

Metodologia de mapeamento da área potencial de telhados de edificações residenciais no Brasil para fins de aproveitamento energético fotovoltaico

Elaborado por:

TerraGIS | Consultoria
Geoprocessamento

Wolfram Johannes Lange

Para:
**Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH**

Dezembro 2012

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



Metodologia de mapeamento da área potencial de telhados de edificações residenciais no Brasil para fins de aproveitamento energético fotovoltaico

Elaborado por: TerraGIS Consultoria, Geoprocessamento e Geografia Aplicada Ltda.

Autores: Wolfram Johannes Lange

Para: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Programa: PROFREE

No do Programa: 07.2189.4-001.00

Equipe: Gustavo Naciff de Andrade (EPE)
Johannes Kissel (GIZ)
Luciano Bastos (EPE)
Luiz Gustavo Silva de Oliveira (EPE)
Renata de Azevedo Moreira da Silva (EPE)
Sérgio Cunha (EPE)
Tháise Kemer (GIZ)
Victor Bustani Valente (GIZ)

Novembro 2012

Informações Legais

1. Todas as indicações, dados e resultados deste estudo foram compilados e cuidadosamente revisados pelo(s) autor(es). No entanto, erros com relação ao conteúdo não podem ser evitados. Conseqüentemente, nem a GIZ ou o(s) autor(es) podem ser responsabilizados por qualquer reivindicação, perda ou prejuízo direto ou indireto resultante do uso ou confiança depositada sobre as informações contidas neste estudo, ou direta ou indiretamente resultante dos erros, imprecisões ou omissões de informações neste estudo.
2. A duplicação ou reprodução de todo ou partes do estudo (incluindo a transferência de dados para sistemas de armazenamento de mídia) e distribuição para fins não comerciais é permitida, desde que a GIZ seja citada como fonte da informação. Para outros usos comerciais, incluindo duplicação, reprodução ou distribuição de todo ou partes deste estudo, é necessário o consentimento escrito da GIZ.

Sumário

1. Introdução	1
2. Metodologias existentes e estudos de caso	1
2.1. Escala local – Modelagem de edificações em 3D	3
2.2. Escala regional – Estimativa por tipologia urbana.....	4
2.3. Escala nacional – Estimativa por censos e estatísticas.....	5
3. Metodologia aplicada	6
3.1. Dados	7
3.1.1. Irradiação solar	7
3.1.2. Dados sobre domicílios.....	8
3.1.3. Outros dados	10
3.2. Metodologia detalhada	10
4. Resultados	14
4.1. Escala Nacional.....	14
4.2. Potencial fotovoltaico na cidade do Rio de Janeiro	25
4.3. Restrições	27
5. Conclusão	27
5.1. Recomendações para o aprimoramento do levantamento.....	28
6. Fontes	29
6.1. Literatura.....	29
6.2. Dados	31

1. Introdução

A utilização da energia solar para fins energéticos apresenta-se como uma tendência crescente na matriz energética nacional. Nesse contexto, o Brasil, cujo território é amplamente favorecido com elevados índices de irradiação solar, necessita de metodologias eficientes que o permitam explorar plenamente seu potencial de geração de energia elétrica e térmica.

Nesse sentido, o objetivo do presente estudo é a elaboração de metodologia de estimativa e mapeamento no âmbito nacional da área potencial de telhados de residências para fins de geração de eletricidade e calor mediante a utilização de painéis e coletores solares.

Nesse contexto, a metodologia apresentada considera as particularidades do ambiente nacional, dentre eles: (i) dados de irradiação solar no país, (ii) a área de telhados existentes, (iii) fatores que podem afetar o uso dos espaços, tais como: áreas sombreadas, edifícios em que tais instalações não sejam possíveis (igrejas e patrimônios culturais).

Os valores de potencial são gerados e disponibilizados nas escalas municipal e estadual e mantêm coerência com os dados mais atualizados disponíveis em bases estatísticas nacionais, tais como o censo demográfico entre outras bases nacionais relevantes para o tema e literatura referente.

2. Metodologias existentes e estudos de caso

A metodologia do levantamento do potencial de energia solar gerada em telhados depende da escala geográfica em que o estudo está feito. Três grupos de escalas foram identificados: nível local, regional e nacional. O levantamento em cada escala depende altamente da disponibilidade de dados de boa qualidade. Antes da apresentação de metodologias e estudos de caso para cada escala alguns pontos gerais sobre os dois fatores básicos e necessários são colocados.

Irradiação solar

De forma geral, energia solar total incidente sobre a superfície terrestre depende de vários fatores. A radiação extraterrestre disponível varia em relação à posição do sol, ou seja, da latitude, da hora do dia e do dia do ano, devido à inclinação do eixo de rotação da Terra e à trajetória elíptica de translação da terra ao redor do Sol. Essa irradiação solar que chega sem distorções na terra se chama Irradiação Normal Direta (DNI – *Direct Normal Irradiation*). A DNI que atravessa a atmosfera é então atenuada por vários constituintes da atmosfera (reflexão e absorção), como gases (moléculas do ar, ozônio, CO₂, O₂), partículas sólidas, poeira e líquidas e nuvens (água condensada). Essa irradiação dispersa na atmosfera se chama Irradiação Difusa Horizontal (DHI - *Diffuse Horizontal Irradiance*). A Irradiação Global Horizontal (GHI – *Global Horizontal Irradiance*) que quantificada a radiação recebida por uma superfície plana horizontal é composta pela Irradiação Normal Direta (DNI) e pela Irradiação Difusa Horizontal (DHI). Para a geração de energia fotovoltaica a irradiação importante é a Irradiação Global Horizontal (GHI) enquanto para a geração heliotérmica a irradiação importante é a Irradiação Normal Direta (DNI) (Ver EPE 2012).

A radiação que chega a superfície terrestre ainda é modificada pelas características do terreno. A elevação, inclinação e orientação da superfície influenciam no ângulo em que os raios solares chegam à superfície. Outro fator importante do relevo é o sombreamento que impacta na energia solar na superfície. A variação da posição da terra em relação ao Sol ao longo do

ano determina ângulos de inclinação dos painéis solares mais adequados para a otimização do aproveitamento solar quando são utilizados painéis fixos. Em geral a inclinação corresponde a ângulos próximos da latitude do local da instalação (Ver EPE 2012, Pereira 2012).

A criação de mapas solarimétricos depende da escala. Em uma escala grande, ao nível nacional ou até continental, os mapas são feitas com base de valores de irradiação medidas por estações meteorológicas que medem os diferentes tipos de irradiação ao longo prazo. Usando ferramentas de interpolação espacial uma camada de distribuição contínua dos valores medidos de irradiação pode ser gerada. Essa informação é complementada por modelos meteorológicos para a estimativa de nuvens e modelos digital de elevação para o cálculo da Irradiação Global Horizontal. Em uma escala menor onde não existem pontos de medição da irradiação suficiente para serem usados no cálculo de irradiação solar modelos estatísticos e astronômicos são usados para o cálculo da Irradiação Normal Direta. A Irradiação Difusa Horizontal pode ser estimada através de dados meteorológicos observados. Modelos digitais de elevação também são incorporados para refinar o cálculo pela orientação e inclinação do terreno. No caso do cálculo da irradiação solar em telhados de edifícios podem ser usados modelos tridimensionais de edificações para a melhor modelagem de inclinação e orientação dos telhados e sombreamento gerados por edifícios vizinhos (Ver AAVV 2007).

Área de telhados disponível

A área do telhado de um edifício disponível para o uso de geração de energia solar não depende só da irradiação solar no telhado, mas também de outros fatores que podem reduzir ou impedir o uso do telhado para a montagem de um sistema fotovoltaico. Além do sombreamento gerado pelo relevo, por outras construções ou árvores vizinhas o uso existente do telhado possa reduzir a área em que painéis fotovoltaicos podem ser construídos. Por exemplo, muitas vezes o telhado é usado como terraço, por reservatórios de água, antenas, aparelhos de ar-condicionado, entre outros. Outro fator importante para se incluído numa análise detalhada são impedimentos pela própria estrutura da construção do edifício. A estática e engenharia da construção possam impedir a colocação de painéis fotovoltaicos ou sistemas de aquecimento heliotérmico. Além desses fatores do uso existente do telhado e impedimentos técnicos da edificação, possa ter impedimentos legais baseados em critérios de conservação do ambiente construído. Normalmente se um edifício é tombado por ser patrimônio cultural ou histórico ou é protegido por outra lei, o regulamento legal muitas vezes impede a montagem de sistemas de geração de energia solar.

Tendo esses fatores que reduzem a área potencial de telhado em vista, conseqüentemente no melhor caso esses fatores são conhecidos para cada edificação o que infelizmente raramente é o caso, ainda menos numa escala nacional ou regional/estadual. Em uma análise na escala local/municipal pode ter facilmente dados sobre a área construída de cada edificação e também do seu estado legal (conservado ou protegido por lei), mas informações sobre o uso existente e impedimentos arquitetônicos normalmente tem que ser levantado para cada edificação separadamente. Isso é feito no caso que o proprietário realmente quer montar um sistema fotovoltaico ou heliotérmico. Para qualquer outra análise da disponibilidade da área de telhados os fatores de redução da área por causa de impedimentos arquitetônicos e de uso existente um valor fixo estimado tem que ser aplicado.

Já numa escala regional ou nacional a disponibilidade de dados sobre a área de telhado ou das edificações pode ser difícil de existir porque raramente essas informações são coletadas em um nível nacional ou estadual. A área de telhado conseqüentemente tem que ser estimada à base de outros dados. O uso do solo e densidade da ocupação urbana ou demográfica além de dados censitários tanto como o número de pessoas residentes por tipo de edificação pode servir para estimar a área de telhados.

Tabela 1 resume os principais dados usados nos três níveis de análise. É importante destacar que devido às premissas a generalizações nas maiores escalas de análise a margem de erro é maior do que em uma análise de escala menor que tem maior precisão do levantamento, mas também é mais caro devido ao custo dos dados necessários.

Dados principais	Nacional/regional	Regional/local	Local
Irradiação	Latitude, dados climáticos	Latitude, dados climáticos	Latitude, dados climáticos
Área de telhados	Estimativa através de dados secundários	Estimativa através de tipologia assentamentos	Microdados das edificações
Modelo Digital de Terreno/3D	Só se aplica em regiões muito montanhosas	Modelo digital de elevação	Modelo digital das edificações
Fatores limitativos	Estimativa através de dados secundários	Estimativa através de dados secundários	Cadastro municipal
Vantagens	Aplicável em grande escala	Aquisição rápida e barata de dados	Maior precisão
Desvantagens	Grande margem de erro devido às estimativas	Margem de erro devido às generalizações	Dados necessários são caros

Tabela 1: Dados principais e avaliação para o uso nas três escalas de análise

2.1. Escala local – Modelagem de edificações em 3D

Para calcular o potencial de aproveitamento de energia solar em uma escala de grupos de edificações ou cidades inteiras o melhor seria ter dados de elevação de alta resolução não só do terreno (modelo digital de elevação – MDE ou *digital terrain model* DTM em inglês) mais também dados tridimensionais das próprias edificações. Um DTM é uma camada espacial do tipo raster ou vetor (redes triangulares irregulares ou *triangular irregular network* - TIN) sobre a variação contínua do relevo da superfície terrestre, informação a qual é possível sobrepor outro tipo de informação, como por exemplo, estradas, recursos hídricos e também edifícios. A criação de edifícios sobre os DTM depende dos dados disponíveis sobre a localização real dos edifícios numa dada zona. Para construir um mapeamento próximo da realidade inclusive das edificações é necessário ter as áreas da base delas e a altura da edificação. Esses dados são muitas vezes oriundos dos cadastros das prefeituras onde consta a área construída em cada lote e também a altura da edificação.

O método hoje em dia mais usado para o levantamento de dados tridimensionais de cidades é através de LiDAR. Um ótimo exemplo é o projeto SUN-AREA da Universidade de Ciências Aplicadas de Osnabrück/Alemanha que desenvolveu uma metodologia de levantamento do potencial fotovoltaico em telhados usando dados de LiDAR e orthofotos. Nesse projeto o primeiro cadastro solar do mundo foi elaborado para a cidade de Osnabrück em 2007 (Klärle 2009).

Também existem modelos e software que analisam o potencial em nível de edifícios em micro escala.

