

ENERGIA SOLAR PAULISTA

Levantamento do Potencial

RENOVÁVEIS



Governo do Estado de São Paulo

**Secretaria de Energia
Subsecretaria de Energias Renováveis**

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DE ENERGIA

Rua Bela Cintra, 847 – 10º e 13º andar

01415-903 – São Paulo – SP – Brasil

Tel.: +55 11 3218-5717

Fax.: +55 11 3218-5487

Web Site: www.energia.sp.gov.br

e-mail: sistemadeinformacoes@energia.sp.gov.br

Governador do Estado

Geraldo Alckmin

Secretário de Energia

José Aníbal

Secretário Adjunto

Ricardo Achilles

Chefe de Gabinete

Alexsandro Peixe Campos

Subsecretaria de Energia Elétrica

Ricardo Achilles (respondendo)

Subsecretaria de Energias Renováveis

Milton Flávio Marques Lautenschlager

Equipe Técnica

Subsecretaria de Energias Renováveis

Plínio B. Pires

Sérgio Nieri Barillari

Subsecretaria de Energia Elétrica

Janio Queiroz Souto

Reinaldo Almança

ÍNDICE

Palavra do Secretário	7
Apresentação	8
Introdução	9
Motivação	11
Objetivos	12
Meta	13
Contextualização Técnica	14
Mapas e Potencial	16
Bibliografia	46

ENERGIA SOLAR PAULISTA

Levantamento do Potencial

Fevereiro - 2013

Palavra do Secretário

O século XXI será, com certeza, marcado pela busca mundial de um suprimento energético que possa, ao mesmo tempo, atender ao crescimento da demanda de forma economicamente viável e considerar todos os preceitos do desenvolvimento sustentável.

O Brasil tem à sua disposição uma diversidade de fontes de energia consolidadas e outras que despontam como promissoras nos cenários de médio e longo prazo. A energia solar, abundante no território de São Paulo, na forma direta e difusa, tem merecido nossa atenção.

A transformação dessa energia para utilização térmica ou na geração de eletricidade se apresenta como uma oportunidade incontornável para o Brasil. Com extensão territorial e localização geográfica privilegiada, sob essa e outras perspectivas, o país pode transformar essa fonte inesgotável em um importante recurso de sua matriz energética.

O Governo do Estado de São Paulo está atento a essa tendência e por isso vem desenvolvendo iniciativas no campo energético com o intuito de oferecer à sociedade alternativas que representem qualidade e confiabilidade, aliadas à viabilidade técnica e à sustentabilidade dos projetos.

O estudo **Energia Solar Paulista Levantamento do Potencial** certamente vai contribuir para a realização de empreendimentos no setor, favorecendo o crescimento econômico e regional.

José Aníbal
Secretário de Estado de Energia

ENERGIA SOLAR PAULISTA

Levantamento do Potencial

Apresentação

As tecnologias que propiciam a captação da energia proveniente do sol estão em constante desenvolvimento, permitindo assim sua utilização, com sucesso, em várias situações e empreendimentos.

O aumento da eficiência energética e a constante redução dos custos dessas tecnologias apontam para uma tendência de crescimento de sua inserção na matriz energética paulista de forma consistente e duradoura. Mas, como toda proposta inovadora e ousada, esta também necessita de políticas públicas que estimulem seu uso, proporcionando confiabilidade, segurança, interesse e a consolidação dos respectivos públicos-alvo.

As considerações apresentadas neste trabalho incluem um levantamento prévio do potencial, a importância da atratividade dessa tecnologia em um processo de aprendizagem por parte de todos os agentes envolvidos, incluindo o desenvolvimento de mecanismos operacionais e gerenciais, novos segmentos de atuação e o equacionamento de suas particularidades inerentes.

A disseminação do uso da energia solar no estado de São Paulo fornecerá uma série de benefícios para a promoção de um desenvolvimento sustentado, equilibrado e perene para toda a sociedade paulista.

Milton Flávio Marques Lautenschlager
Subsecretário de Energias Renováveis
Secretaria de Estado de Energia

Introdução

Quase todas as fontes de energia – hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos – são formas indiretas da atuação da energia solar em nosso planeta. A radiação solar global, também conhecida como insolação global (composta pela radiação difusa e direta), é utilizada tradicionalmente como fonte de energia térmica para aquecimento de fluídos, iluminação de ambientes e para a geração de energia mecânica ou elétrica.

