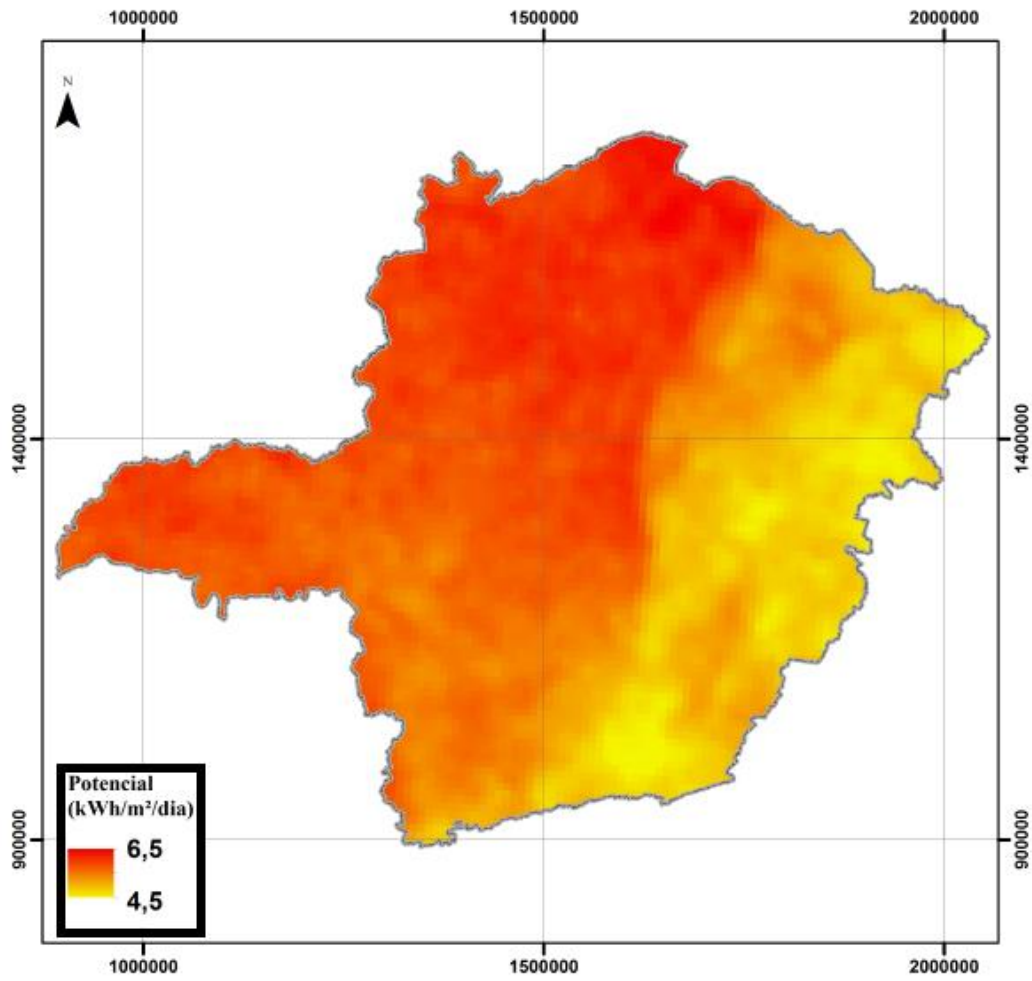


Figura 2: Radiação solar média diária anual em Minas Gerais  
Fonte: (SILVA, 2014).



## 6. METODOLOGIA DE ESCOLHA DE MUNICÍPIOS

Minas Gerais é uma das 27 unidades federativas do Brasil, sendo a quarta maior em extensão territorial, que é de 586.528 km<sup>2</sup>. Localiza-se no Sudeste e limita-se a sul e sudoeste com São Paulo, a oeste com o Mato Grosso do Sul e a noroeste com Goiás, incluindo uma pequena divisa com o Distrito Federal, a leste com o Espírito Santo, a sudeste com o Rio de Janeiro e a norte e nordeste com a Bahia. O estado de Minas Gerais é o segundo mais populoso do Brasil, com uma população estimada de 20,87 milhões de habitantes em 2015, que corresponde a cerca de 10,2% da população brasileira (IBGE, 2016), distribuída em seus 853 municípios (15,5% do total de municípios brasileiros).

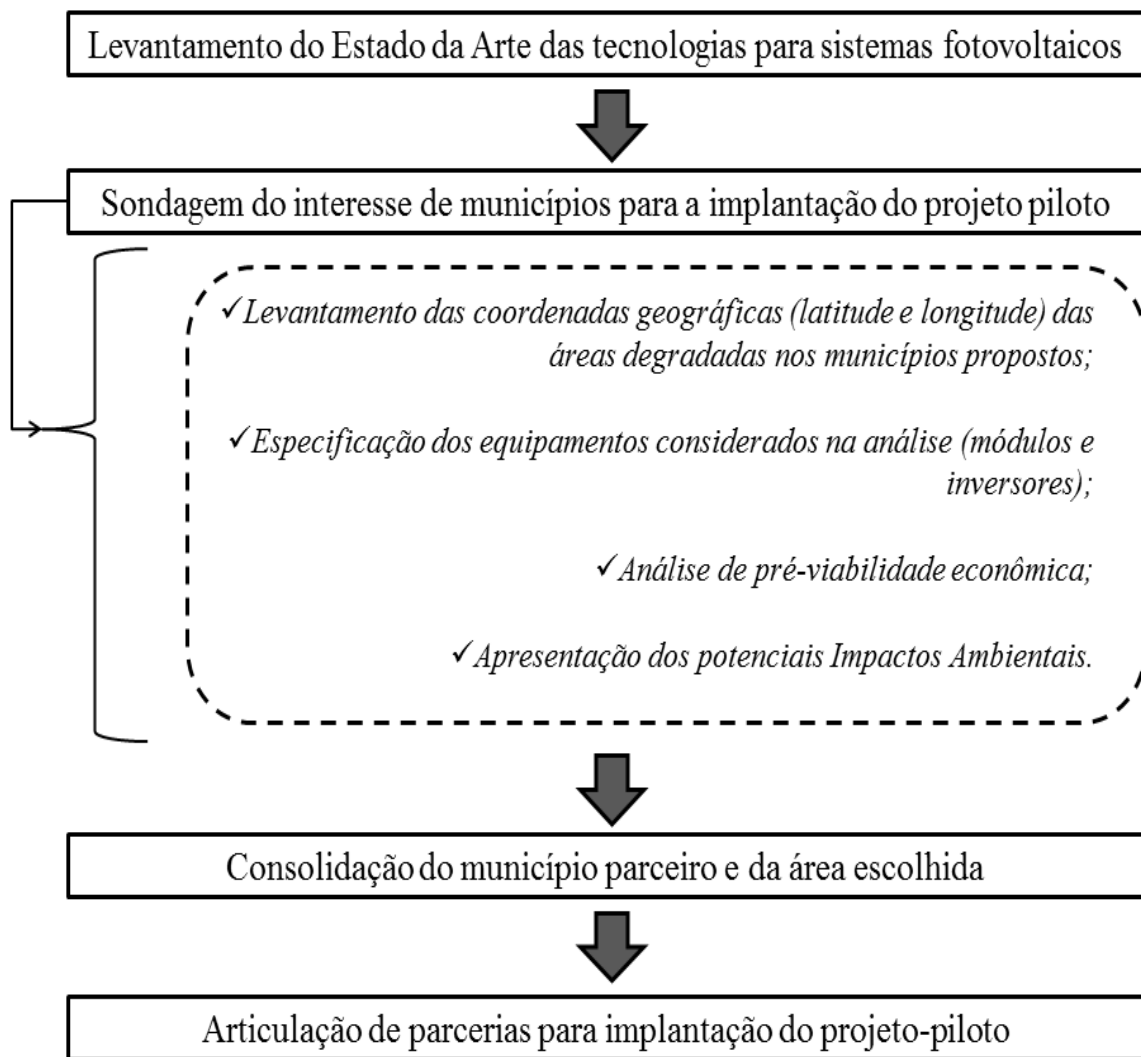
Este estudo pretende analisar a pré-viabilidade da instalação de um projeto piloto de Usina Solar Fotovoltaica em uma área contaminada por disposição final de resíduos sólidos urbanos ou uma área degradada por atividade minerária, em um município mineiro a ser definido.

Busca-se, pois, o interesse de prefeituras municipais dentro dos seguintes requisitos:

- Municípios próximos à capital, em um raio de até 200 km, de modo a facilitar o acompanhamento e fiscalização;
- Localização dentro do quadrilátero ferrífero, ou seja, com áreas utilizadas e degradadas por atividades de mineração;
- Radiação solar direta normal diária média anual maior que 4,0 kWh/m<sup>2</sup>.dia.
- Potencial turístico, no intuito de dar visibilidade ao projeto e projeção à iniciativa, galgando a disseminação desta ideia dentre todos os municípios do Estado.

A Figura 3 demonstra o fluxograma sequencial da metodologia a ser aplicada na fase de consolidação de parcerias para implantação de projeto piloto de usina solar fotovoltaica, com potência instalada entre 0,5 e 1,0 MWp.





**Figura 3: Fluxograma metodológico do projeto**  
*Fonte: Elaborado pelo autor.*

### 6.1. Etapas de realização

Para fins de determinar o escopo deste documento, situa-se a primeira etapa desta metodologia (Levantamento do Estado da Arte das tecnologias para sistemas fotovoltaicos) no “Relatório 1” deste P&D 2. Já o presente relatório consta da segunda etapa da metodologia proposta (Sondagem do interesse de municípios para a implantação do projeto piloto), servindo de subsídio e embasamento para as etapas seguintes.