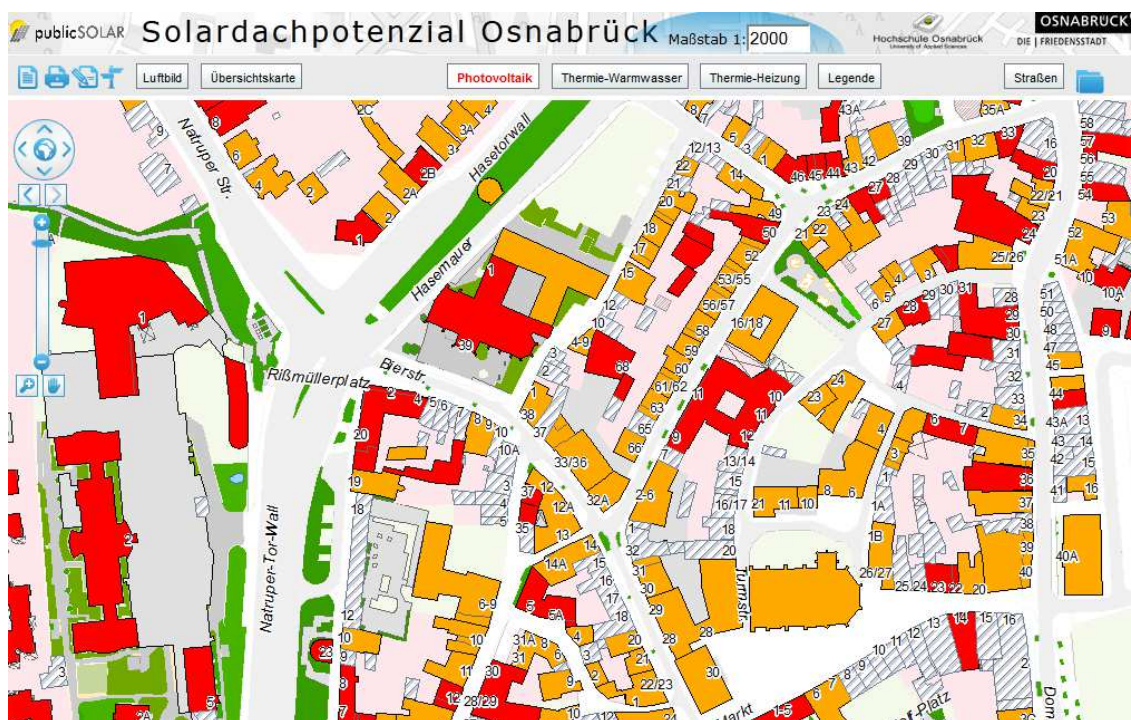


Figura 1: Screenshot do aplicativo interativo do cadastro solar online da cidade de Osnabrück (<http://geodaten.osnabrueck.de/website/solar/viewer.asp>)

2.2. Escala regional – Estimativa por tipologia urbana

Em uma escala regional (cidades grandes, regiões metropolitanas, micro- e mesoregiões) a metodologia tem que ser adaptada e hipóteses e premissas tem que ser definidas já que muitas vezes falta uma base de dados de boa qualidade.

Wiginton (2010), por exemplo, estudou o potencial fotovoltaico em edificações na província de Ontário, Canadá. São usados orthofotos para extrair áreas de telhados de áreas de amostra da província. Cruzando essas informações com a densidade populacional que está disponível por subdivisão censitária, Wiginton chega à relação “população/área de telhado” (70m² per capita). Isso permite em seguida extrapolar e estimar a área de telhado da província toda. Depois a taxa de redução de aproveitamento é estimada e à base da área aproveitável o potencial de geração de energia solar calculada usando vários sistemas fotovoltaicos.

Outra maneira como estimar a área de telhados é via uma categorização por tipos de assentamentos. Lödl (2010) usa três tipos de assentamentos no estado da Baviera/Alemanha e digitalizou a base dados cartográficos de 67 áreas de amostra a área das edificações para cada tipo de assentamento (Figura 1). As edificações são diferenciadas por uso residencial e edificações industriais e agropecuárias. Mais do que 4.500 edificações foram digitalizadas.



Figura 2: Exemplos dos tipos de assentamentos (rural, vilarejo e periferia urbana) usados por Lödl (2010)

Em seguida, a área de telhado aproveitável foi estimada e uma produção média de 150W por m² presumida. O valor resultante foi extrapolado para cada tipo de assentamento. Para estimar a área para o estado todos os municípios foram classificados nos três tipos de assentamentos usando dados estatísticos como população, densidade populacional, área urbanizada, porcentagem de domicílios por edificação e área do domicílio per capita. Os municípios classificados como cidades pelas estatísticas oficiais foram tratados como se 25% da área ocupada é do tipo periferia urbana. Os centros das cidades foram desconsiderados e não entraram na análise. A análise resultou em um potencial fotovoltaico nos telhados na Baviera de 25,3 GWp.

2.3. Escala nacional – Estimativa por censos e estatísticas

Para uma análise do potencial de energia solar em edificações em escala nacional é preciso ter um modelo de irradiação que cobre a área de estudo inteira e uma estimativa da área de telhados que pode ser oriundo de fontes diferentes.

Um bom exemplo de dados de irradiação em uma escala nacional ou até continental é o projeto “Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)” da Comissão Europeia (IET 2012). Esse projeto visa em realizar um levantamento geográfico dos recursos solares para Europa e África e do desempenho da tecnologia fotovoltaica e distribuir os dados gerados gratuitamente através de mapas interativos e download.

Um estudo que usa os dados do projeto PVGIS é o levantamento do potencial fotovoltaico em dez países europeus de Dunlop (2003). Para estimar a área potencial de instalação de painéis ele usa os dados da classificação do uso do solo CORINE da União Europeia e pressupõe que nas áreas de uso residencial 100 sistemas fotovoltaicos são instalados por km² e cada sistema gera 2,5 kW. Essa camada é cruzada com a camada da irradiação global no plano inclinado. O resultado é agregado às regiões dos dez países e visualizados em mapas. Esse estudo já usa estimativas de geração de energia solar usando hipóteses da distribuição da instalação de sistemas fotovoltaicos e a eficiência deles. Ficou óbvio que as regiões com o maior potencial são aquelas com alta irradiação e alta densidade populacional.

Lödl (2010) estimou o potencial fotovoltaico na Alemanha à base de um estudo detalhado no estado da Baviera usando estatísticas de uso do solo por tipos de edificações por estado e chegou a um potencial de 161 GWp. Outros estudos sobre o território alemão chegam a um potencial de 53 a 116 GWp (Kaltschmitt & Wiese 1993) e 130 GWp. As diferenças provavelmente são devido a diferentes hipóteses e bases de dados. Lehmann & Peter (2003) usam uma metodologia parecida com dados exemplares da Renânia do Norte-Vestefália para extrapolar as estimativas à Europa.

3. Metodologia aplicada

À base dessas metodologias existentes, a metodologia descrita em seguida foi desenvolvida tomando em conta as particularidades de dados existentes e disponíveis. No entanto, várias hipóteses, premissas e simplificações têm que ser adotadas já que não existe um banco de dados completo sobre as áreas de telhado e ainda menos sobre a altura e inclinação deles para o território brasileiro inteiro.

A figura 1 visualiza o conceito geral da metodologia aplicada. Os dados principais usados são a irradiação solar calculada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o censo demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A unidade básica da análise é o setor censitário do IBGE. Em um primeiro passo a camada da irradiação solar é atribuída a cada setor censitário usando ferramentas de sobreposição de camadas geográficas. Segundo, a área de telhados de cada setor censitário é calculada através de dados dos tipos de domicílios do censo demográfico e estimativas da área total de telhados por cada tipo de domicílio e depois a área de telhados aproveitável é estimada. A área de telhados aproveitável é em seguida multiplicada pelo valor da irradiação solar por metro quadrado de cada setor censitário para obter a energia solar total aproveitável. Em passo final, os valores calculados por setor censitário são agregados por municípios e estados para ter os valores referentes a essas unidades territoriais.

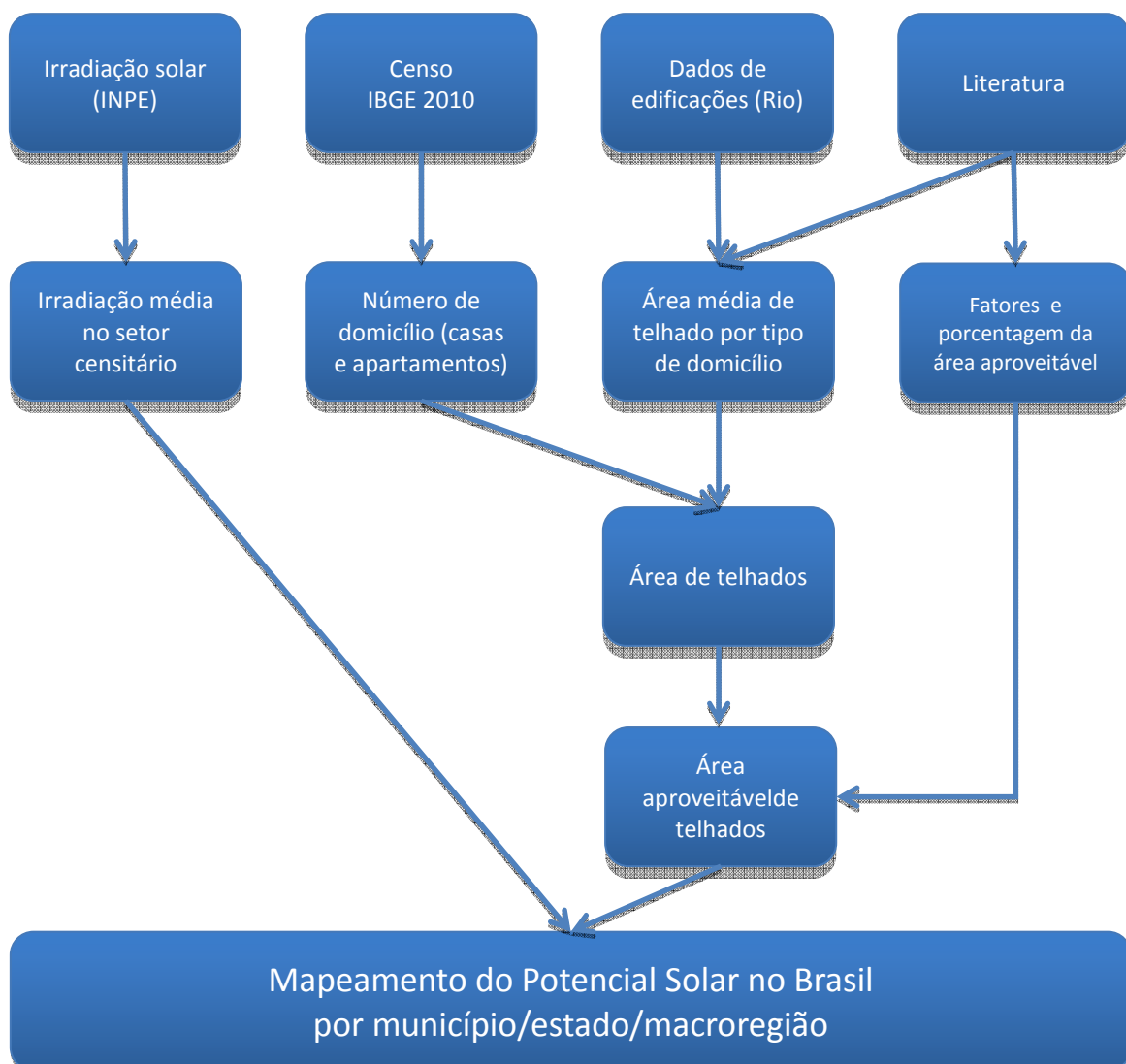
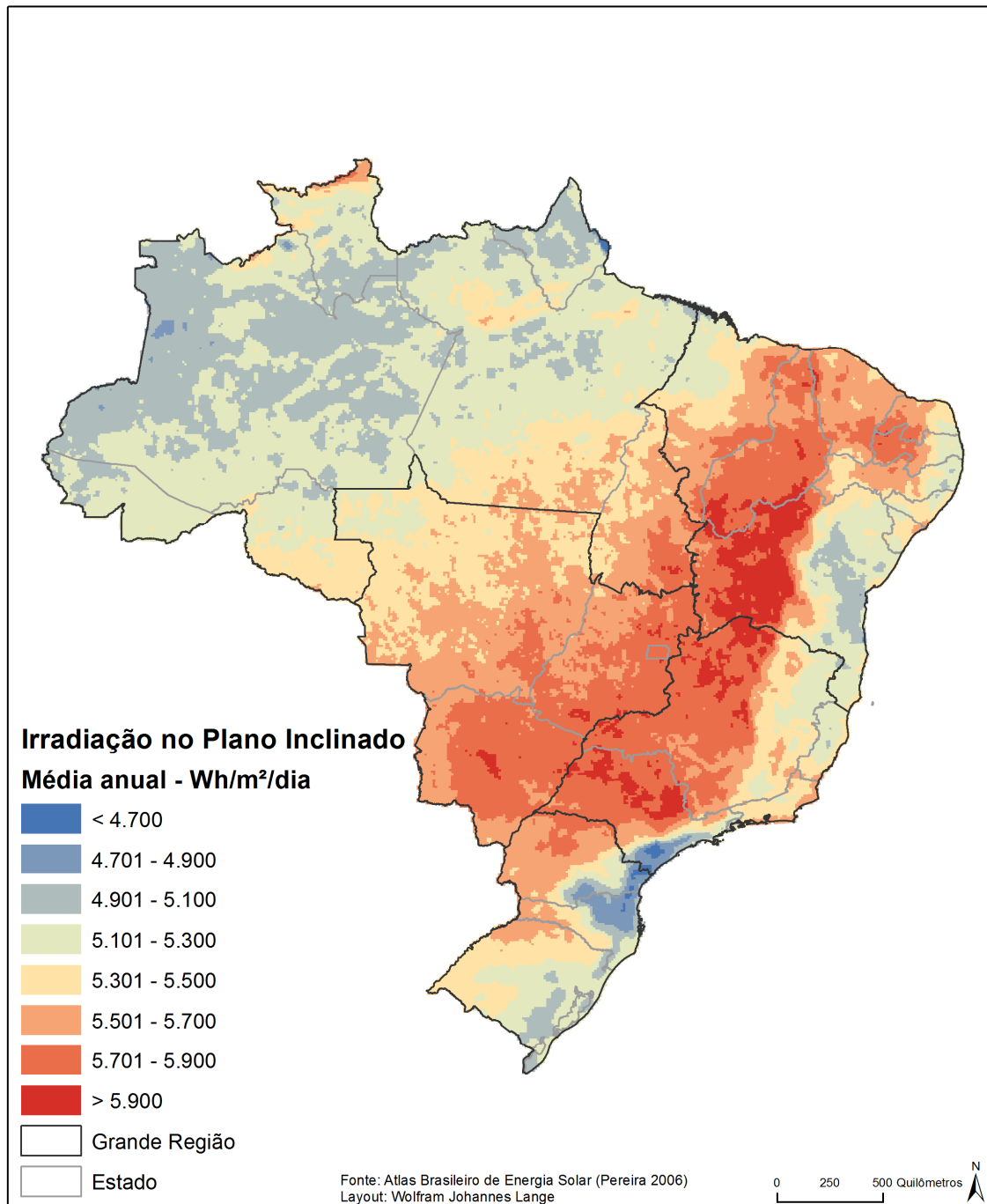