A utilização dessas formas de energia tem experimentado um forte crescimento em função de uma maior conscientização mundial da necessidade da utilização de fontes renováveis e da redução dos custos de produção global através da sustentabilidade. O Brasil e o estado de São Paulo podem se beneficiar muito dessa situação, pois apresentam condições favoráveis para seu desenvolvimento devido às condições climáticas, extensão territorial, características de seu sistema elétrico, disponibilidade de recursos naturais e pela infraestrutura já existente.

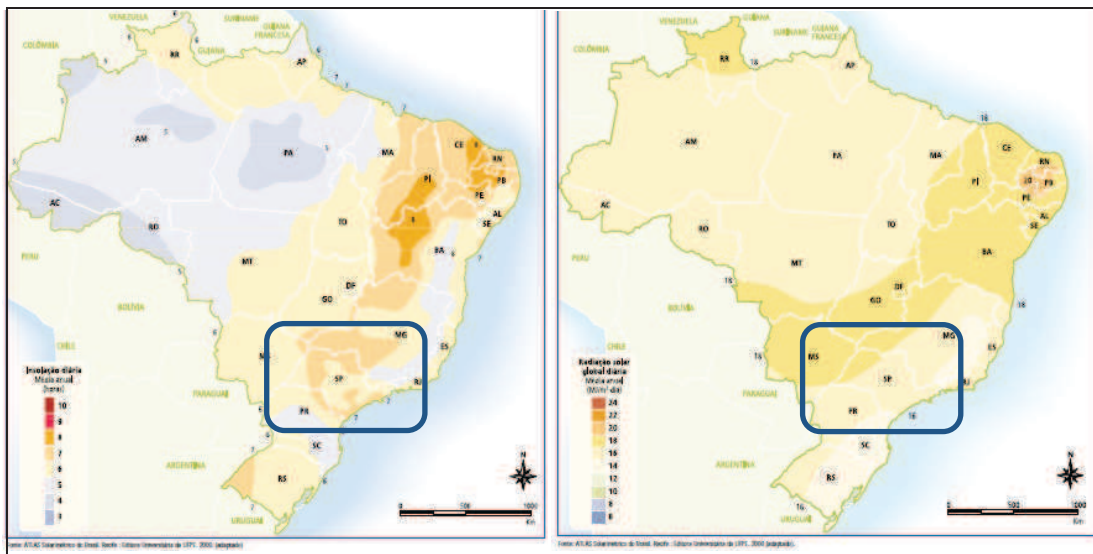
Além das condições atmosféricas (nebulosidade, umidade relativa do ar etc.), a disponibilidade da radiação solar depende, devido à inclinação do eixo imaginário da Terra e de sua trajetória elíptica, da latitude local e do período do ano. A maior parte do território brasileiro está localizada relativamente próxima à linha do Equador, de forma que não se observam grandes variações nas características de insolação e radiação.

Ao atravessar a atmosfera, a radiação solar sofre processos físicos de dispersão e absorção com os elementos nela encontrados e na superfície do planeta. As nuvens, os gases, as partículas atmosféricas e a superfície refletem cerca de 30% da radiação incidente. Os 70% restantes são absorvidos produzindo aquecimento, causando evaporação de água, ou convecção.

Os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro são superiores aos da maioria dos países da União Europeia (como Alemanha, França e

Espanha), onde projetos para aproveitamento de recursos solares, alguns contando com fortes incentivos governamentais, são amplamente disseminados.

Segundo o Atlas Solarimétrico do Brasil (2000)^[1], o estado de São Paulo apresenta insolação diária média (h) e radiação solar global diária média (MJ/m².dia) semelhante às encontradas em grandes áreas referenciais do nordeste brasileiro (figuras 1 e 2).



**Figuras 1 e 2 – Insolação diária média (h) e radiação solar global diária média (MJ/m².dia).
Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil (2000)**

Dentre os principais benefícios gerados pela utilização da energia solar, podem ser destacados:

- ✚ Custos de transmissão e distribuição que podem ser reduzidos pela instalação de sistemas nas proximidades ou diretamente no local de consumo final;
- ✚ Aumento da confiabilidade do suprimento de eletricidade pela geração descentralizada;
- ✚ Incentivo a utilização de tecnologias de redes e sistemas de medição de alta tecnologia que possibilitam a introdução de instalações com maior eficiência energética e possibilidade de controle no fluxo da energia;