Com relação à execução da segunda etapa supracitada, o primeiro contato foi realizado via telefone e foi apresentado um resumo do projeto, seus



objetivos e expectativas de produtos. Em primeira instância, todos estes municípios demonstraram interesse no projeto e em colaborar com o mesmo. Assim, agendou-se uma reunião com os secretários municipais de meio ambiente e/ou gabinetes dos prefeitos destes municípios, com exceção do município de São Gonçalo do Rio Abaixo que não realizou o agendamento em tempo hábil. Na primeira reunião, realizada na sede de cada município, estiveram presentes o pesquisador do projeto, representantes da Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento da FEAM e os representantes de governo das prefeituras municipais (prefeitos, vice-prefeitos, secretários, assessores e colaboradores). Em cada reunião foi apresentado o projeto detalhado, sua metodologia, escopo, limites, critérios, os potenciais de aproveitamento solar do município e região, os riscos e os potenciais benefícios ambientais, sociais e econômicos provenientes deste empreendimento. Também foram apresentados os interesses e participação da FEAM e da Semad na concretização do projeto e as contrapartidas dos municípios e possíveis parceiros privados e públicos.

Após o discorrer sobre o projeto às prefeituras foi solicitada a apresentação de potenciais áreas degradadas por atividades minerárias ou contaminadas (aterros sanitários desativados), acompanhadas por suas coordenadas geográficas, para que fossem realizados os estudos energéticos específicos para cada área, investigando os níveis médios de irradiação solar global anual. Nesta etapa, apenas os municípios de Barão de Coais, Congonhas, Itabira e Ouro Branco apresentaram suas propostas de áreas para implantação do empreendimento.

De posse dos dados das áreas fornecidas pelos municípios, foi realizada uma visita técnica de reconhecimento e inspeção das respectivas áreas, cujo objetivo foi averiguar o enquadramento de tais localidades nos quesitos estabelecidos para o projeto em seu escopo.



Tabela 1: Quadro resumo da aplicação da metodologia de projeto.

Município	Foi feito contato com a Prefeitura?	Foi apresentado o projeto?	Houve interesse da Prefeitura?	Foram enviados os dados solicitados à Prefeitura?	Atende aos requisitos do Projeto?
Barão de Cocais	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Congonhas	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Itabira	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Nova Lima	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Ouro Branco	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Sabará	Sim	Sim	Sim	Não	N.A.
São Gonçalo do Rio Abaixo	Sim	Não	Não	Não	N.A.
São João Del Rei	Sim	Sim	Sim	Não	N.A.

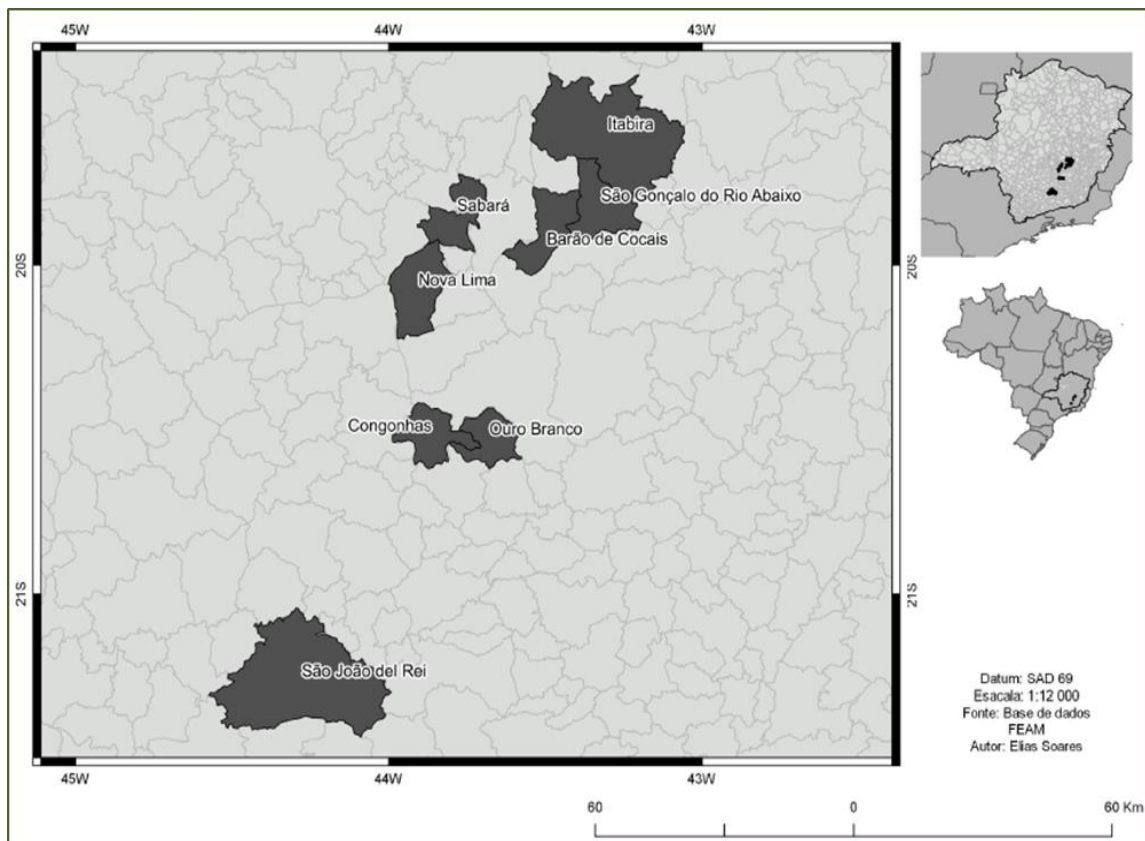
Fonte: Elaboração própria do autor.

Assim, após esta etapa, foi identificada uma possível área em cada um dos quatro municípios.

## 7. MUNICÍPIOS ESTUDADOS

Dentro dos requisitos estabelecidos pelo escopo do projeto, foram contatadas prefeituras dos seguintes municípios:

- Barão de Cocais;
- Congonhas;
- Itabira;
- Nova Lima;
- Ouro Branco;
- Sabará;
- São Gonçalo do Rio Abaixo;
- São João Del Rei.



**Figura 4: Municípios consultados em Minas Gerais**  
*Fonte: Base de dados Feam.*

Dos municípios relacionados, alguns não enviaram propostas de áreas para implantação do projeto piloto. Sendo assim, apenas quatro municípios deram continuidade ao projeto até o ponto de apresentação do estudo técnico prévio.

## 7.1. Caracterização dos municípios

Em concordância com a metodologia de projeto apresentada, foram selecionados e contatos oito municípios mineiros, cujas características de potencial solar foram estudadas, sendo que todos apresentaram parâmetros aceitáveis, até mesmo superiores aos padrões europeus.

Todavia, nem todos os municípios consultados apresentaram áreas potenciais para a implantação do projeto piloto de usina solar fotovoltaica, sendo que apenas quatro deram continuidade dentro dos processos de seleção propostos por este projeto de P&D. Tais municípios estão descritos e caracterizados a seguir.

### 7.1.1. Congonhas

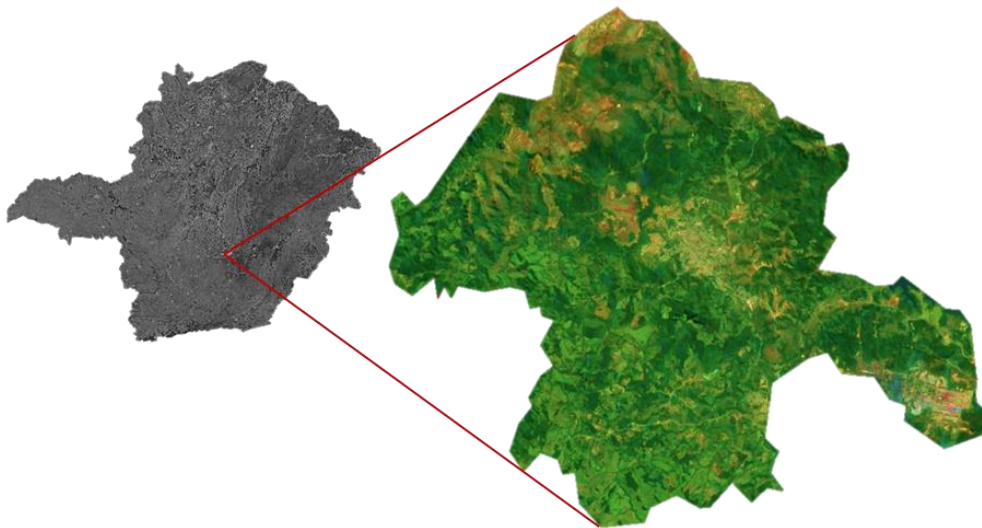
Congonhas teve sua origem em 1757 quando foi fundado o Santuário de Bom Jesus de Matosinhos, por Feliciano Mendes, de Guimarães, nascido em Portugal, de início modesta cruz e oratório; ele era tão pobre que até morrer, em 1765, pedia esmolas. Mais tarde, em 1812 o barão Eschwege instalou no arraial, com a intenção pioneira no país de produzir ferro, sua Fábrica Patriótica, com Varnhagen e o intendente Câmara, sendo tal local situado às margens da rodovia BR 040, nas proximidades da Mina da Fábrica (nome dado em alusão a "Fábrica Patriótica"), hoje pertencente à Vale.