Figura 3: Fluxograma da metodologia do mapeamento do potencial solar em telhados de edificações residenciais no Brasil

3.1. Dados

3.1.1. Irradiação solar

Vários estudos existem sobre irradiação solar no território brasileiro. Um dos primeiros trabalhos é o Atlas de Irradiação Solar do Brasil (COLLE 1998) elaborado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade



Mapa 1: Potencial Solar Teórico

Federal de Santa Catarina (UFSC). Depois em 2000 o Atlas Solarimétrico do Brasil (Tiba 2000) foi realizado pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e pela Companhia Hidroelétrica do São Francisco (Chesf). O trabalho mais recente e completo é o Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira 2006) que foi produzido sob a coordenação do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) no âmbito do projeto *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA). O SWERA começou em 2001 para promover o uso de tecnologias de energia renovável em larga escala aumentando a disponibilidade e acessibilidade de informação de alta qualidade de recursos solar e eólica. Nesse projeto o modelo de estimativa de irradiação BRASIL-SR foi desenvolvido e aplicado e depois os valores estimados foram comparados com valores medidos na superfície, obtidos de diversas estações terrestres espalhadas pelo território brasileiro. O modelo BRASIL-SR apresentou desempenho similar em todas as regiões geográficas do país, com ligeira superestimação da irradiação. Os dados compilados, com resolução espacial de 10 km x 10 km e baseados em um período de 10 anos (1995-2005), foram transformados em mapas de irradiação. Os mapas principais gerados pelo projeto são:

- Irradiação Solar Global Horizontal (GHI) – mensal, sazonal e média anual
- Irradiação Solar Difusa (DHI) – mensal, sazonal e média anual
- Irradiação Solar no Plano Inclinado – mensal, sazonal e média anual

As informações e dados fornecidos no site estão disponíveis gratuitamente ao público e destinado a apoiar o trabalho dos formuladores de políticas, planejadores de projeto, analistas e investidores.

Para o presente estudo foi usado a camada de Irradiação Solar no Plano Inclinado adaptado à latitude (Latitude Tilted Solar Radiation Model) que representa o melhor ângulo para a colocação de painéis fotovoltaicos (Mapa 1). A camada de dados espaciais está disponível em formato *shapefile* (formato de dados vetoriais) e contém 87.586 quadrados representando a resolução de 10 km x 10 km. A tabela de atributos desses dados contém, além de um código identificador para cada célula e as coordenadas geográficas do centro, os valores de irradiação por média mensal, média anual e a média sazonal (primavera, verão, outono, inverno) em kWh/m²/dia. O valor máximo com 6100 kWh/m²/dia na média anual se encontra no município de Ibotirama no interior do estado da Bahia. Na parte dos valores mínimos aparentemente tem erros na base de dados já que os valores mais baixos são de 125 e 419 kWh/m²/dia. Verificando na base se vê que todos os valores muito baixos se concentram no município de Amapá no litoral do estado do mesmo nome. Nessa região tem oito células com valores negativos para uma das médias mensais de irradiação o que indica fortemente um erro na base fornecida e conseqüentemente essas oito células são eliminadas da base de dados. O valor mínimo depois é de 567 kWh/m²/dia, ainda muito baixo e provavelmente oriundo de um erro na base já que todas as médias mensais dessa célula são bem maiores. A hipótese que se trata de erros na base é reforçada pelo fato que o Atlas Brasileiro de Energia Solar não menciona valores tão baixos, mas também diz o valor mínimo exato (Pereira 2006, pag. 32). Como a área com os valores provavelmente errados é pequena (restam 19 células com valores extremamente baixos) e não tem como esclarecer sem dúvida se é erro ou não, essas células vão ficar na base usada para a análise. Mesmo que esses pequenos erros a base de informação da irradiação solar pode ser considerada muito boa e confiável.

3.1.2. Dados sobre domicílios

No capítulo 2 foi detalhado que para o cálculo da área de telhado disponível para a geração de energia solar no melhor caso tem-se esse dado para cada edificação. Como esses dados não têm para o Brasil inteiro essa informação tem que ser estimada através de outros dados e informações existentes.

A Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) contém dados sobre o número de casa e de apartamentos, mas não sobre o número de edificações e nem a área construída e, além disso, só divulga esses dados por estado e algumas regiões metropolitanas e não por município.

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) realizou um estudo sobre a área construída de edifícios, por domicílio e por morador. A conclusão era que a área média construída por edificação residencial é de 74 m² e 22 m² per capita (PROCEL 2007, Groezinger 2010). Mas esses valores são gerais e não diferenciam entre os tipos de habitação (apartamento e casa) assim são muito gerais e sem diferenciação regional.

O Cadastro Nacional de Imóveis Urbanos (CNAI) tem uma base de imóveis urbanos com várias características, mas o registro no CNAI depende do proprietário e não é uma base completa no território brasileiro.

A base de dados mais completa para o território brasileiro é o censo demográfico do IBGE realizado em cada dez anos. Nesse censo o território é dividido em setores censitários e para cada setor censitário vários dados sócio-demográficos como número de pessoas em diferentes tipos e situações de domicílio, idade, cor/raça, alfabetização e rendimento entre outros são divulgados (IBGE 2011).

Cada setor também é classificado pelas seguintes características:

- **Situação:** Segundo a sua área de localização, o domicílio foi classificado em situação urbana ou rural. Em situação urbana, consideraram-se as áreas, urbanizadas ou não, internas ao perímetro urbano das cidades (sedes municipais) ou vilas (sedes distritais) ou as áreas urbanas isoladas. A situação rural abrangeu todas as áreas situadas fora desses limites. Este critério também foi utilizado na classificação da população urbana e da rural.

Tipo do setor censitário: Se a área recenseada é considerada uma área de ocupação normal ou subnormal. Um aglomerado subnormal é definido pelo IBGE como um conjunto constituído de, no mínimo, 51 unidades habitacionais (barracos, casas...) carentes, em sua maioria de serviços públicos essenciais, ocupando ou tendo ocupado, até período recente, terreno de propriedade alheia (pública ou particular) e estando dispostas, em geral, de forma desordenada e densa.

Cada domicílio é classificado por espécie:

- **Domicílio particular permanente:** Domicílio construído para servir, exclusivamente, à habitação e tinha a finalidade de servir de moradia a uma ou mais pessoas.
- **Domicílio coletivo:** É uma instituição ou estabelecimento onde a relação entre as pessoas que nele se encontravam, moradoras ou não, era restrita a normas de subordinação administrativa (hotéis, motéis, camping, pensões, penitenciárias, presídios, casas de detenção, quartéis, postos militares, asilos, orfanatos, conventos, hospitais e clínicas).

Na coleta de dados os moradores dos domicílios particulares permanentes são classificados pelo tipo de domicílio em que moram:

- **Casa:** Quando localizado em uma edificação de um ou mais pavimentos, desde que ocupada integralmente por um único domicílio, com acesso direto a um logradouro (arruamento, vila, avenida, caminho etc.), legalizado ou não, independentemente do material utilizado em sua construção.
- **Casa de vila:** Quando localizado em edificação que fazia parte de um grupo de casas com acesso único a um logradouro. Na vila, as casas estão, geralmente, agrupadas umas junto às outras, constituindo-se, às vezes, de casas geminadas. Cada uma delas possui uma identificação de porta ou designação própria.

- **Casa em condomínio:** Quando localizado em edificação que fazia parte de um conjunto residencial (condomínio) constituído de dependências de uso comum (tais como áreas de lazer, praças interiores, quadras de esporte etc.). As casas de condomínio geralmente são separadas umas das outras, cada uma delas tendo uma identificação de porta ou designação própria.
- **Apartamento:** Quando localizado em edifício: de um ou mais andares, com mais de um domicílio, servidos por espaços comuns (hall de entrada, escadas, corredores, portaria ou outras dependências); de dois ou mais andares em que as demais unidades eram não residenciais; e de dois ou mais pavimentos com entradas independentes para os andares.

As variáveis usadas para o presente estudo são contidas na planilha Domicílio01, além das colunas que contêm os nomes e códigos dos municípios e estados:

- Domicílios particulares permanentes (V002)
- Domicílios particulares permanentes do tipo casa (V003)
- Domicílios particulares permanentes do tipo casa de vila ou em Condomínio (V004)
- Domicílios particulares permanentes do tipo apartamento (V005)

À base desses dados censitários do IBGE é possível estimar a área de telhados por cada setor censitário e depois agregar esse valor a qualquer outra divisão territorial do IBGE como municípios e estados. Optou-se por usar os setores censitários como unidade territorial básica porque os municípios podem ser muito grandes e a variação da irradiação solar dentro deles varia muito. Por exemplo, o município de Altamira tem uma extensão norte-sul de mais de 750 km e a irradiação varia entre 5015 e 5648 kWh/m²/dia. Outra razão é melhor diferenciação dos tipos de setores em vez dos municípios. O Brasil está dividido em 316.574 setores censitários, 5.567 municípios e 27 estados.

3.1.3. Outros dados

Para a estimativa da relação entre tipo de domicílio e área do telhado e o exemplo intra-urbano vários dados da prefeitura do Rio de Janeiro foram usados. Todos esses dados podem ser baixados no site Armazém de Dados do Instituto de Urbanismo Pereira Passos (IPP) da Prefeitura do Rio de Janeiro (IPP 2012):

- Camada das edificações no município do Rio de Janeiro. Além de conter a geometria das edificações no município do Rio de Janeiro, a tabela dos atributos contem as informações da altura da base e do topo do edifício, dado importante para criar um modelo em três dimensões da cidade.
- Modelo Digital de Elevação (MDE): Camada do tipo raster com a altura do relevo do município do Rio de Janeiro
- Dados do SABREN (Sistema de Assentamentos de Baixa Renda) foram usados verificar a área ocupada de setores subnormais.

Outros dados usados na verificação do tipo de edificação são dados de satélite de alta resolução que podem ser adicionadas e visualizados online via o software ArcGIS 10.0.

3.2. Metodologia detalhada

Para o cálculo geral da irradiação total na área de telhados de cada unidade territorial, a irradiação média por m² tem que ser multiplicada pela área aproveitável de telhados.

Equação 1: $TotIrr = IrrMed * ArTelApr$

Onde:

$TotIrr$ = Total de irradiação solar no plano inclinado na área de telhados aproveitável em residências

$IrrMed$ = Irradiação média anual por dia em Wh/m²/dia (coluna "ANNUAL" nas tabelas)

$ArTelApr$ = Área de telhados aproveitável em residências

Antes de calcular a área de telhados aproveitável para a geração de energia fotovoltaica, a área total de telhados tem que ser estimada através dos dados disponíveis no censo demográfico do IBGE. Já que o censo não coleta dados sobre a área ocupada pelos domicílios e nem da área de telhado, mas fornece dados sobre dois tipos de domicílio (casa e apartamento) um fator da relação entre o tipo de domicílio e a área ocupada pelo domicílio como aproximação a área de telhado tem que ser usado.

Equação 2: $ArTotCasa = DomCasa * ArCasa$

Onde:

$ArTotCasa$ = Área de telhado de edificações do tipo casa

$DomCasa$ = Número de domicílios do tipo casas

$ArCasa$ = Área média ocupada por domicílios do tipo casa

Equação 3: $ArTotAP = DomAP * ArAP$

Onde:

$ArTotAP$ = Área de telhado de edificações do tipo apartamento

$DomAP$ = Número de domicílios do tipo apartamento

$ArAP$ = Área média ocupada por domicílios do tipo apartamento

Equação 4: $ArTelTot = ArTotCasa + ArTotAP$

Onde:

$ArTelTot$ = Área total de telhados em edificações residenciais

Para chegar à área de telhados disponíveis para a geração de energia fotovoltaica uma taxa de redução tem que ser adotada porque o uso existente, obstruções e impedimentos arquitetônicos diminuem área que pode ser aproveitada para a montagem de painéis solares.