- ✚ Instalação e consolidação de uma rede de conhecimento produtiva, tecnológica e de serviços que poderão se tornar referência mundial;
- ✚ Viabilização de vetores de desenvolvimento regional;
- ✚ Geração de empregos de qualidade por unidade de energia transformada. Estima-se que somente na produção anual de 1 milhão de m² de coletores (o Brasil já possui mais de 6,2 milhões instalados – 2010), gera-se aproximadamente 30 mil empregos. Deste valor 8 mil seriam na indústria, 14 mil em empresas de instalação, 4 mil no comércio e 4 mil em técnicos voltados para sua manutenção;
- ✚ Cada m² de coletor solar instalado para aquecimento de água, utilizado durante um ano, equivale a:

56 m ² de áreas inundadas (hidrelétricas)
215 quilos de lenha
66 litros de diesel
55 quilos de gás

Tabela 1: Equivalências com coletor solar.

- ✚ Municípios com perfil mais sustentável com redução das emissões de carbono e da dependência energética.

Motivação

O campo funcional da Secretaria de Estado de Energia compreende o planejamento e a execução das políticas estaduais incluindo, entre outras funções, a elaboração e a execução de planos e programas de fomento para o aproveitamento de fontes renováveis com responsabilidade social e sustentabilidade. Dentre essas fontes renováveis, destaca-se o significativo potencial de aproveitamento da energia solar com as formas anteriormente citadas.

Cabe ressaltar as ações que estão sendo desenvolvidas no âmbito legal estadual como o Convênio ICMS 101/1997 e suas prorrogações, que concedem isenção do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços - ICMS nas operações com equipamentos e componentes para o aproveitamento das energias solar e eólica,

aprovadas pelo Conselho Nacional de Política Fazendária - CONFAZ. Atualmente essa isenção está prorrogada até 31 de dezembro de 2015 (Conv. ICMS 75/11).

Na esfera federal está sendo formado um arcabouço legal para a viabilização da geração com fontes renováveis como a Resolução Normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL nº 77/2004, que estabelece os procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, para empreendimentos hidroelétricos e aqueles com base em fonte solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, e a nº 482/2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica.

O potencial econômico-social (geração de empregos, consolidação da indústria nacional, desenvolvimento e a possibilidade de inserção social da população) e as vantagens tecnológicas e ambientais que podem ser angariadas pela utilização dessa fonte energética, levaram a Subsecretaria de Energias Renováveis a estabelecer as bases deste estudo.

Objetivos

Este trabalho, que pretende direcionar definitivamente São Paulo na Rota do Sol, tem como uma de suas bases institucionais o atendimento da Política Estadual de Mudanças Climáticas – PEMC - instituída pela Lei Estadual nº 13.798, de 9 de novembro de 2009, com os seguintes objetivos principais a serem atingidos frente ao compromisso e aos desafios assumidos:

- ✚ Aumentar a quantidade de energia gerada por fontes renováveis, sustentáveis e de forma descentralizada;
- ✚ Redução das emissões de gases de efeito estufa e de poluentes locais;
- ✚ Redução da dependência energética do estado de São Paulo;
- ✚ Fomentar o desenvolvimento tecnológico e industrial;

- ✚ Garantir a geração de novos empregos e negócios;
- ✚ Implantação do conceito de sustentabilidade às edificações; e
- ✚ Fomentar o desenvolvimento regional.

Meta

A meta inicial estabelecida no Plano Paulista de Energia é a da viabilização da introdução, até 2020 no estado de São Paulo, de aproveitamentos energéticos com energia solar que sejam equivalentes a 1.000 MW, principalmente, nos seguintes segmentos e usos finais:

Segmentos e Usos Finais	Participação (%)
Potência equivalente instalada (2010)	20,7
Hotéis e similares	16,2
Habitações populares (Governos)	17,0
Outras habitações	17,0
Construções eficientes	10,0
Usinas de geração elétrica	5,0
Localidades isoladas *	2,0
Comércio, pequena e média indústria	6,0
Estabelecimentos de saúde e ensino	6,0

Tabela 2 – Meta inicial do Plano Estadual de Energia até 2020.

* Comunidades, sinalização, telecomunicações, instalações ambientais, de interesse social, segurança pública, iluminação pública etc.