O Distrito foi criado com a denominação de Congonhas do Campo pelo Alvará de 06-11-1746 e pela Lei Estadual nº 2, de 14-09-1891. Pela Lei Estadual nº 336, de 27-12-1948, o município de Congonhas do Campo passou a denominar-se simplesmente Congonhas. Em divisão territorial datada de 1-VII-1960 o município é constituído de 3 distritos: Congonhas, Alto Maranhão e

Lobo Leite. Assim permanecendo em divisão territorial datada de 2014 (IBGE, 2016).

O município de Congonhas pertence à macrorregião Central (ALMG, 2016), mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte e microrregião de Conselheiro Lafaiete (SIDRA, 2016).

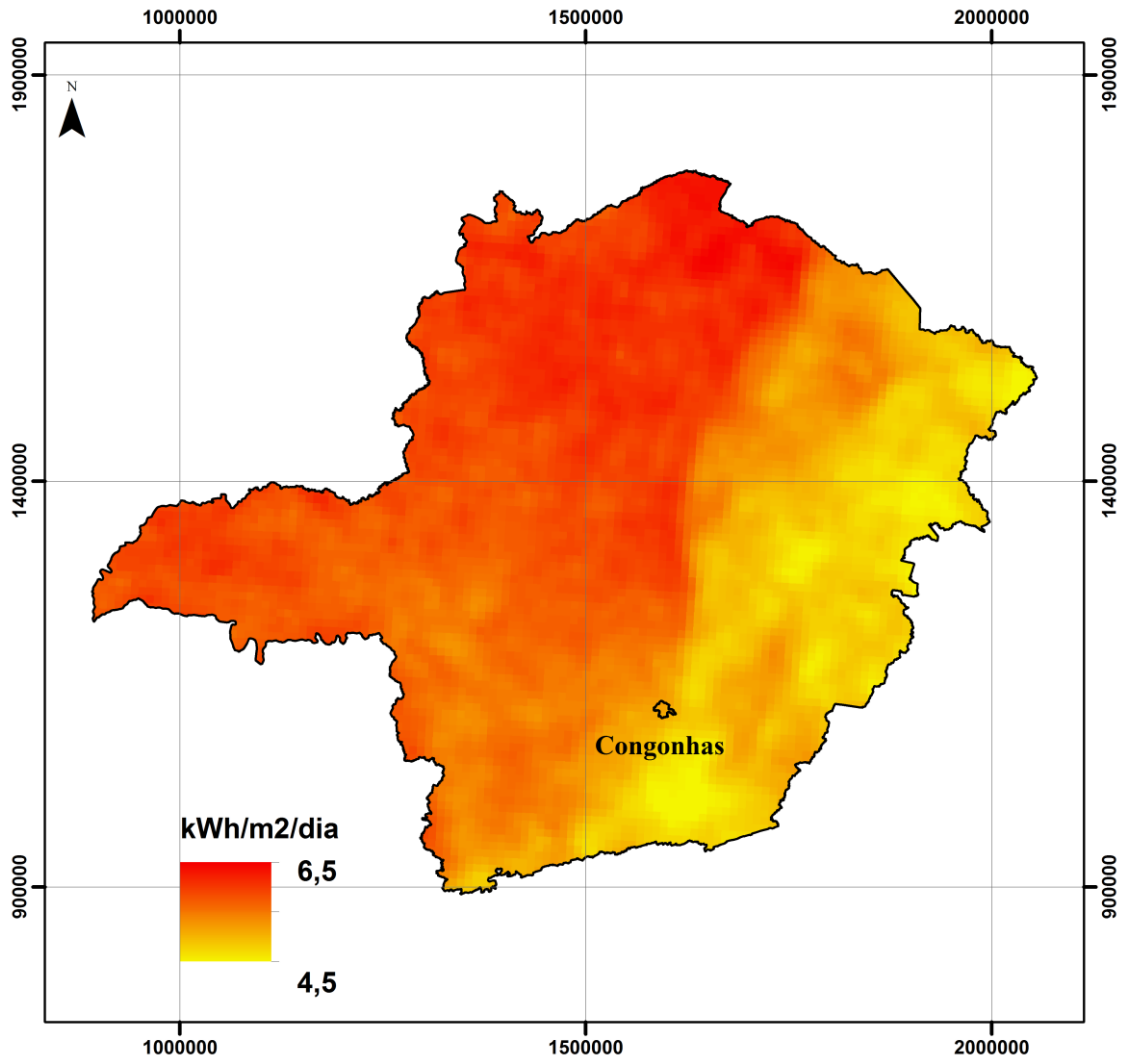
Localiza-se a uma latitude 20°29'59" sul e longitude 43°51'28" oeste, distando 89 km da capital mineira, Belo Horizonte (ALMG, 2016). De acordo com dados do IBGE (2016), sua população estimada é de 53.348 habitantes para o ano de 2016 (IBGE, 2016). Sua área total é de 304,067 km<sup>2</sup> (IBGE, 2016) e faz limites com os municípios de Belo Vale, Ouro Preto, Jeceaba, São Brás do Suaçuí, Conselheiro Lafaiete e Ouro Branco (ALMG, 2016).



**Figura 5: Localização do município de Congonhas dentro de Minas Gerais – Vista aérea**  
*Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do Google Earth (2016).*

Tem grande potencial de irradiação global média anual, conforme pode ser observado no mapa da Figura 6, na Tabela 2 e no Gráfico 1:





**Figura 6: Mapa do potencial de irradiação global diária média anual para Congonhas - Minas Gerais**  
*Fonte: (SILVA, 2014).*

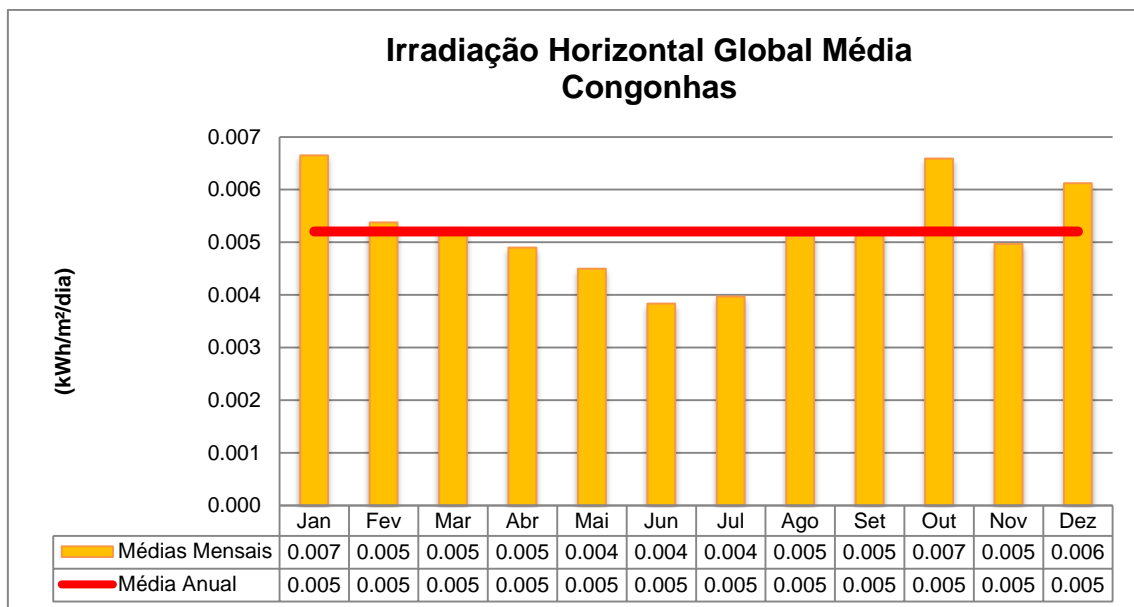
A Tabela 2 e o Gráfico 1 contêm-se informações do banco de dados do instituto SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*) para a área do aterro sanitário do município de Congonhas do Campo, que também comprovam o potencial de geração solar da região.



**Tabela 2: Dados de incidência solar e do ambiente para o aterro de Congonhas**

CONGONHAS	
Irradiação Normal Direta (diária) [kWh/m <sup>2</sup> ]	5,29
Irradiação Global Horizontal (diária) [kWh/m <sup>2</sup> ]	5,18
Irradiação Global no Plano Inclinado conforme Latitude (diária) [kWh/m <sup>2</sup> ]	5,55
Temperatura do Ar a 10 m [°C]	20,70
Temperatura na Superfície da Terra [°C]	21,90
Pressão Atmosférica [kPa]	92,62
Humidade Relativa do Ar (%)	69,27

Fonte: (SWERA, 2016).



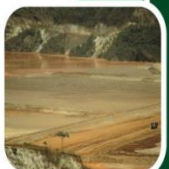
**Gráfico 1: Irradiação Horizontal Global Média para Congonhas**

Fonte: Adaptado de (SWERA, 2016).

Assim, observa-se que os níveis de irradiação solar global média mensal, em Congonhas, ficam na faixa de 3,833 e 6,649 kWh/m<sup>2</sup>/dia, comprovando o bom potencial solar da região.