Equação 5: $ArTelApr = ArTelTot * TaxApr$

Onde:

$ArTelApr$ = Área de telhados aproveitável em residências

$TaxAprCasa$ = Taxa de aproveitamento

Segue uma descrição passo-a-passo da metodologia adotada. Os softwares ArcGIS 10.0 e Open Office foram usados para executar as análises.

Preparação das bases de dados:

1. Os arquivos necessários foram baixados dos sites fornecedores: SWERA para a irradiação solar e IBGE para os dados do censo demográfico (Ver 6.2).
2. Tanto a geometria (delimitação dos setores censitários em formato de *shapefile* de polígono) tanto as planilhas das variáveis (em formato CSV e XLS) são fornecidas pelo IBGE por estado. As variáveis são tematicamente organizadas em várias tabelas. A tabela que contém as variáveis necessárias para o presente estudo é denominada Domicílio01. Como a geometria e as tabelas com as variáveis são disponibilizadas separadamente, as tabelas com as variáveis tem que ser juntadas às tabelas dos atributos dos *shapefiles* usando o código do setor censitário.
3. Depois, essas camadas por estado têm que ser juntadas para criar uma camada com todos os setores censitários do Brasil (mapa 2). O resultado é o arquivo *shapefile* "BR_Setores" que contém todos os setores censitários do Brasil e o *shapefile* "BR_Set_Domicílio01" que contém todos os setores censitários e as variáveis da tabela Domicílio01 (ver a descrição dos atributos em IBGE 2011).
4. É necessário também projetar as camadas da irradiação solar e dos setores censitários para a mesma projeção. Foi usada a projeção "SAD 1969 Brazil Polyconic".
5. Para atribuir a irradiação média anual no plano inclinado aos setores censitários as duas camadas foram cruzadas e as médias dos valores de irradiação das células que cruzam cada setor censitário foram atribuídas a eles (ferramenta *Spatial Join* na terminologia do ArcGIS). O resultado é o *shapefile* "BR_Set_SolarTilt" que contém na coluna "ANNUAL" o valor da célula ou a média das células que caem no setor censitário da irradiação solar no plano inclinado em Wh/m²/dia. Oito setores do arquipélago de Fernando de Noronha foram eliminados porque não têm dados de irradiação solar.
6. Em seguida três novas colunas foram geradas na tabela do *shapefile* "BR_Set_Domicílio01" para conter o número de domicílios permanentes do tipo casa (somando as variáveis V003 e V004, coluna *DomCasa*), do tipo apartamento (V005, coluna *DomAP*) e do número total de domicílios permanentes particulares (V002, coluna *DomTotal*). O arquivo *shapefile* resultante é "BR_Set_DomPartPerm". Nesse arquivo todos os setores censitários que não têm domicílios permanentes particulares (13.595 setores) foram eliminados tanto como os campos na tabela de atributos das variáveis originais da tabela Domicílio01 que não são mais necessários e enchem desnecessariamente a tabela e com isso atrasam as operações de análise além de ocupar bastante espaço no disco rígido.

Estimativa das áreas de telhados

Para a estimativa das áreas de telhados dois cenários foram desenvolvidos: Primeiro usando os valores das áreas médias por tipo de domicílio (*ArCasa* e *ArAP*) usado por Ghisi (2006) e segundo um cenário com valores calculados à base de dados do município do Rio de Janeiro que não diferencia só pelo tipo de domicílio, mas também usa um valor adaptado da área de casas dos setores subnormais (comunidades carentes ou favelas). Ghisi (2006) usa uma estimativa da média de área de telhado para domicílios do tipo casa de 85 m² e para os

domicílios do tipo apartamento de 15 m². A estimativa própria usa a seguinte metodologia à base de dados do município do Rio de Janeiro (Figura 3):

- Todos os setores do município do Rio de Janeiro foram extraídos da malha BR_Set_DomPartPerm.
- Para todos esses setores a porcentagem de domicílios do tipo casa e do tipo apartamento foi calculada.
- Em seguida os setores com 100% de domicílios do tipo casa e do tipo apartamento foram extraídos separadamente.
- Também foram extraídos da malha dos setores do Rio de Janeiro os setores sub-normais.
- Os setores com 100% de ocupação de casa e de apartamento foram cruzados com a camada das edificações do Rio de Janeiro.
- As edificações extraídas por cada setor de ocupação total do um tipo de domicílio só foram analisados com imagens de satélite para identificar se as edificações são realmente de uso residencial. Uma amostra de 50% de cada malha de setores (só casa e só apartamento) foi extraída.
- Já que a malha disponível de edificações não contém dados sobre casa em setores subnormais, 100 setores subnormais que foram identificados tendo toda a área ocupada por casas foram identificados e extraídos.
- Para os setores das camadas com as amostras de setores a relação de área ocupada (aproximação à área de telhado) e o número de domicílios dos respectivos tipos de domicílio foi calculado.
- Os resultados dessa análise é que a área média ocupada por casa é de 80m², por cada domicílio do tipo apartamento é de 20m² e por cada domicílio em setor sub-normal é de 35m².

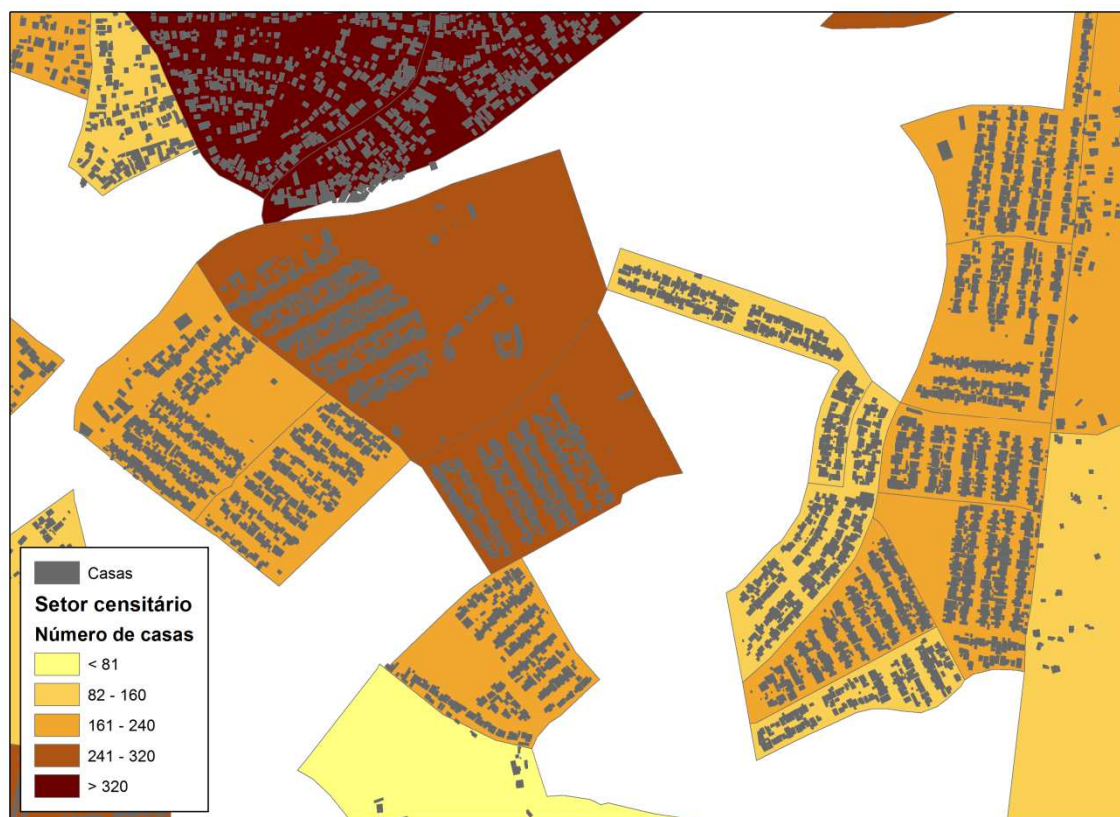


Figura 4: Setores censitários com 100% de domicílios do tipo casa e a área edificada

Em seguida os valores para as áreas de telhado foram calculadas segundo as equações 2 e 3. Os campos que contêm os valores foram nomeados dependendo do cenário: *ArTotCasa1* e *ArTotAP1* para o primeiro cenário de Ghisi (2006) e *ArTotCasa2* e *ArTotAP2* para o segundo cenário com as próprias estimativas. No cenário dois o cálculo foi diferenciado pelo tipo do setor (normal e sub-normal) no caso do domicílio do tipo casa. Para os dois cenários também foram calculados os valores da área total de telhado segundo a equação 4 (*ArTelTot1* e *ArTelTot2*).

Depois de ter calculado as áreas de telhado a coluna com a média anual de Wh/m² foi juntada a camada dos setores censitários e exportados como nova camada denominada "BR_Set_DomPartPerm_SolarTilt". Na tabela dessa camada em seguida a irradiação total da área de telhados (sem redução com a taxa de aproveitamento) foi calculada, como a área total de telhados poderia ser aproveitada com painéis fotovoltaicos. As colunas foram denominadas de TotIrrTel1 e TotIrrTel2 em relação aos cenários.

Em relação à taxa de aproveitamento os valores variam muito dependendo da literatura. Wiginton (2010) lista vários estudos com valores que variam entre 0,9 e 0,3. Os maiores valores da fração da área aproveitável são da Europa Central (Alemanha e Suíça) e os valores mais baixos da Índia e Nova Zelândia.

Por falta de dados de referência no Brasil dois cenários são aplicados: o cenário A vai usar o valor mais otimista (0,9) e o cenário B vai usar o valor mais conservador (0,3). Os campos na tabela do *shapefile* são denominados respectivamente. A tabela 4 resume os quatro cenários desenvolvidos. Os valores para as casas em setores sub-normais foram calculados selecionando somente os setores desse tipo usando a camada AglomeradosSubnormais2010_SetoresCensitarios.

	Cenário 1 (Ghisi 2006): - Área por casa = 85 m ² - Área por apartamento = 15m ²	Cenário 2 (Lange): - Área por casa = 80 m ² - Área por casa em setor sub. = 35 m ² - Área por apartamento = 20m ²
Cenário A – Otimista Taxa de Aproveitamento 0,9	Cenário 1 ^a	Cenário 2A
Cenário B – Conservador Taxa de Aproveitamento 0,3	Cenário 1B	Cenário 2B

Tabela 2: Cenários para a estimativa do levantamento do potencial fotovoltaico

4. Resultados

4.1. Escala Nacional

A tabela 3 mostra os resultados da estimativa das áreas de telhados residenciais no nível nacional. O cenário 1 tem o maior valor com 4.405,3 km² e o cenário 2 aproximadamente 9% a menos, 4.045,1 km². Essa diferença se deve principalmente por causa da diferente área média por casa já que a maioria da população mora em domicílios do tipo casa. Outro ponto que faz a diferença entre os cenários além da área média por apartamento é o cálculo separado das casas em setores do tipo sub-normal. No entanto, esses tipos de domicílios tem pouca importância no âmbito nacional: 5,92 % e 2,70 % respectivamente.

Os resultados da irradiação nos telhados residenciais (tabela 4) mostram que o valor varia entre 21.481,66 e 6.579,25 GWh/dia dependendo do cenário. É importante lembrar que o valor é da irradiação solar na área aproveitável de edificações residenciais sem considerar a eficiência de geração de energia dos painéis fotovoltaicos.