Estima-se que a conjuntura estadual a ser estabelecida, proporcionará que esses valores sejam viabilizados na oferta interna de energia da seguinte forma até 2020:

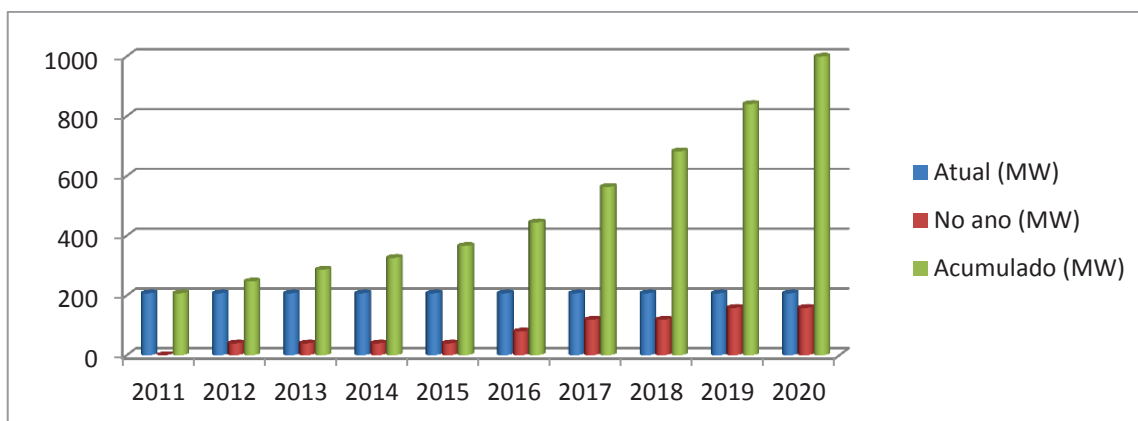


Gráfico 1 – Energia solar no estado de São Paulo até 2020.

Este mercado consumidor de tecnologia solar deverá ser efetivado da seguinte forma:

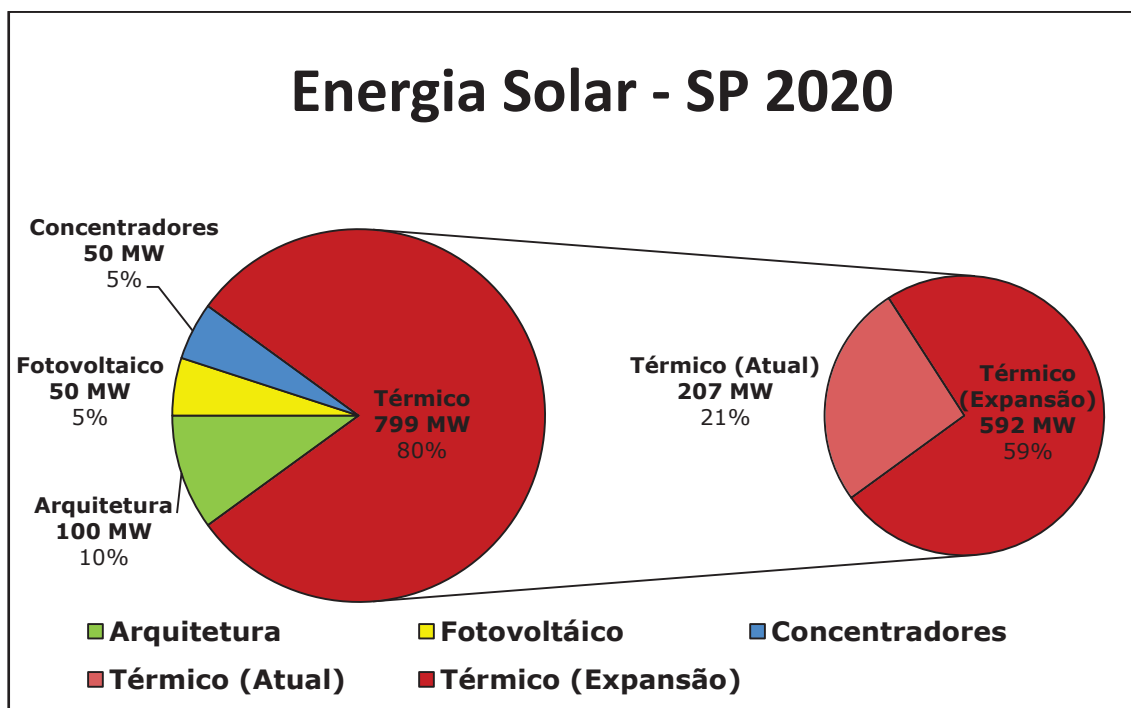


Gráfico 2 - Potência instalada por tecnologia até 2020.