#### 7.1.1.1. Locais propostos pela prefeitura municipal

A prefeitura municipal de Congonhas do Campo analisou em seu território quais as potenciais áreas para a implantação de um projeto piloto dentro do escopo proposto por este estudo e apresentou a seguinte área:



### Aterro Sanitário

O aterro sanitário está localizado na região rural de Congonhas, em local conhecido como Cangalheiros.



**Figura 7: Vista parcial do aterro de Congonhas**  
*Fonte: Acervo próprio (2015).*



**Figura 8: Resíduos expostos no depósito de lixo de Congonhas**  
*Fonte: Acervo próprio (2015).*

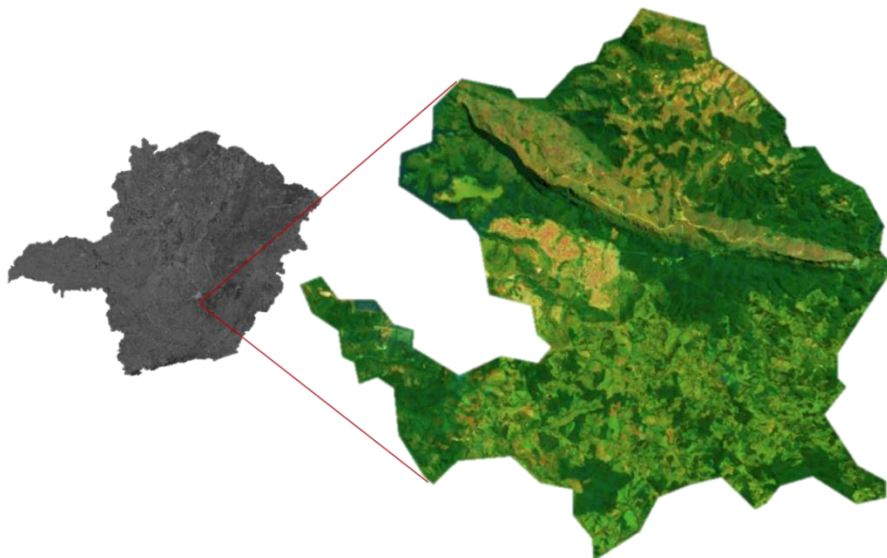
#### 7.1.2. Ouro Branco

Ouro Branco nasceu no caminho do ouro e foi uma de suas fronteiras. A região foi desbravada por ex-integrantes da Bandeira chefiada por Borba Gato, atraídos pela existência de ouro. Consta que em fins do século XVII, aqueles antigos bandeirantes, subindo o rio das Velhas até as suas nascentes, transpuseram os altos da Cachoeira de Itabira do Campo e localizaram-se ao

pé da Serra de Ouro Branco. Miguel Garcia rumou para oeste, descendo um rio da serra. Lá ele encontrou Ouro de cor amarela, ficando assim conhecido como branco, "ouro branco". Nascia o ciclo do ouro no arraial de Santo Antônio de Ouro Branco. O arraial ficava no trajeto da "Estrada Real" e viu de perto o desenrolar de importantes acontecimentos históricos de Minas (IBGE, 2016).

O Distrito, pela Lei Estadual nº 556 de 30 de agosto de 1911, passou a fazer parte do Município de Ouro Preto. A Lei Estadual nº 1.039 de 12 dezembro de 1953 elevou-o a status de Município, desmembrando-se assim de Ouro Preto. Ouro Branco é composto de um único distrito: Ouro Branco (IBGE, 2016).

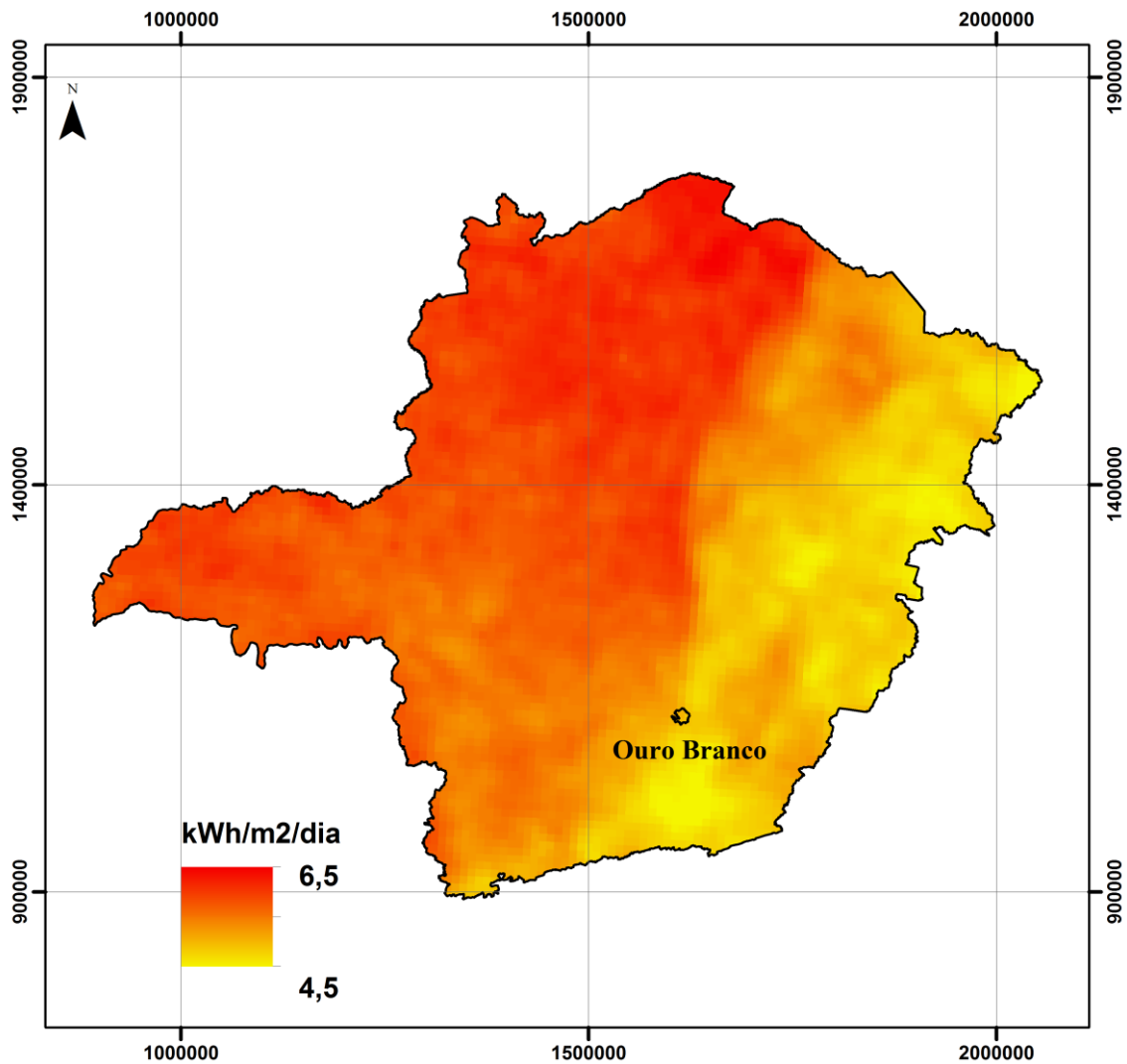
O município de Ouro Branco pertence à macrorregião Central (ALMG, 2016), mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte e microrregião de Conselheiro Lafaiete (SIDRA, 2016). Localiza-se a uma latitude 20°31'15" sul e longitude 43°41'31" oeste, distando 116 km da capital mineira, Belo Horizonte (ALMG, 2016). De acordo com dados do IBGE (2016), sua população estimada é de 38.601 habitantes para o ano de 2016 (IBGE, 2016). Sua área total é de 258,726 km<sup>2</sup> (IBGE, 2016) e faz limites com os municípios de Congonhas, Conselheiro Lafaiete, Itaverava e Ouro Preto (ALMG, 2016).



**Figura 9: Localização do município de Ouro Branco dentro de Minas Gerais – Vista aérea**  
*Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do Google Earth (2016).*



O município apresenta grande potencial de irradiação global média anual, conforme pode ser observado no mapa da Figura 10, na Tabela 3 e no Gráfico 2:



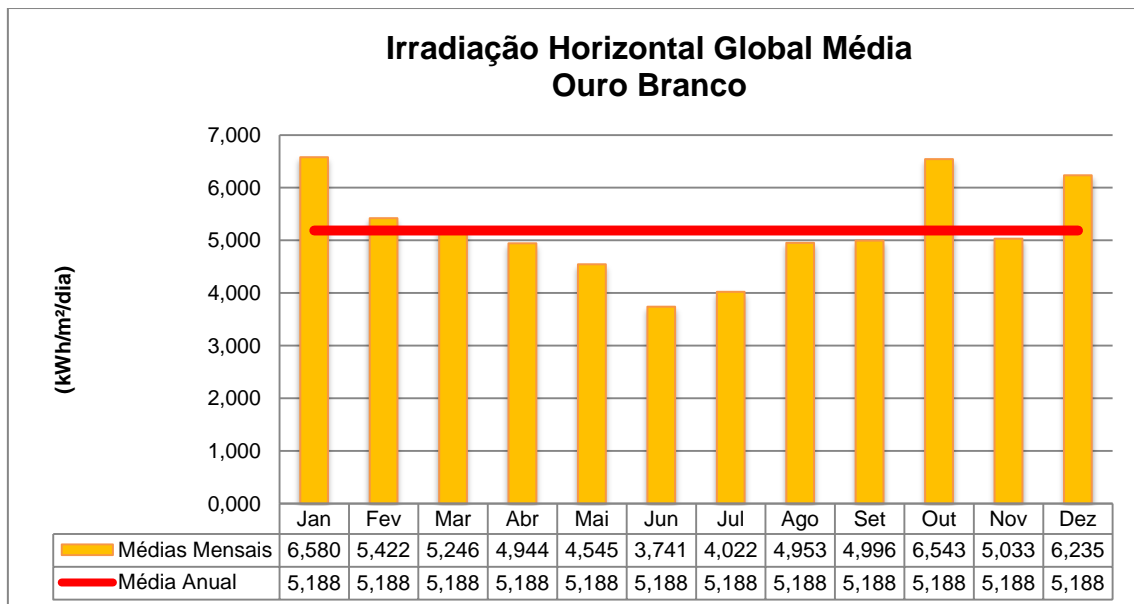
**Figura 10: Mapa do potencial de irradiação global diária média anual para Ouro Branco - Minas Gerais**  
*Fonte: (SILVA, 2014).*

A Tabela 3 e o Gráfico 2 contêm-se informações do banco de dados do instituto SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*) para a área do aterro sanitário do município de Congonhas do Campo, que também comprovam o potencial de geração solar da região.