Área de telhados (km ²)	Cenário 1	Cenário 2
Casa	4.313,1	3.922,0
Apartamento	92,2	123,0
Total – casas e apartamentos	4.405,3	4.045,1
Correspondente a aglomerados subnormais	261,6	109,4
Porcentagem correspondente a aglomerados subnormais (%)	5,92	2,70

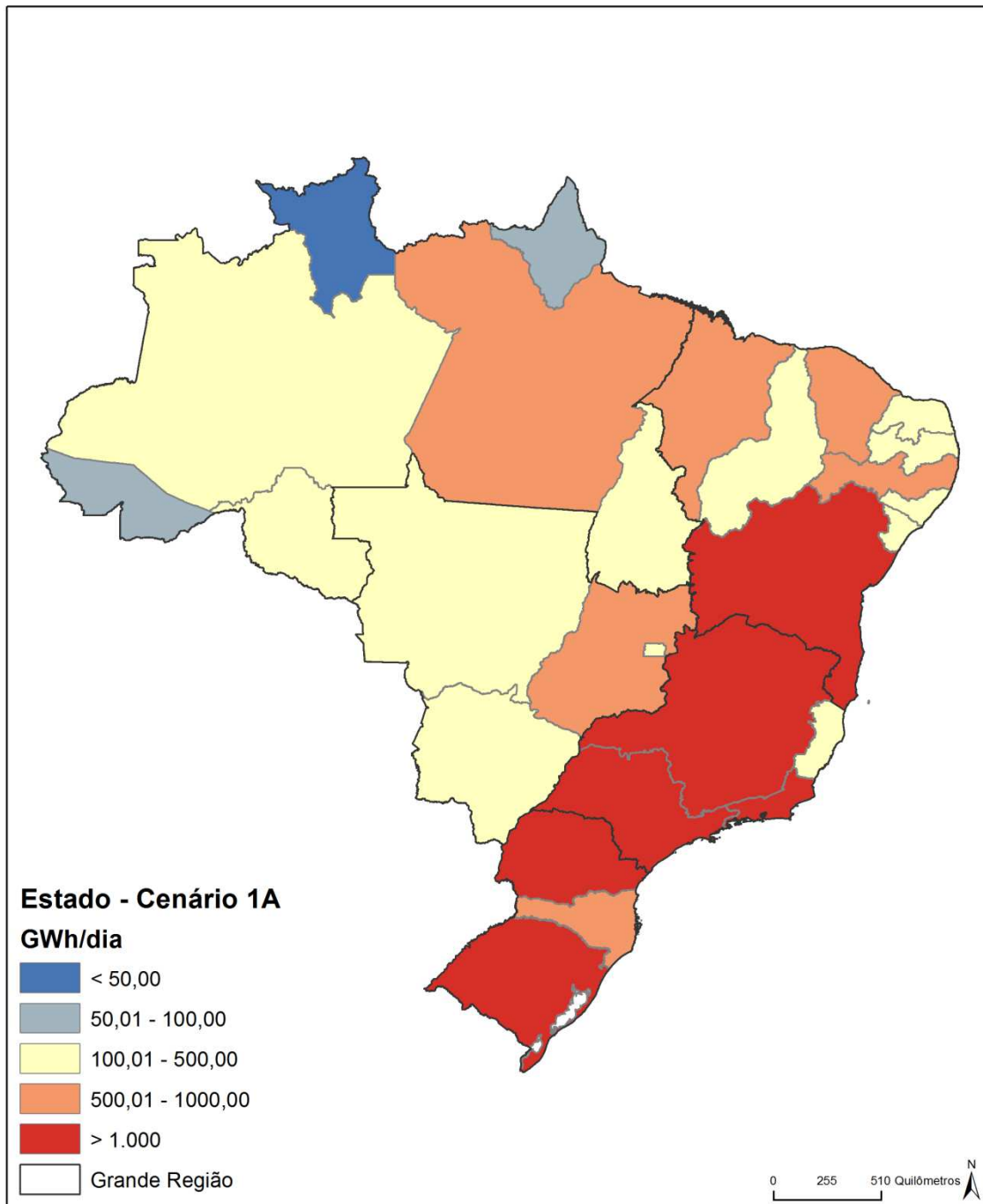
Tabela 3: Mapeamento de Telhados Residenciais no Brasil

Irradiação solar (GWh/dia)	Cenário 1A	Cenário 1B	Cenário 2A	Cenário 2B
Casa	21.038,74	7.012,91	19.146,70	6.382,23
Apartamento	442,92	147,64	591,05	197,01
Total – casas e apartamentos	21.481,66	7.160,55	19.737,75	6.579,25
Correspondente a aglomerados subnormais	1.246,59	415,53	521,34	173,78
Porcentagem correspondente a aglomerados subnormais (%)	5,80	5,80	2,64	2,64

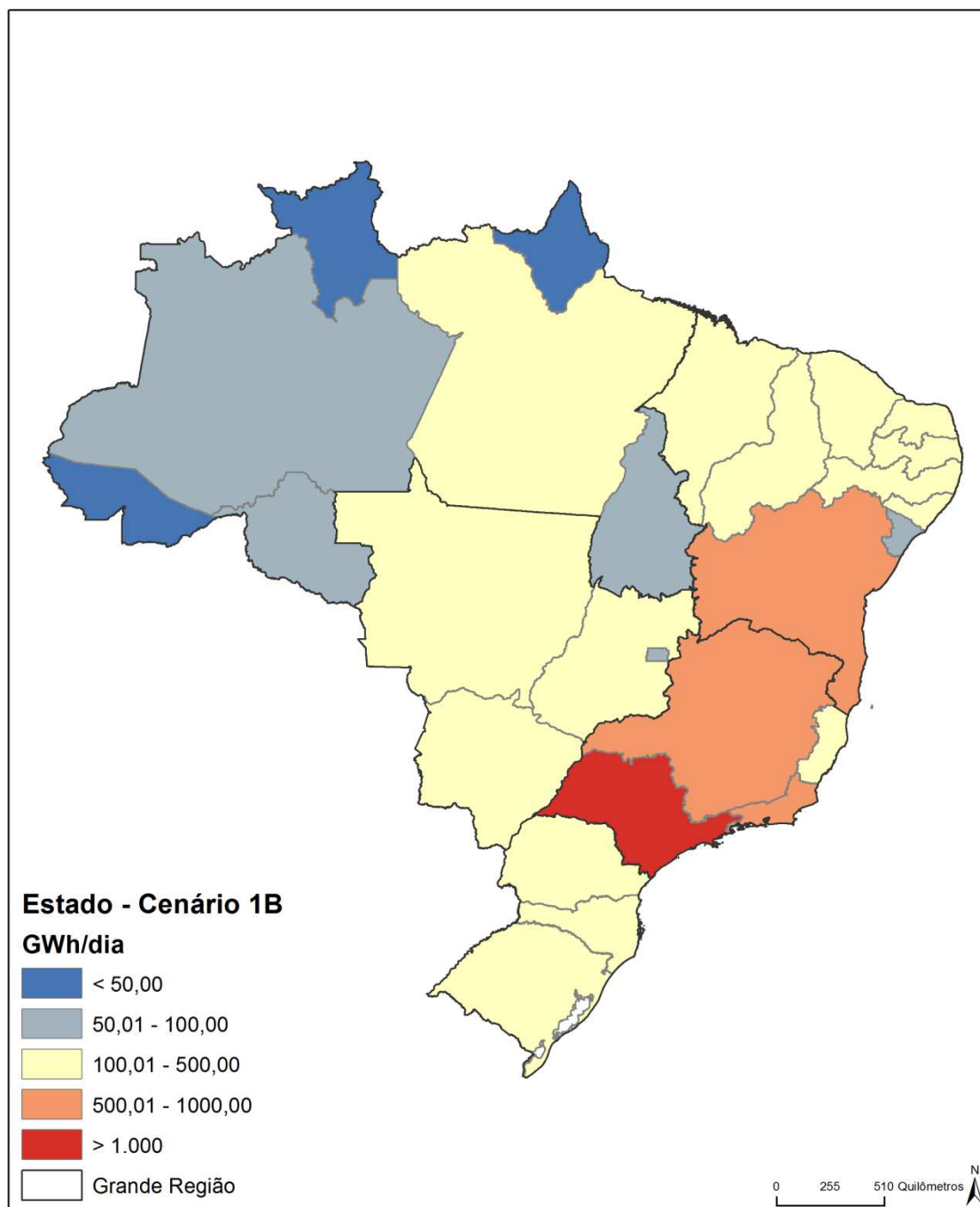
Tabela 4: Potencial Fotovoltaico em Telhados Residenciais no Brasil

Por estados

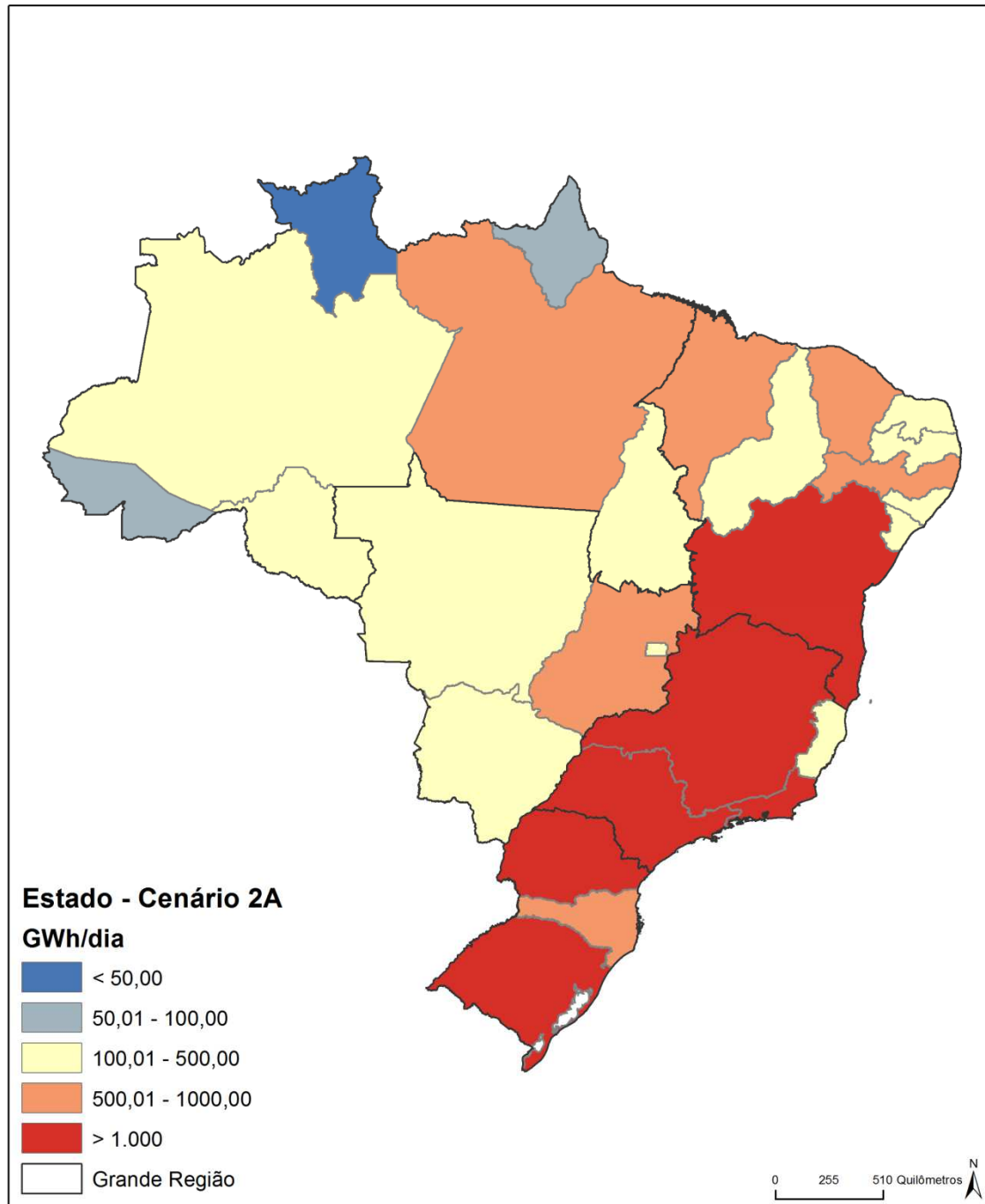
Em seguida os mapas 2 a 5 e as tabelas 5 e 6 apresentam os resultados dos quatro cenários por estado. A tendência é que os estados com o maior potencial solar são os que também têm a maior população e conseqüentemente a maior área de telhados.