Do equivalente a 800 MW em equipamentos solar térmicos instalados em 2020 (207 MW atualmente existentes e 592 MW a serem adicionados), 67% estarão no setor residencial e os restantes 33% no setor de comércio e serviços. Apesar de representativa, essa potência é equivalente, no setor residencial, a apenas 21% da demanda que será utilizada por chuveiros elétricos.

Contextualização Técnica

Segundo o Plano Nacional de Energia 2030^[2], o aproveitamento da energia solar pode ser feito de forma ativa e passiva. A primeira pode ainda ser dividida como solar heliotérmica, fotovoltaica e solar térmica. A energia solar passiva, por sua vez, é resumida às aplicações da arquitetura solar.

A energia solar **heliotérmica** é a conversão da irradiação solar em calor para geração de energia elétrica, normalmente, através de sistemas que utilizam um ciclo de

vapor tradicional com turbinas. O processo completo está ligado à otimização de quatro fatores: coleta da irradiação solar, conversão em calor, transporte e armazenamento do calor e sua conversão final em eletricidade. Cada uma das tecnologias desenvolvidas é caracterizada pelo formato da superfície refletora e pelo tipo de armazenamento, onde a luz solar é coletada, concentrada e transformada.

Para o aproveitamento da energia heliotérmica é necessário um local com alta incidência de irradiação solar direta, ou seja, pouca intensidade de nuvens e baixos índices pluviométricos, muito semelhantes às encontradas na região do semiárido do nordeste brasileiro.

A tecnologia **fotovoltaica**, por sua vez, é um processo em que um material semicondutor é adaptado para liberar elétrons (partículas negativamente carregadas que formam a base da eletricidade). O material semicondutor mais comum utilizado atualmente é o silício.

Quando a luz do sol atinge o semicondutor, o campo elétrico entre a junção das duas camadas inicia um fluxo de energia, gerando corrente contínua. Quanto maior a intensidade de luz, maior o fluxo de eletricidade. Um sistema fotovoltaico não precisa exclusivamente do brilho do sol para operar, ele também gera eletricidade em dias nublados, entretanto, a quantidade de energia gerada depende da densidade das nuvens e pode ser consideravelmente menor, tornando o sistema antieconômico.

A energia **solar térmica** é convertida, normalmente, através de coletores solares usados para gerar calor para aquecimento de água no uso doméstico, piscinas, secagem, aquecimento industrial etc.

A forma passiva de aproveitamento da energia solar é caracterizada pela sua utilização em projetos de **arquitetura solar** e visa à realização de projetos que utilizem esta forma de energia diretamente na iluminação ou aquecimento de ambientes proporcionando economia de energia.

Mapas e Potencial

A partir da base de dados gerada para a elaboração do Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006)^[3], desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, foi possível determinar o potencial da irradiação solar no estado de São Paulo e desenvolver os seguintes mapas:

- ✚ Incidência solar global média anual – Estado de São Paulo;
- ✚ Incidência solar global por estação – Estado de São Paulo (Primavera, Verão, Outono e Inverno);
- ✚ Incidência solar global média anual – Municípios do Estado de São Paulo;
- ✚ Incidência solar global por estação – Municípios do Estado de São Paulo (Primavera, Verão, Outono e Inverno);
- ✚ Incidência solar global por Região Administrativa – Estado de São Paulo.

Todos os mapas foram baseados em dados obtidos de julho de 1995 a dezembro de 2005 com uma resolução espacial de 10km x 10km. Os que mostram a divisão territorial municipal foram obtidos através de uma média ponderada entre as incidências encontradas.

Para facilitar o entendimento e as análises comparativas dos mapas apresentados, foi utilizada uma escala de cores padronizadas e vinculadas às potências equivalentes da energia global diária incidente por metro quadrado, da seguinte forma:

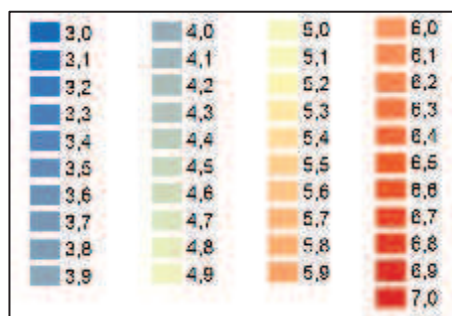


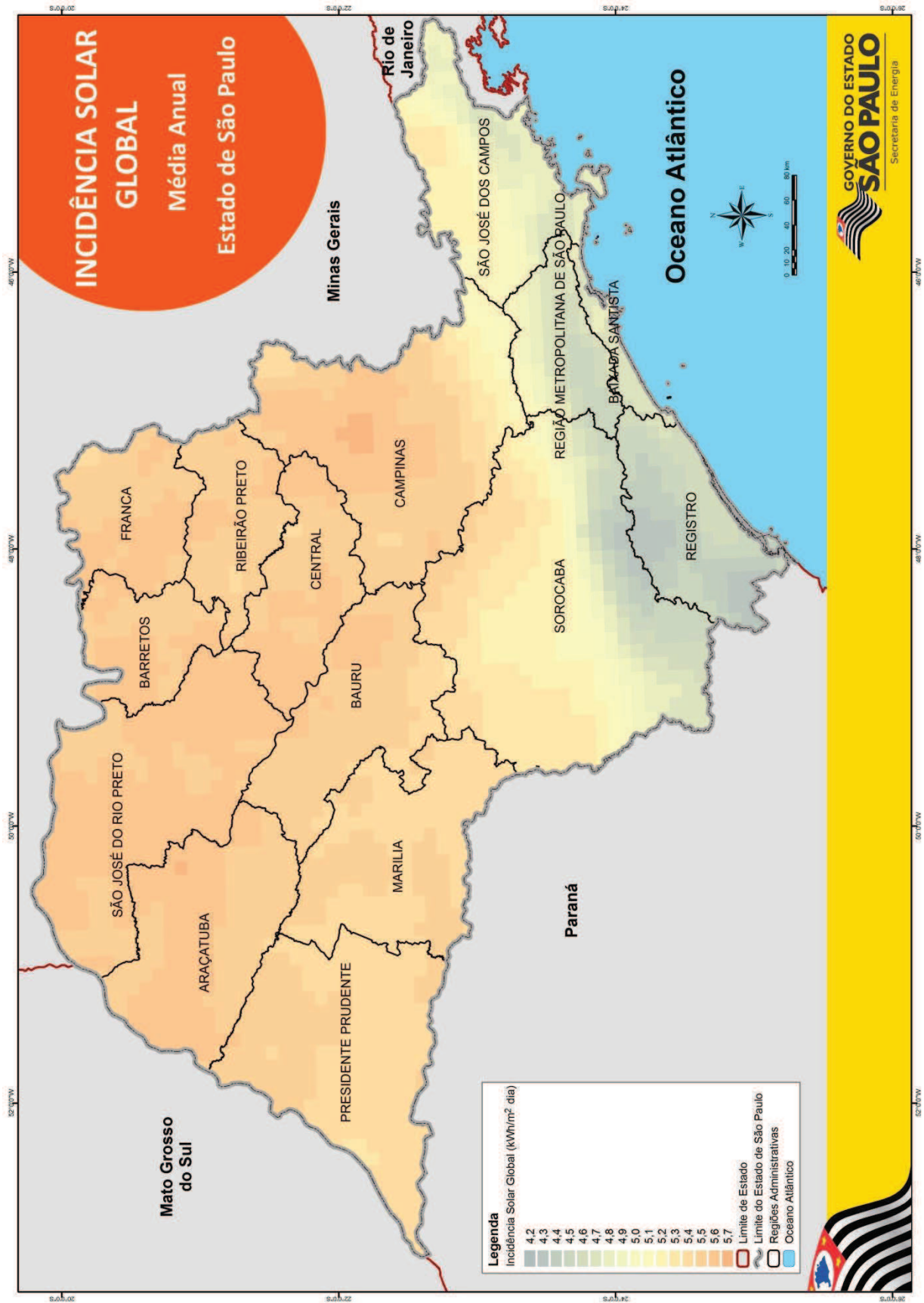
Figura 3 – Escala utilizada para os mapas (kWh/m².dia).

Para exemplificar o processo de análise municipal, mostra-se a seguir uma tabela com as características da energia global diária incidente por metro quadrado em alguns municípios paulistas que representam suas respectivas Regiões Administrativas.