**Tabela 3: Dados de incidência solar e do ambiente para o aterro de Ouro Branco**

OURO BRANCO	
Irradiação Normal Direta (diária) [kWh/m <sup>2</sup> ]	5,16
Irradiação Global Horizontal (diária) [kWh/m <sup>2</sup> ]	5,11
Irradiação Global no Plano Inclinado conforme Latitude (diária) [kWh/m <sup>2</sup> ]	5,47
Temperatura do Ar a 10 m [°C]	20,70
Temperatura na Superfície da Terra [°C]	21,90
Pressão Atmosférica [kPa]	92,62
Humidade Relativa do Ar (%)	69,27

Fonte: (SWERA, 2016).



**Gráfico 2: Irradiação Horizontal Global Média para Ouro Branco**

Fonte: Adaptado de (SWERA, 2016).

Assim, observa-se que os níveis de irradiação solar global média mensal, em Itabira, ficam na faixa de 3,741 e 6,580 kWh/m<sup>2</sup>/dia, comprovando o bom potencial solar da região.

#### 7.1.2.1. Locais propostos pela prefeitura municipal

A prefeitura municipal de Ouro Branco analisou em seu território quais as potenciais áreas para a implantação de um projeto piloto dentro do escopo proposto por este estudo e apresentou a seguinte área:



### Aterro Sanitário

O aterro sanitário está localizado na região rural de Ouro Branco.

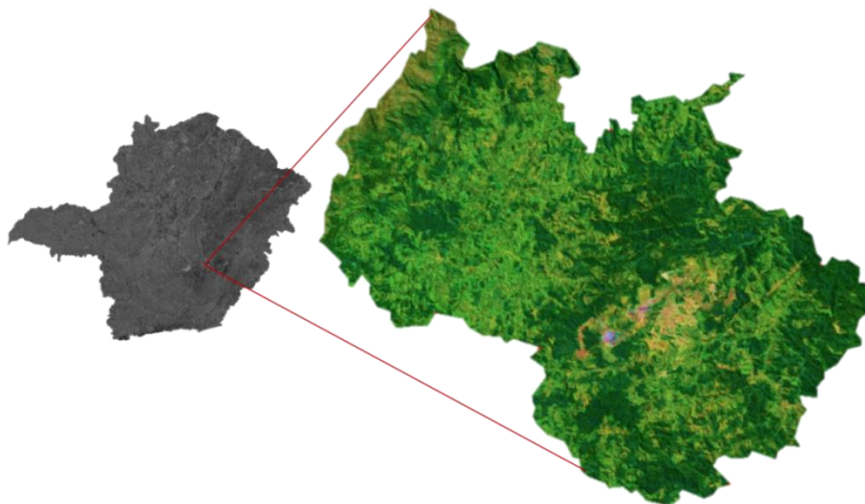


**Figura 11: Vista parcial do aterro de Ouro Branco**  
*Fonte: Acervo próprio (2015).*

#### 7.1.3. Itabira

A tradição local dá o ano de 1720 como ponto de partida da história de Itabira, iniciando-se com a aventura de dois mineradores que, encontrando-se no Itambé, e divisando ao longe a característica silhueta do pico mais tarde batizado de “cane” ( em que em língua africana, significa “irmãos”), para lá se dirigiram, encontrando ouro nos ribeiros que desciam das encostas. Os dois mineradores irmãos, Francisco e Salvador Faria de Albanaz, que eram paulistas e descendentes de bandeirantes - os Camargos - voltaram ao ponto de origem em busca de escravos, apetrechos e víveres, retornando ao Caué; não se sabe, ao certo, por quanto tempo desfrutaram sós as minas descobertas, mas a fama correu célebre e não faltaram concorrentes, adquirindo direitos aos primeiros desbravadores, que vieram se fixar nas redondezas. No fim do século XVIII, o povoado tomara consistência, unificando-se mais ou menos para os lados do Córrego da Penha, já tendo início os arruamentos de “Sant’Ana”, do “Rosário” e dos “Padres”. Em 1827, o povoado recebeu a categoria de “arraial”, pertencente à vila Nova da Rainha (hoje, Caeté), e, na mesma época, elevava-se à freguesia (IBGE, 2016). Em sua formação administrativa, o Distrito foi criado, com a denominação de Itabira de Mato Dentro, pelo Alvará de 25-01-1827, e pela Lei Estadual nº 2, de 14-09-1891, sendo subordinado ao município de Caeté. Foi elevado à categoria de vila, com a denominação Itabira de Mato Dentro, pela Resolução de 30-06-

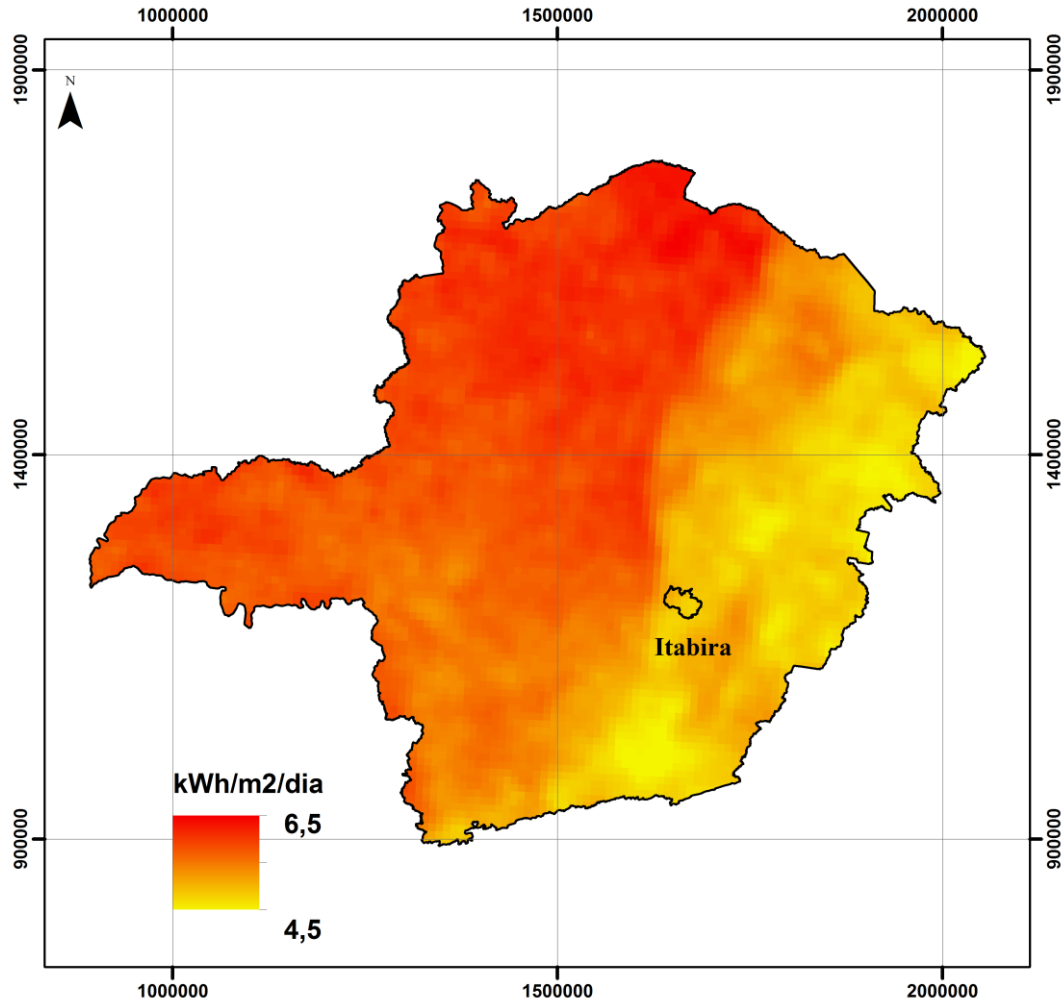
1833, sendo desmembrado de Caeté. Tendo sede na antiga povoação de Itabira de Mato Dentro e constituído do distrito sede, instalado em 07-10-1833. Em 1848 foi elevado à condição de cidade, com a denominação de Itabira, pela Lei Provincial nº 374, de 09-10-1848. Pela Lei Estadual nº 1.058, de 31-12-1943, o município de Itabira passou a denominar-se Presidente Vargas. Contudo, pelo Decreto n.º 2.430, de 05-03-1947, o município de Presidente Vargas voltou a denominar-se Itabira. Em divisão territorial datada de 1-VII-1960 o município é constituído de 3 distritos: Itabira, Ipoema e Senhora do Carmo. Assim permanecendo em divisão territorial datada de 2014 (IBGE, 2016). O município de Itabira pertence à macrorregião Central (ALMG, 2016), mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte e microrregião de Itabira (SIDRA, 2016). Localiza-se a uma latitude 19°37'08" sul e longitude 43°13'37" oeste, distando 111 km da capital mineira, Belo Horizonte (ALMG, 2016). De acordo com dados do IBGE (2016), sua população estimada é de 118.481 habitantes para o ano de 2016 (IBGE, 2016). Sua área total é de 1.253,704 km<sup>2</sup> (IBGE, 2016) e faz limites com os municípios de Bom Jesus do Amparo, Santa Maria de Itabira, Itambé do Mato Dentro, Nova União, Bela Vista de Minas, João Monlevade, São Gonçalo do Rio Abaixo, Nova Era, Jaboticatubas e Jacutinga (ALMG, 2016).