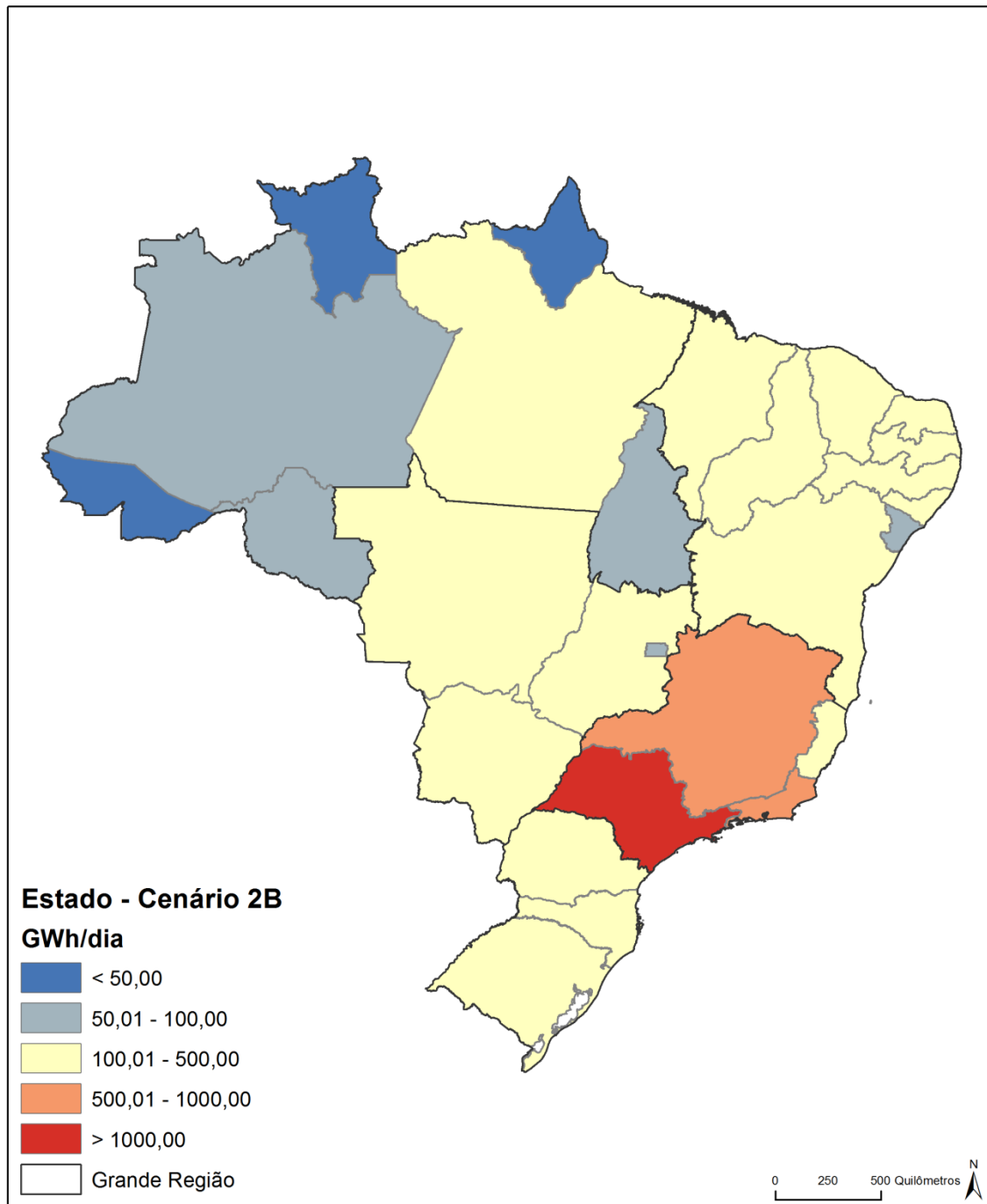
Mapa 2: Potencial Solar Inventariado por estado – Cenário 1A (taxa de aproveitamento de 0.9)



Mapa 3: Potencial Solar Inventariado por estado – Cenário 1B (taxa de aproveitamento de 0.3)



Mapa 4: Potencial Solar Inventariado por estado – Cenário 2A (taxa de aproveitamento de 0.9)



Mapa 5: Potencial Solar Inventariado por estado – Cenário 2B (taxa de aproveitamento de 0.3)

UF	DomCasa	DomAP	DomTot	ArTotCa sa (km ²)	ArTotAP (km ²)	ArTelTot (km ²)	IrrTot cenário 1 (GWh/d)	IrrTot cenário 1A (GWh/d)	IrrTot cenário 1B (GWh/d)
SP	10.887.631	1.838.107	12.811.220	925.448	27.552	953.001	5.143	4.629	1.543
MG	5.400.811	587.953	6.017.825	459.068	8.819	467.888	2.625	2.363	787
RJ	4.145.600	1.055.297	5.233.168	352.376	15.810	368.186	2.018	1.816	605
BA	3.795.134	274.547	4.085.254	322.586	4.108	326.695	1.738	1.564	521
RS	3.052.321	525.379	3.582.870	259.447	7.880	267.327	1.402	1.261	420
PR	2.988.156	295.885	3.289.457	253.993	4.438	258.431	1.395	1.255	418
PE	2.311.361	221.484	2.541.694	196.465	3.322	199.787	1.055	949	316
CE	2.187.591	160.385	2.351.342	185.945	2.396	188.341	1.038	934	311
GO	1.750.485	107.185	1.884.456	148.791	1.588	150.380	863	777	259
PA	1.785.516	59.445	1.857.468	151.768	891	152.660	800	720	240
SC	1.711.167	266.566	1.981.962	145.449	3.998	149.447	758	682	227
MA	1.614.663	28.636	1.652.494	137.246	429	137.675	745	671	223
PB	1.014.564	63.344	1.079.976	86.237	950	87.188	470	423	141
ES	936.269	156.568	1.097.959	79.582	2.348	81.931	436	393	131
MG	865.918	34.958	910.171	73.603	524	74.127	409	368	122
PI	824.089	20.626	845.891	70.047	309	70.356	403	362	120
RN	856.013	40.933	898.067	72.761	613	73.375	401	360	120
AL	798.242	41.808	841.868	67.850	627	68.477	366	329	109
MS	727.161	25.077	757.789	61.808	376	62.184	360	324	108
AM	733.973	53.379	796.307	62.387	800	63.188	317	286	95
DF	561.072	198.504	773.931	47.691	2.977	50.668	294	264	88
SE	550.156	39.629	590.781	46.763	594	47.357	255	229	76
RO	426.740	26.333	454.754	36.272	394	36.667	192	173	57
TO	386.877	5.447	397.899	32.884	81	32.966	183	165	55
AC	178.828	11.021	190.469	15.200	165	15.365	79	71	23
AP	147.077	6.658	155.808	12.501	99	12.601	65	59	19
RR	104.138	7.945	114.588	8.851	119	8.970	46	41	13

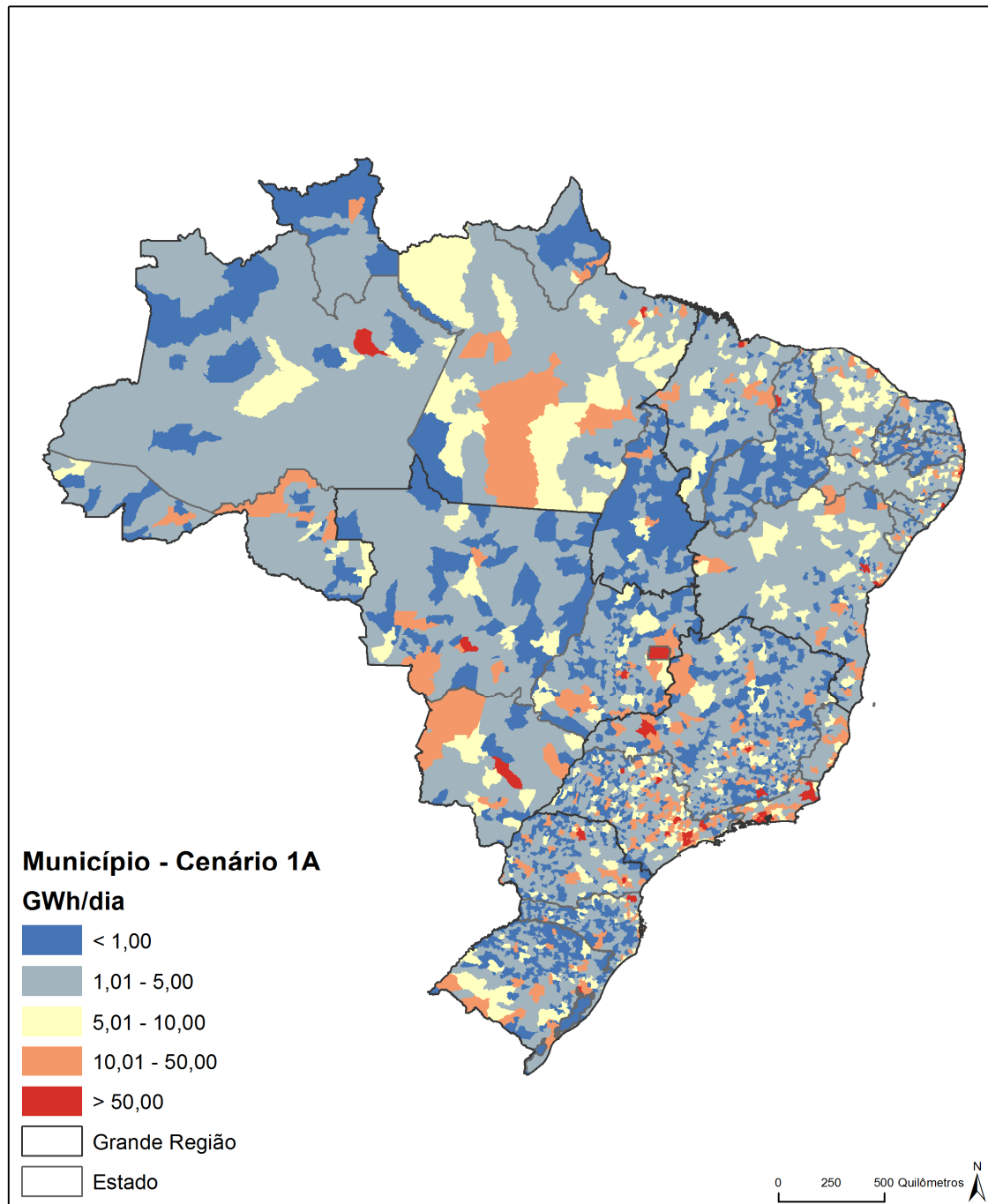
Tabela 5: Potencial Solar Inventariado por estado – Cenário 1

UF	DomCasa	DomAP	DomTot	ArTotCas (m ²)	ArTotA P (km ²)	ArTelTot (km ²)	IrrTot – cenário 2 (GWh/d)	IrrTot – cenário 2A (GWh/d)	IrrTot – cenário 2B (GWh/d)
SP	10.887.631	1.838.107	12.811.220	839.019	36.762	875.781	4.734	4.261	1.420
MG	5.400.811	587.953	6.017.825	424.837	11.759	436.596	2.450	2.205	735
RJ	4.145.600	1.055.297	5.233.168	306.116	21.105	327.222	1.793	1.613	537
BA	3.795.134	274.547	4.085.254	290.824	5.490	296.315	1.576	1.418	472
RS	3.052.321	525.379	3.582.870	240.409	10.507	250.917	1.316	1.184	394
PR	2.988.156	295.885	3.289.457	236.328	5.917	242.246	1.308	1.177	392
CE	2.187.591	160.385	2.351.342	169.731	3.207	172.939	954	858	286
PE	2.311.361	221.484	2.541.694	173.859	4.429	178.288	942	848	282
GO	1.750.485	107.185	1.884.456	139.939	2.143	142.083	815	734	244
SC	1.711.167	266.566	1.981.962	135.939	5.331	141.270	717	645	215
MA	1.614.663	28.636	1.652.494	125.144	572	125.717	681	613	204
PA	1.785.516	59.445	1.857.468	128.597	1.188	129.786	680	612	204
PB	1.014.564	63.344	1.079.976	79.558	1.266	80.825	436	393	131
ES	936.269	156.568	1.097.959	71.850	3.131	74.981	399	359	119
MT	865.918	34.958	910.171	68.559	699	69.258	382	344	114
RN	856.013	40.933	898.067	67.417	818	68.236	373	335	111
PI	824.089	20.626	845.891	64.361	412	64.774	371	334	111
MS	727.161	25.077	757.789	58.097	501	58.598	339	305	101
AL	798.242	41.808	841.868	62.271	836	63.108	337	303	101
AM	733.973	53.379	796.307	54.854	1.067	55.921	281	253	84
DF	561.072	198.504	773.931	43.343	3.970	47.313	274	247	82
SE	550.156	39.629	590.781	43.008	792	43.801	236	212	70
RO	426.740	26.333	454.754	33.643	526	34.170	179	161	53
TO	386.877	5.447	397.899	30.856	108	30.965	172	155	51
AC	178.828	11.021	190.469	14.306	220	14.526	75	67	22
AP	147.077	6.658	155.808	10.746	133	10.879	56	50	16
RR	104.138	7.945	114.588	8.318	158	8.477	43	39	13