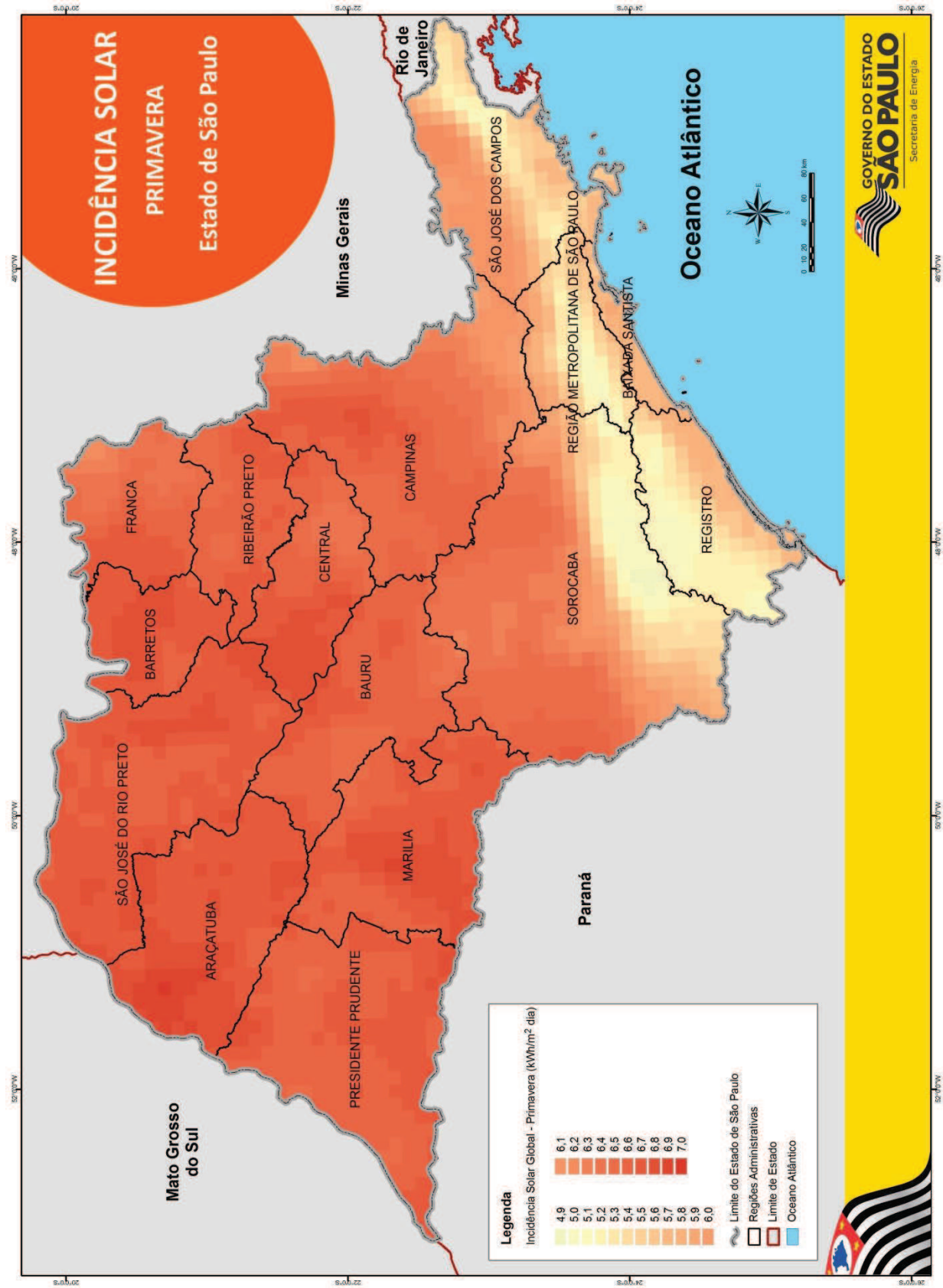
Município	(kWh /m ² . dia)				
	Anual	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Araçatuba	5,520	6,672	5,970	4,697	4,741
Barretos	5,509	6,711	6,057	4,474	4,794
Bauru	5,466	6,540	5,919	4,581	4,824
Campinas	5,388	6,347	6,147	4,402	4,658
Franca	5,484	6,385	6,133	4,618	4,801
Marília	5,384	6,590	5,786	4,573	4,588
P. Prudente	5,401	6,578	6,039	4,517	4,468
Registro	4,388	5,239	5,560	3,482	3,273
Ribeirão Preto	5,489	6,545	6,117	4,476	4,819
Santos	4,709	5,747	5,455	3,881	3,753
São Carlos	5,444	6,390	6,089	4,480	4,819
S. J. Campos	5,053	6,002	5,625	4,227	4,357
S. J. R. Preto	5,512	6,695	5,876	4,597	4,878
São Paulo	4,589	5,251	5,352	3,967	3,784
Sorocaba	5,126	6,105	5,933	4,237	4,231

Tabela 3 – Radiação solar global média nos municípios – Estado de São Paulo.