**Figura 12: Localização do município de Itabira dentro de Minas Gerais – Vista aérea**  
*Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do Google Earth (2016).*



Tem grande potencial de irradiação global média anual, conforme pode ser observado no mapa da Figura 13, na Tabela 4 e no Gráfico 3:



**Figura 13: Mapa do potencial de irradiação global diária média anual para Itabira - Minas Gerais**

Fonte: (SILVA, 2014).

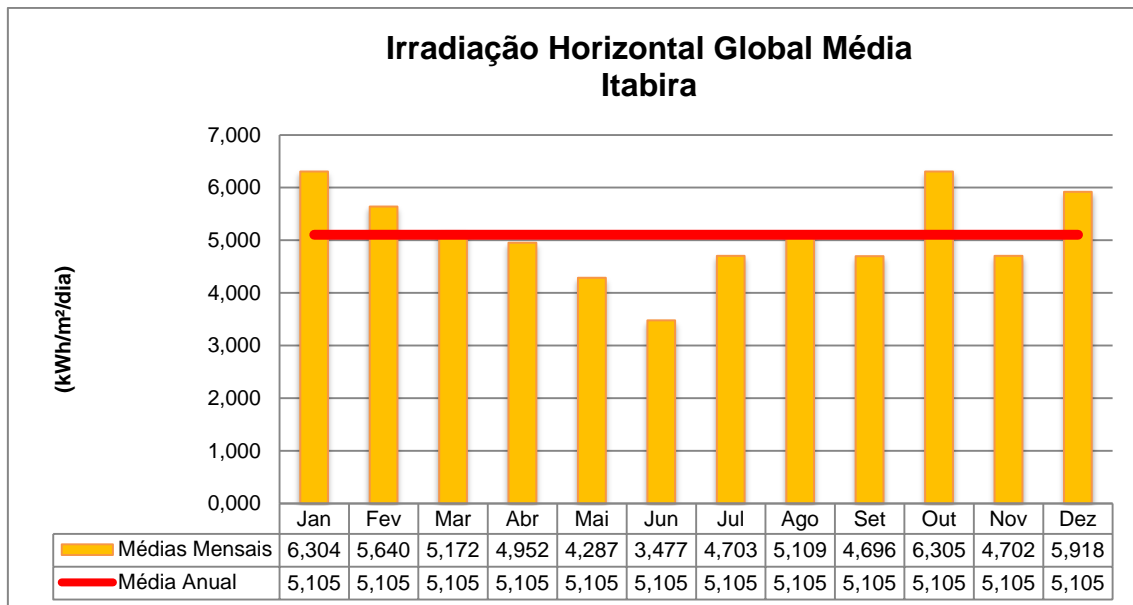
A Tabela 4 e o Gráfico 3 contêm-se informações do banco de dados do instituto SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*) para a área do aterro sanitário do município de Congonhas do Campo, que também comprovam o potencial de geração solar da região.



**Tabela 4: Dados de incidência solar e do ambiente para o aterro de Itabira**

ITABIRA	
Irradiação Normal Direta (diária) [kWh/m <sup>2</sup> ]	4,75
Irradiação Global Horizontal (diária) [kWh/m <sup>2</sup> ]	5,00
Irradiação Global no Plano Inclinado conforme Latitude (diária) [kWh/m <sup>2</sup> ]	5,32
Temperatura do Ar a 10 m [°C]	21,40
Temperatura na Superfície da Terra [°C]	22,80
Pressão Atmosférica [kPa]	92,76
Humidade Relativa do Ar (%)	66,06

Fonte: (SWERA, 2016).



**Gráfico 3: Irradiação Horizontal Global Média para Itabira**

Fonte: Adaptado de (SWERA, 2016).

Assim, observa-se que os níveis de irradiação solar global média mensal, em Itabira, ficam na faixa de 3,477 e 6,304 kWh/m<sup>2</sup>/dia, comprovando o bom potencial solar da região.

#### 7.1.3.1. Locais propostos pela prefeitura municipal

A prefeitura municipal de Itabira analisou em seu território quais as potenciais áreas para a implantação de um projeto piloto dentro do escopo proposto por este estudo. Foram mais de trinta áreas apresentadas, contudo, a maioria se tratava de áreas degradadas por erosão ou pasto, sendo que apenas duas áreas de mineração se enquadram nos requisitos do projeto:



### **Pedreira:**

A pedreira desativada localiza-se na área urbana, na periferia da cidade, em uma região de ocupação e favelização, sendo muito próxima à comunidade.



**Figura 14: Vista da antiga pedreira de Itabira**  
*Fonte: Acervo próprio (2015).*

### **Mineração VALE:**

A área de mineração pertence à VALE, e está em processo de descomissionamento, segundo informações da prefeitura.



**Figura 15: Vista da mina da VALE em Itabira**  
*Fonte: Acervo próprio (2015).*

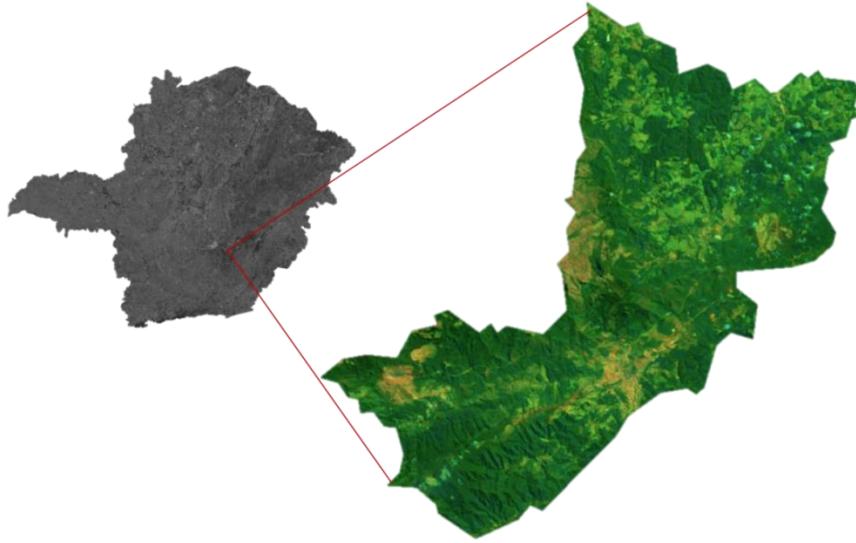


#### 7.1.4. Barão De Cocais

Em 1713, bandeirantes portugueses e brasileiros, deslocando-se do povoado do "Socorro", desceram o rio percorrendo aproximadamente dez quilômetros acampando no lugar a deram o nome de Macacos. Construíram suas cabanas e uma pobre capela de madeira, sob a invocação de São João Batista. Com os correr dos tempos surgiram outros nomes, todos dados pelos Bandeirantes (Macacos, São João Batista do Morro Grande, Itambé, São João Batista do Presídio e São João da Pedra). Seguiu a marcha progressiva dos pequenos Distritos quando, em 1925, a Cia Brasileira de Usinas Metalúrgicas montou no local uma usina filial de ferro-gusa, alcançando a partir daí grande desenvolvimento. O topônimo foi escolhido numa homenagem ao filho da terra, Barão de Cocais, que proporcionava meios de vida a centenas de trabalhadores da localidade (IBGE, 2016). Em sua formação administrativa, o Distrito foi criado com a denominação de Morro Grande, pelo alvará de 28-01-1752, e por lei estadual nº 2, de 14-09-1891, subordinado ao município de Santa Bárbara. Em divisão administrativa referente ao ano de 1911, o distrito de Morro Grande, figura no município de Santa Bárbara, assim permanecendo em divisão administrativa referente ao ano de 1933. Foi elevado à categoria de município com a denominação de Barão de Cocais, pela lei estadual nº 1058, de 31-12-1943, desmembrado de Santa Bárbara, com sede no antigo distrito de Barão de Cocais ex-Morro Grande. Em divisão territorial datada de 1-VII-1960, o município é constituído de 2 distritos: Barão de Cocais e Cocais, assim permanecendo em divisão territorial datada de 2007 (IBGE, 2016).