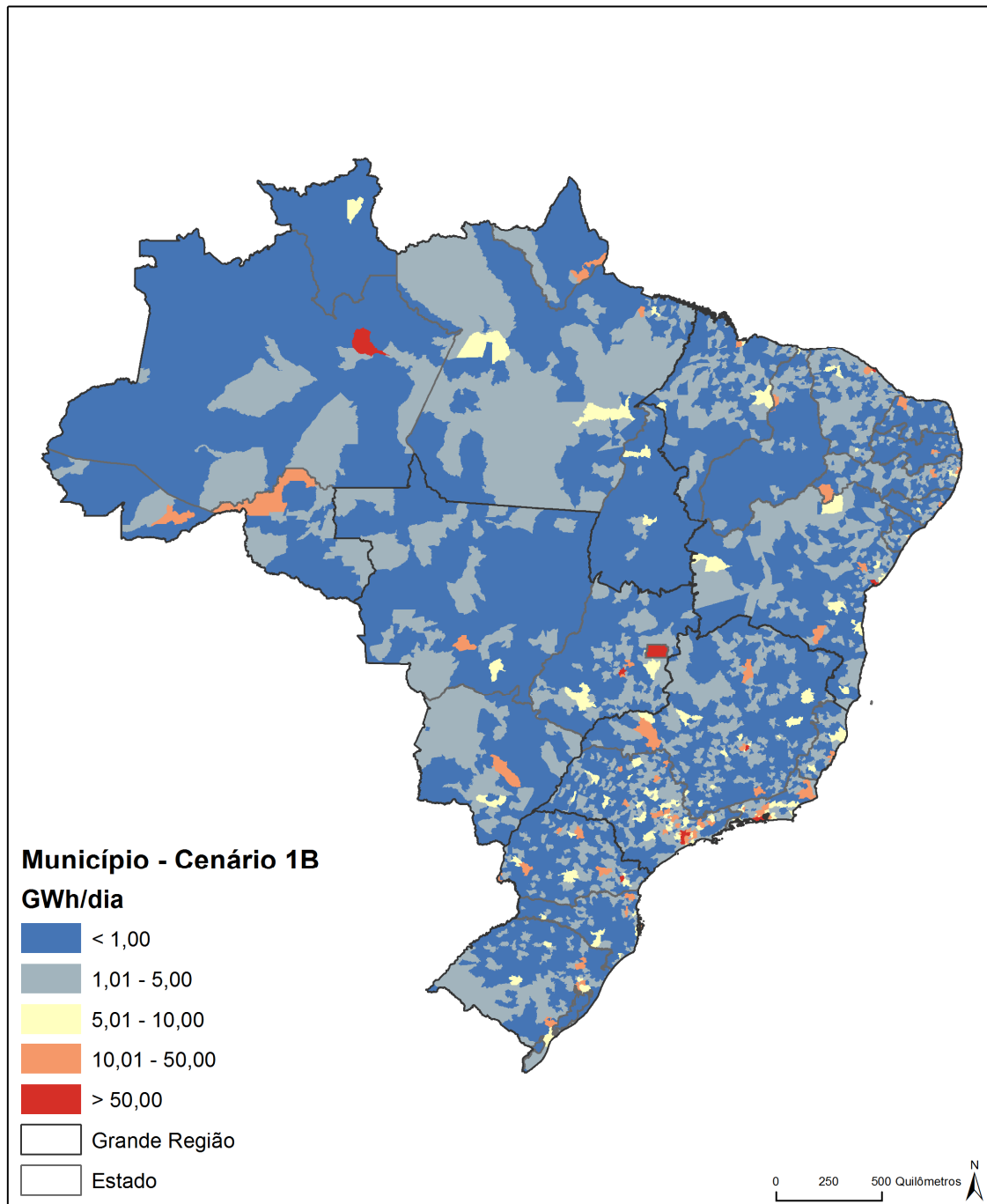
Tabela 6: Potencial Solar Inventariado por estado – Cenário 2

Por municípios

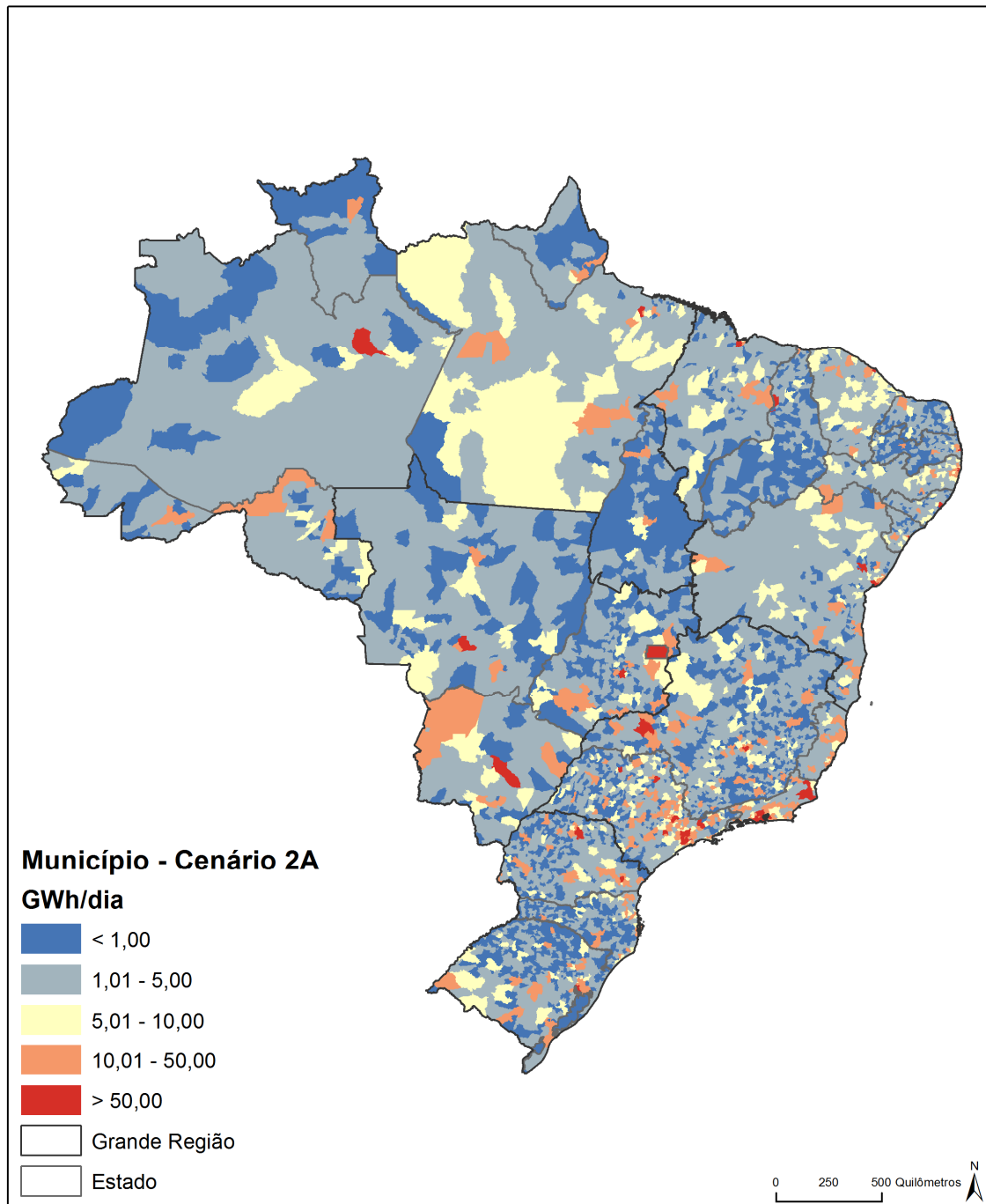
Os mapas 6 a 9 mostram o resultado do levantamento por município. Devido à escala requerida para a visualização do Brasil inteiro é difícil ver os municipais com o maior potencial que são as grandes metrópoles.



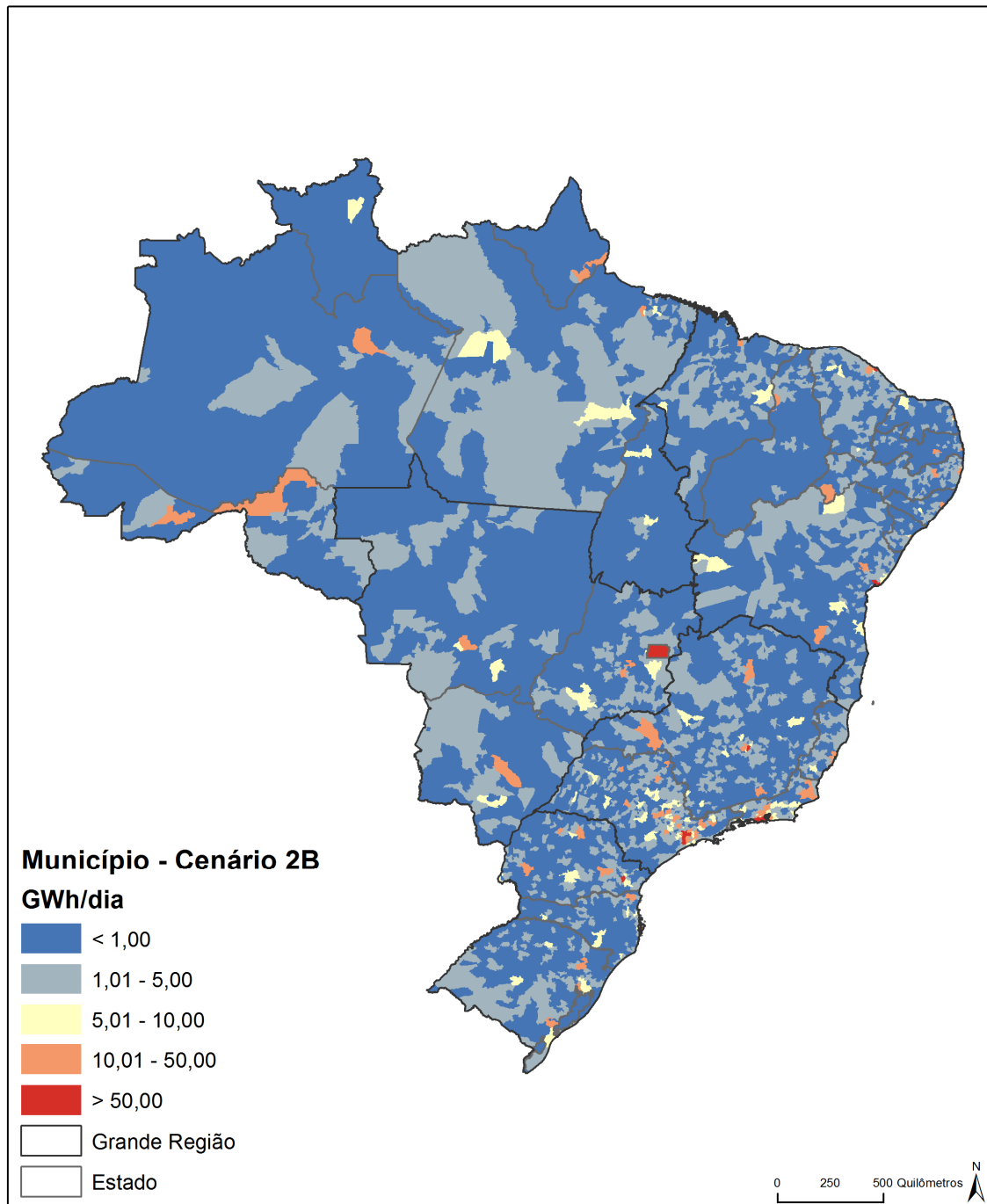
Mapa 6: Potencial Solar Inventariado por município – Cenário 1A (taxa de aproveitamento de 0.9)



Mapa 7: Potencial Solar Inventariado por município – Cenário 1B (taxa de aproveitamento de 0.3)



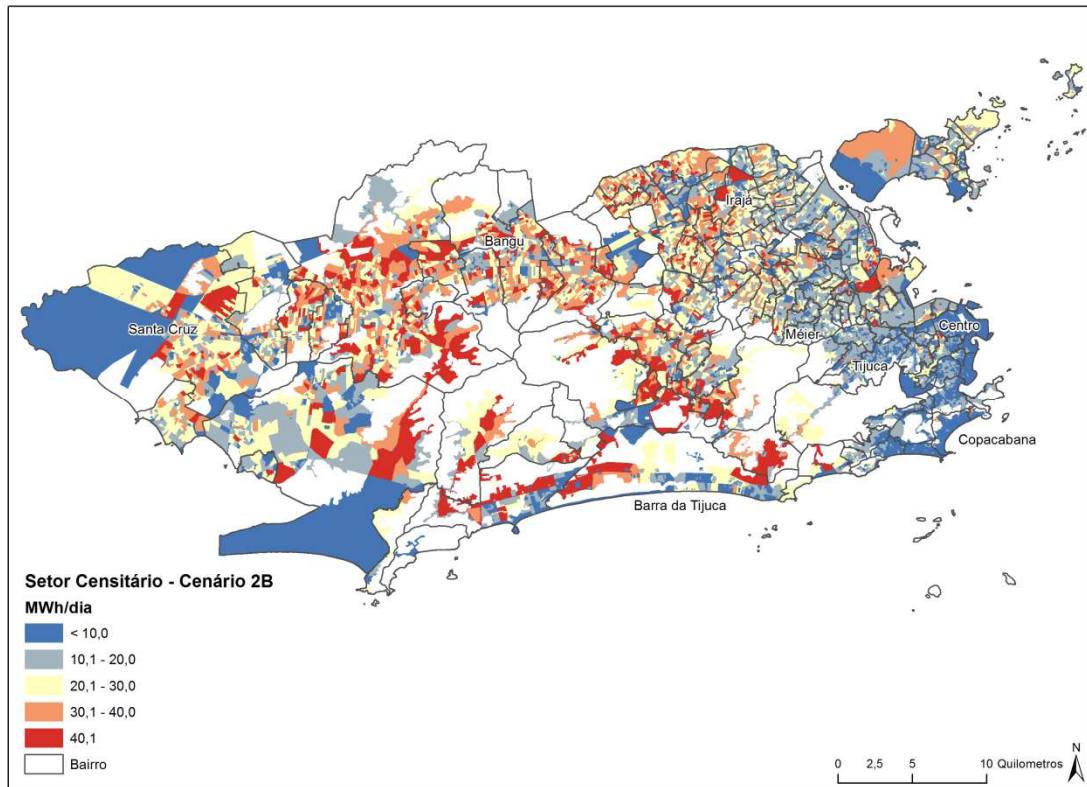
Mapa 8: Potencial Solar Inventariado por município – Cenário 2A (taxa de aproveitamento de 0.9)