O município de Barão de Cocais pertence à macrorregião Central (ALMG, 2016), mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte e microrregião de Itabira (SIDRA, 2016). Localiza-se a uma latitude 19°56'45" sul e longitude 43°29'13" oeste, distando 93 km da capital mineira, Belo Horizonte (ALMG, 2016). De acordo com dados do IBGE (2016), sua população estimada é de 31.628 habitantes para o ano de 2016 (IBGE, 2016). Sua área total é de 340,585 km<sup>2</sup> (IBGE, 2016) e faz limites com os municípios de Bom Jesus do Amparo, Caeté, Santa Bárbara e São Gonçalo do Rio Abaixo (ALMG, 2016).

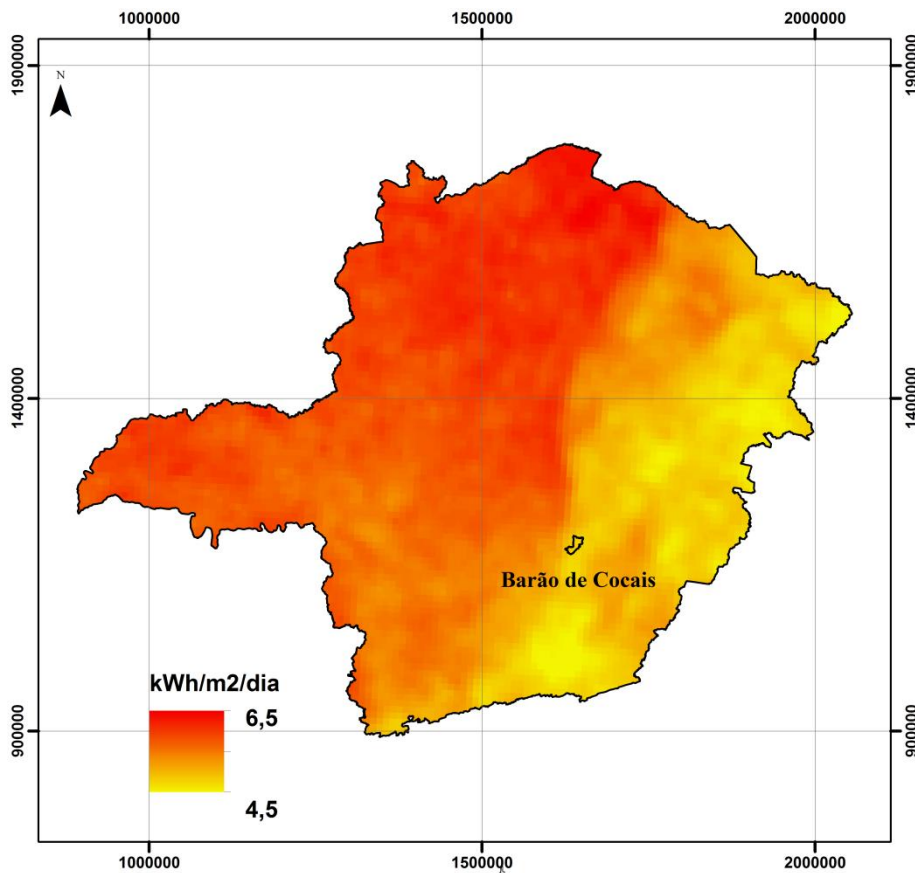




**Figura 16: Localização do município de Barão de Cocais dentro de Minas Gerais – Vista aérea**

*Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do Google Earth (2016).*

O município apresenta grande potencial de irradiação global média anual, conforme pode ser observado no mapa da Figura 17, na Tabela 5 e no Gráfico 4:



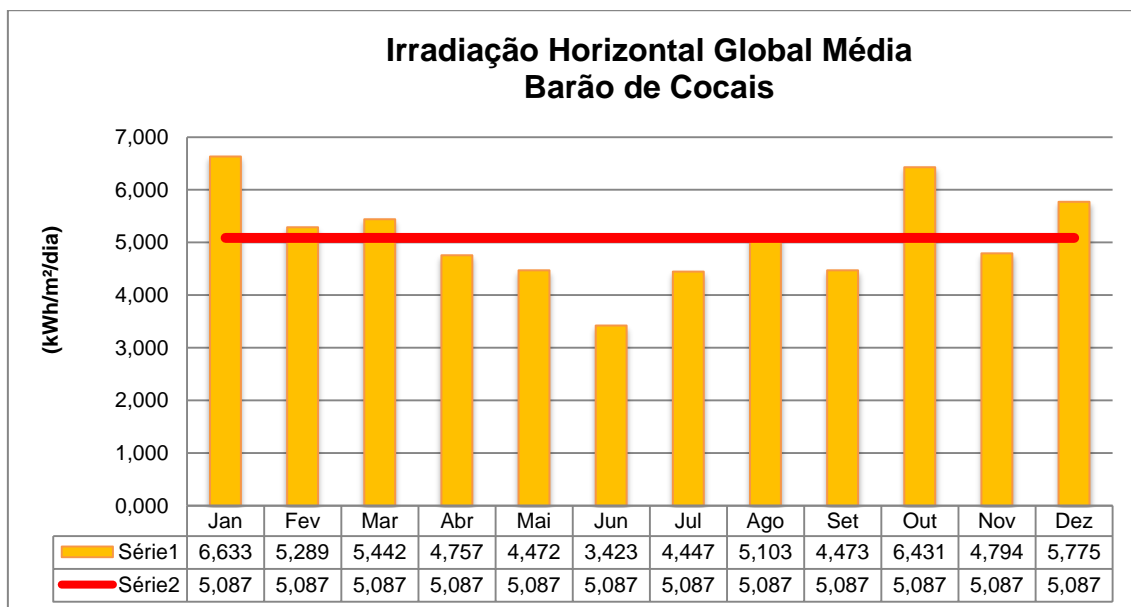
**Figura 17: Mapa do potencial de irradiação global diária média anual para Barão de Cocais - Minas Gerais**  
 Fonte: (SILVA, 2014).

A Tabela 5 e o Gráfico 4 contêm-se informações do banco de dados do instituto SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*) para a área do aterro sanitário do município de Congonhas do Campo, que também comprovam o potencial de geração solar da região.

**Tabela 5: Dados de incidência solar e do ambiente para o aterro de Barão de Cocais**

BARÃO DE COCAIS	
Irradiação Normal Direta (diária) [kWh/m <sup>2</sup> ]	4,85
Irradiação Global Horizontal (diária) [kWh/m <sup>2</sup> ]	5,00
Irradiação Global no Plano Inclinado conforme Latitude (diária) [kWh/m <sup>2</sup> ]	5,35
Temperatura do Ar a 10 m [°C]	21,40
Temperatura na Superfície da Terra [°C]	22,80
Pressão Atmosférica [kPa]	92,76
Humidade Relativa do Ar (%)	66,06

Fonte: (SWERA, 2016).



**Gráfico 4: Irradiação Horizontal Global Média para Barão de Cocais**  
 Fonte: Adaptado de (SWERA, 2016).



Assim, observa-se que os níveis de irradiação solar global média mensal, em Barão de Cocais, ficam na faixa de 3,423 e 6,633 kWh/m<sup>2</sup>/dia, comprovando o bom potencial solar da região.

#### 7.1.4.1. Locais propostos pela prefeitura municipal

A prefeitura municipal de Barão de Cocais analisou em seu território quais as potenciais áreas para a implantação de um projeto piloto dentro do escopo proposto por este estudo. Foi apresentada uma área de mineração, em processo de fechamento, que se enquadra nos requisitos do projeto:

##### **Área de mineração:**

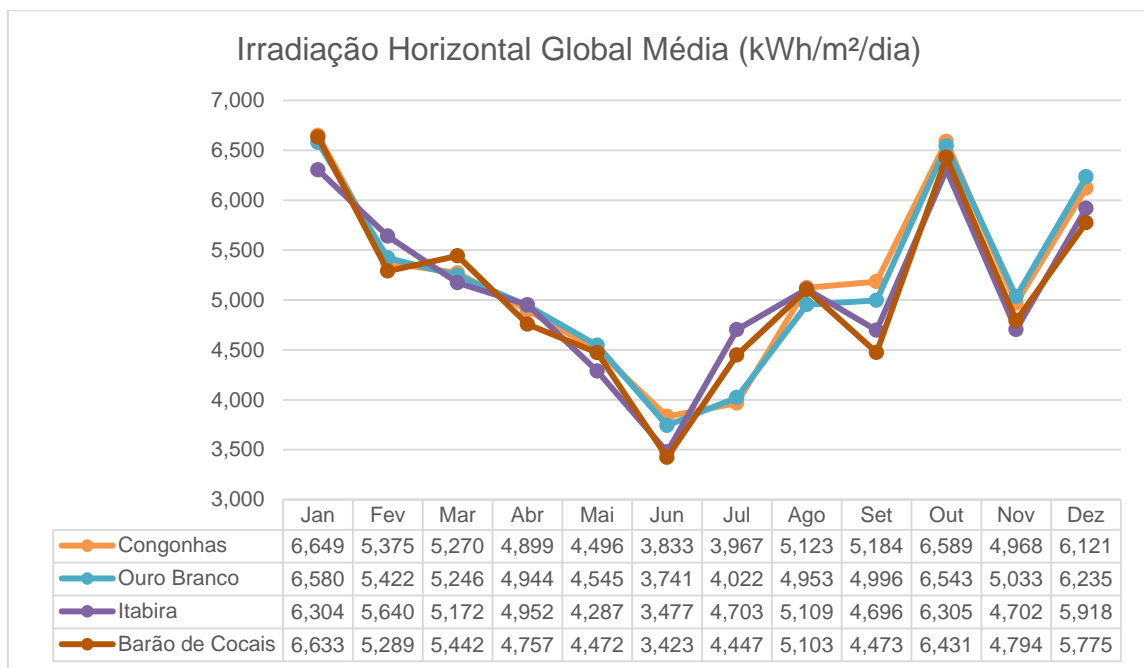
A área está no perímetro rural do município de Barão de Cocais, sendo ladeada pela linha de trem Vitória-Minas. As atividades de mineração já foram encerradas e algumas áreas já estão estabilizadas.



**Figura 18: Vista da mina em Barão de Cocais**  
*Fonte: Acervo próprio (2015).*

## 8. ANÁLISE COMPARATIVA DOS ESTUDOS DE CASO

Dos municípios consultados e visitados que apresentaram áreas possíveis para a implantação da planta piloto de usina solar fotovoltaica, obteve-se os resultados técnicos de irradiação horizontal global média apresentados no gráfico da Figura 19.



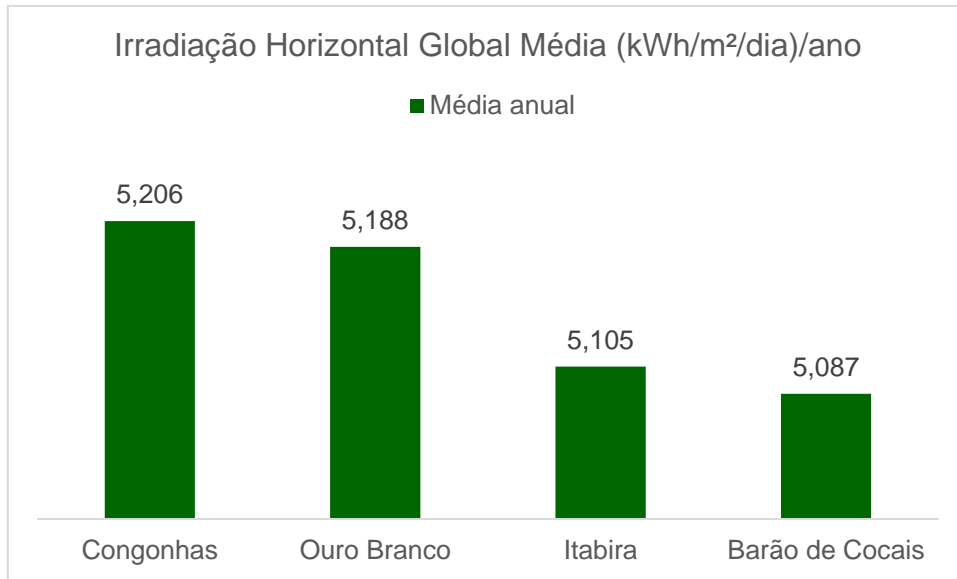
**Figura 19: Gráfico comparativo da irradiação horizontal global média entre os quatro municípios do estudo.**

*Fonte: Adaptado de (SWERA, 2016)*

Observa-se que a curva de irradiação horizontal global média é bem semelhante para os quatro municípios. Isso se dá devido à proximidade entre os mesmos, uma vez que, conforme os requisitos de projeto, tendo-se Belo Horizonte como ponto central, a distância máxima entre dois municípios é de 400 km em linha reta, ocorrendo pouca variação na latitude e na longitude (parâmetros para a realização dos estudos técnicos).

Da mesma forma, ao analisar-se a média anual, observa-se pouca variação entre os municípios. Contudo, em uma classificação da variação sensível entre os dados, pode-se citar, da maior irradiação média anual para a menor, os municípios de Congonhas, Ouro Branco, Itabira e Barão de Cocais (Figura 20).





**Figura 20: Gráfico comparativo da irradiação horizontal global média anual entre os quatro municípios do estudo.**

*Fonte: Adaptado de (SWERA, 2016)*

A definição, pois, do município de área a receber o projeto piloto, fica a critério dos tomadores de decisão em nível estadual, que, de posse de todas as informações acima, e de outras correlatas contidas em todo o material produzido por este projeto de P&D, poderão nortear as estratégias para a possível implantação desta proposta.





## 9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Todas as informações deste relatório servem de auxílio à tomada de decisão quanto ao município a ser escolhido para sediar a implantação do projeto piloto de usina fotovoltaica em consórcio com a reabilitação de área degradada.

Deve-se pensar, ainda, nos impactos sociais que tal empreendimento pode trazer à sociedade e comunidades locais, com foco principal na promoção da conscientização da população por meio de processos de educação ambiental.

Espera-se que fique claro, que este projeto não tem a pretensão de restringir-se aos municípios estudados, mas, pelo contrário, visa ampliar a visão para que todos os municípios do estado de Minas Gerais possam considerar suas opções energéticas para um planejamento estratégico de atendimento às demandas de energia que tenha um caráter mais descentralizado.







## 10. BIBLIOGRAFIA

- [ABNT], A. B. d. N. T., 1997. *NBR 13.896: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação*. Rio de Janeiro: ABNT.
- [FEAM], F. E. d. M. A., 2010. *Reabilitação de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos*. Belo Horizonte: FEAM.
- ALMG, A. L. d. M. G., 2016. *Municípios de Minas Gerais*. Belo Horizonte: ALMG.
- ANEEL, A. N. d. E. E., 2015. *Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015*. Brasília: ANEEL.
- BITAR, O. Y., 1997. *Avaliação da Recuperação de Áreas Degradadas por Mineração na Região Metropolitana de São Paulo. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia de Minas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo*. São Paulo: USP.
- BITAR, O. Y. & BRAGA, T. d. O., 1995. *O meio físico na recuperação de áreas degradadas - Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) & Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).
- BRASIL, A. N. d. E. E., 2008. *Atlas de energia elétrica do Brasil*. 3ª ed. Brasília: ANEEL.
- BRASIL, P. d. R., 1989. *Decreto Nº 97.632 de 10 de abril de 1989*. Brasília: Casa Civil.
- CEMIG, C. E. d. M. G., 2012. *Atlas Solarimétrico de Minas Gerais*. Belo Horizonte: CEMIG.
- COGEN, A. d. I. d. C. d. E., 2012. *GT COGEN Solar - Inserção da Energia Solar no Brasil*, São Paulo: COGEN/PSR.
- HINRICHS, R. A. & KLEINBACH, M., 2011. *Energia e Meio Ambiente*. 4ª ed. São Paulo: CENGAGE LEARNING.
- IBGE, I. B. d. G. e. E., 2016. *Cidade@ - Minas Gerais*. Brasília: IBGE.
- IBGE, I. B. D. G. E. E., 2016. *Nível geográfico - População residente*. [Online] Available at:  
<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?no=2&op=1&vcodigo=PD335&t=populacao-residente>  
[Acesso em 05 julho 2016].
- INEE, I. N. D. E. E., 2001. *Notas sobre geração Distribuída.. s.l.:INEE*.
- LEITE, A. C., 2007. *Hans Albrecht Bethe - Fusão nuclear*, Itajubá: UNIFEI.





MORAES, M. B. d. S. A., 2002. *A Energia do Sol*. [Online]  
Available at: [http://www.if.ufrgs.br/mpéf/mef008/mef008\\_02/Beatriz/](http://www.if.ufrgs.br/mpéf/mef008/mef008_02/Beatriz/)  
[Acesso em 18 maio 2015].

NEVES, E. & TOSTES, A., 1992. *Meio Ambiente: Aplicando a Lei*. Petrópolis: Ed. Vozes.

OLADE, O. L. D. E., 2011. *Curso de la Generación Distribuida*. s.l.:SABA System.

ONUDI, O. d. E. R. p. a. A. I. e. C., 2014. *Energia Solar Fotovoltaica*. s.l.:Programa de Capacitação em Energias Renováveis.

SABESP, C. d. S. B. d. E. d. S. P., 2003. *Guia de Recuperação de Áreas Degradadas*. São Paulo: SABESP.

SANTOS, F. F. d., 2011. *Utilização de Energia Fotovoltaica para a eficiência energética de uma moradia*, Porto: FEUP.

SÃO PAULO, S. d. M. A., 2005. *Teoria e Prática em Recuperação de Áreas Degradadas: Plantando a semente de um mundo melhor*. São Paulo: FEHIDRO.

SIDRA, S. I. d. R. A., 2016. *Unidades Territoriais do Nível Município - Minas Gerais*. Brasília: IBGE.

SILVA, L. M. L. d., 2014. *Análise multicritério espacial aplicada à prospecção de fontes renováveis de Energia*, Belo Horizonte: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

SOLAR, P., 2016. *PORTAL SOLAR*. [Online]  
Available at: <http://www.portalsolar.com.br/usina-solar.html>  
[Acesso em 28 novembro 2016].

SWERA, S. a. W. E. R. A., 2016. *SWERA (beta release)*. [Online]  
Available at:  
<https://maps.nrel.gov/swera/#/?aL=z0JMes%255Bv%255D%3Dt&bL=groad&cE=0&IR=0&mC=-19.145168196205297%2C-42.1875&zL=7>  
[Acesso em 25 junho 2016].

WILSON, R. & YOUNG, A., 1996. Embodied energy payback period of photovoltaic installations applied to buildings in the UK. *Building and Environment*, pp. 299-305.



Fotos: Evandro Rodney / br.freepik.com

**feam**  
FUNDAÇÃO ESTADUAL  
DO MEIO AMBIENTE

 **MINAS  
GERAIS**  
GOVERNO DE TODOS



**P&D/feam**