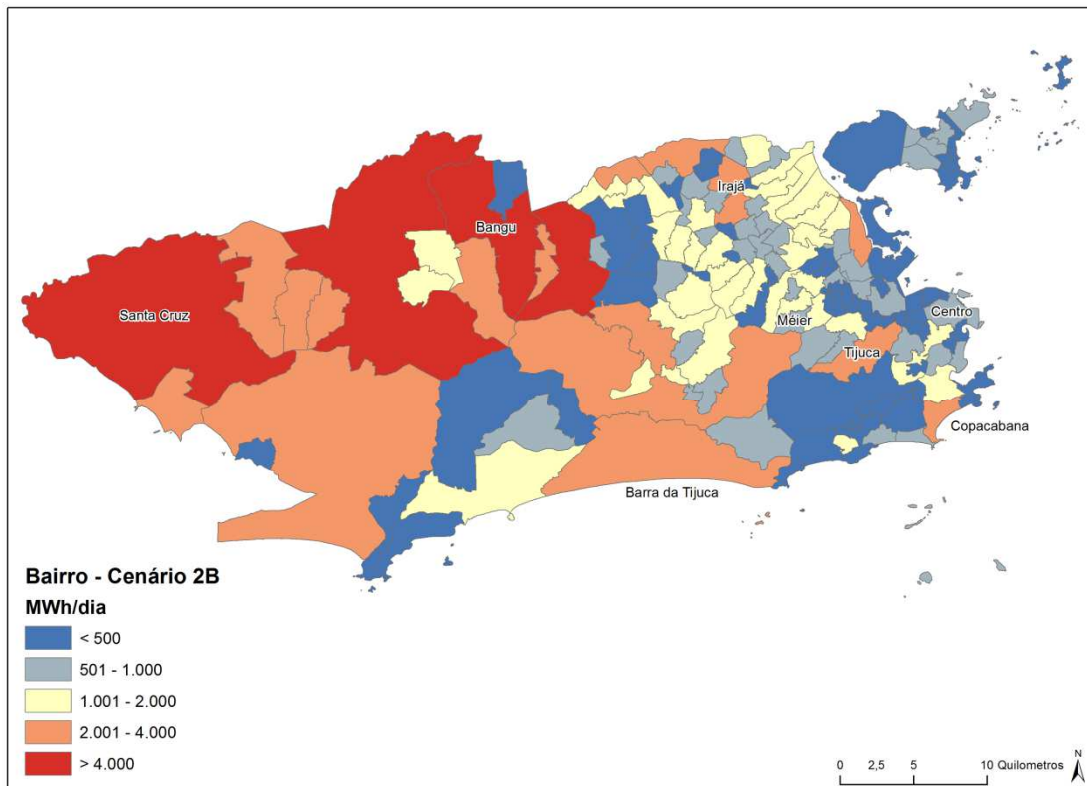
Mapa 9: Potencial Solar Inventariado por município – Cenário 2B (taxa de aproveitamento de 0.3)

4.2. Potencial fotovoltaico na cidade do Rio de Janeiro

O mapa 10 mostra o resultado da metodologia para o município do Rio de Janeiro para o caso do cenário 2B por setor censitário e o mapa 11 por bairros. É importante lembrar que a irradiação aproveitável na escala intramunicipal depende basicamente da área de telhados por setor censitário já que a metodologia aplicada usa dados de irradiação com uma resolução de 10 km e ela não foi calculada com dados de superfície ou terreno do município.



Mapa 10: Potencial Solar Inventariado no Rio de Janeiro por setor censitário – Cenário 2B (taxa de aproveitamento de 0.3)



Mapa 11: Potencial Solar Inventariado no Rio de Janeiro por bairro – Cenário 2B (taxa de aproveitamento de 0.3)

Figura 4 visualiza o resultado de um teste feito com dados tridimensionais das edificações da área do Centro até o bairro do Flamengo na direção Centro-Sul. A ferramenta usada se chama “Area Solar Radiation” no ArcGIS e calcula a irradiação à base de dados de superfícies em formato raster.

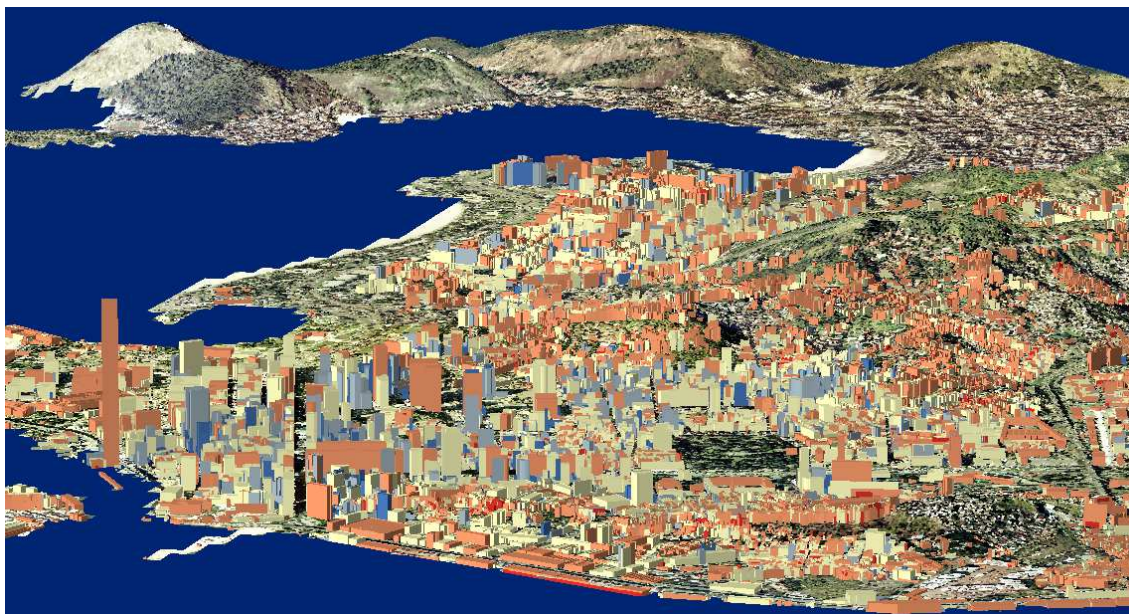


Figura 5: Exemplo da estimativa do potencial fotovoltaico à base de edificações em três dimensões no Rio de Janeiro

4.3. Restrições

Devido à falta de dados e estudos para a estimativa da área de telhados, em especial em relação à área média por domicílio de casa e de apartamento, e à taxa de aproveitamento, várias hipóteses, premissas e simplificações foram adotadas na metodologia apresentada para a estimativa da área aproveitável para a geração de energia fotovoltaica em telhados de edificações residenciais:

- A relação entre o tipo de domicílio e a área ocupada é uma estimativa e é sujeito a imprecisões
- A taxa de aproveitamento é uma estimativa bastante imprecisa por falta de estudos no Brasil
- A inclinação e orientação do telhado não foram consideradas já que essa análise requeria dados em micro escala e que a maioria das casas e edifícios tem telhado pouco inclinado o que possibilita a montagem dos painéis no melhor ângulo. Essas restrições podem ser incluídas na taxa de aproveitamento.
- Não tem dados sobre impedimentos legais como tombamento de edificações, mas assume-se que esse fator é negligenciável no âmbito nacional.

5. Conclusão

O estudo presente desenvolveu com sucesso uma metodologia de mapeamento do potencial de geração de energia fotovoltaica em telhados de edificações residenciais no Brasil. No entanto, para possibilitar esse levantamento no âmbito nacional, várias premissas e hipóteses tiveram que ser adotadas já que faltam dados detalhados nessa escala ou para o Brasil em

geral. Apesar disso, o procedimento apresentado resulta em dados confiáveis para se ter uma ideia da faixa do potencial e serve também para comparar o potencial entre estados e municípios. Além disso, gerou-se uma base de dados e ferramentas para a ampliação dos parâmetros envolvidos e para a agregação a outras unidades territoriais como as áreas das concessionárias.

5.1. Recomendações para o aprimoramento do levantamento

Como descrito no capítulo 4.1 a metodologia desenvolvida tem suas restrições e os dados gerados são estimativas. Para melhorar a qualidade dos resultados várias medidas de aprimoramento poderiam ser tomadas.

Quanto à relação da área de telhados com o tipo de domicílio recomenda-se o aprimoramento nos seguintes pontos:

- Estudos detalhados sobre a área de telhados por tipo de domicílio baseando-se em cadastros locais e regionais e classificação ou digitalização de imagens de satélite de alta resolução
- Diferenciação por situação do setor censitário (urbano e rural) e por grandes regiões pressupondo que a área de telhados varia em função a esses fatores.
- Diferenciação por indicadores socioeconômicos (renda p.ex.)

Em relação ao aprimoramento da taxa de aproveitamento

- Diferenciação por tipo de domicílio
- Estudos detalhados dos impedimentos arquitetônicos
- Estudos detalhados sobre a ocupação existente de telhados
- Levantamento da taxa de impedimentos legais (preservação e patrimônio cultural etc.) nas grandes cidades

6. Fontes

6.1. Literatura

AAVV (2007): Levantamento do estado da arte: energia Solar. Projecto Tecnologias para construção habitacional mais sustentável (Projecto FINEP 2386/04).

Colle, S. (Coord.) (1998): Atlas de irradiação solar do Brasil: 1ª versão para irradiação global derivada de satélite e validada na superfície. Brasília: INMET.

Dunlop E. D. et al. (2003): Photovoltaic Potential Assessment to Support Renewable Energies Growth in 10 EU Candidate Countries. In: Gottschalg, R.. (ed.): Proceedings of the Conference C79 of the Solar Energy Society CREST "Photovoltaic Science, Applications and Technology", Loughborough University (UK). 3.-4.4.2003, páginas 1007-1016.

EPE (2012): Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira (Nota técnica).

Ghisi, E. et al. (2006): Potential for potable water savings by using rainwater: An analysis over 62 cities in southern Brazil. Building and Environment, Volume 41, Issue 2, 204–210.

Groezinger, J. (2010): Potential of Energy Efficiency in the Residential Sector in Brazil. Master thesis at Institute of Technology and Natural Resources Management in the Tropics and Subtropics (ITT), Cologne University of Applied Sciences (CUAS), unpublished.

IBGE (2011): Base de informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário - Documentação do Arquivo. Rio de Janeiro.

IET – Institute for Energy and Transport (2012): Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Kaltschmitt, M. & Wiese, A. (eds.) (1993): Erneuerbare Energieträger in Deutschland. Potential und Kosten. Berlin.

Klärle, M. et al. (2009): Das Solarpotenzial-Dachkataster des Forschungsprojektes SUN-AREA – Ein Erfahrungsbericht aus der praktischen Umsetzung. In: Solarzeitalter, 1/2009.

Lehmann, H., & Peter, S. (2003). Assessment of roof & façade potentials for solar use in Europe. Institute for sustainable solutions and innovations (ISUSI): Aachen, Germany.

Lödl, M. et al. (2010): Abschätzung des Photovoltaik-Potentials auf Dachflächen in Deutschland. 11. Symposium Energieinnovation, Fevereiro de 2010, Graz/Austria

Pereira, M. F. C. (2012): Estimativa da produção de sistemas fotovoltaicos integrados em edifícios. Tese de mestrado integrado Engenharia Electrotécnica e de Computadores. Universidade do Porto/Portugal.

Pereira, E. B. et al. (2006): Atlas brasileiro de energia solar. São José dos Campos . INPE.

PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) 2007: Avaliação Do Mercado de Eficiência Energética Do Brasil. Simulação de Potenciais de Eficiência Energetica para a Classe Residencial.

Quaschnig, V. (2000): Systemtechnik einer klimaverträglichen Elektrizitätsversorgung in Deutschland für das 21. Jahrhundert. Düsseldorf.

Tiba, C. (2000): Atlas Solarimétrico do Brasil. Recife: Editora Universitária da UFPE.

Wiginton, L.K. et al. (2010): Quantifying rooftop solar photovoltaic potential for regional renewable energy policy. In: Computers, Environment and Urban Systems, Volumem 34, Edição 4, páginas 345–357.

6.2. Dados

INPE & LABSOLAR (2009): SWERA/Atlas brasileiro de energia solar:

- Informações gerais: <http://en.openei.org/wiki/SWERA/Data>
- Irradiação Solar no Plano Inclinado do projeto SWERA: <http://en.openei.org/datasets/node/513>

Censo demográfico do IBGE de 2010:

- Base de dados do questionário básico (universo) por setor censitário do censo 2010: <http://www.ibge.gov.br/home/download/estatistica.shtm>, Censos => Censo_Demografico_2010 => Resultados_do_Universo => Agregados_por_Setores_Censitarios
- Malha georreferenciada dos setores censitários do censo 2010: <http://www.ibge.gov.br/home/download/geociencias.shtm>, malhas_digitais => censo_2010 => setores_censitarios

Dados das edificações do município do Rio de Janeiro:

- IPP (2012): Armazem de dados do Instituto de Urbanismo Pereira Passos : <http://www.armazemdedados.rio.rj.gov.br/>, BaseGeo Web.