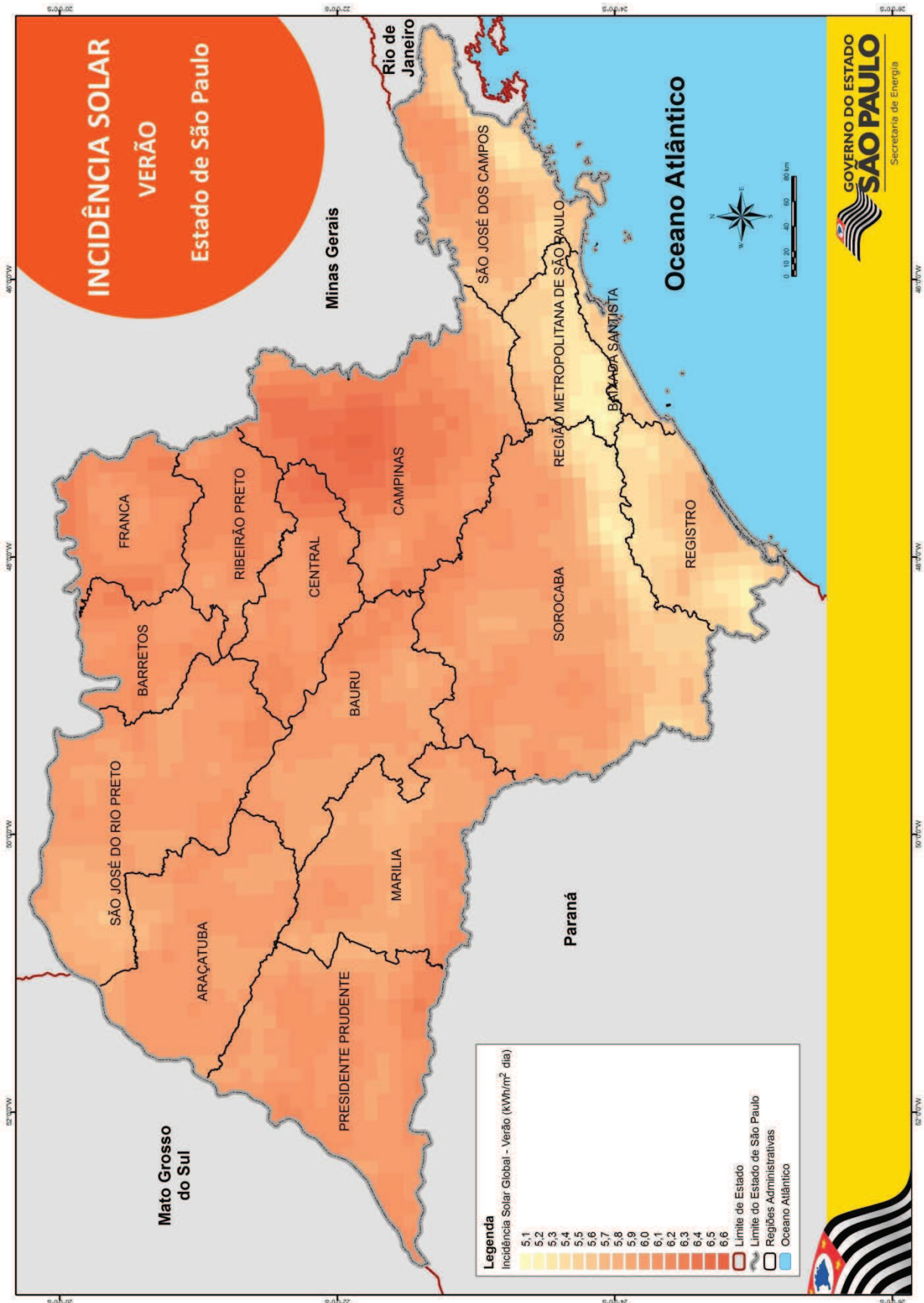
Mapa 1 - Incidência solar global média anual – Estado de São Paulo.



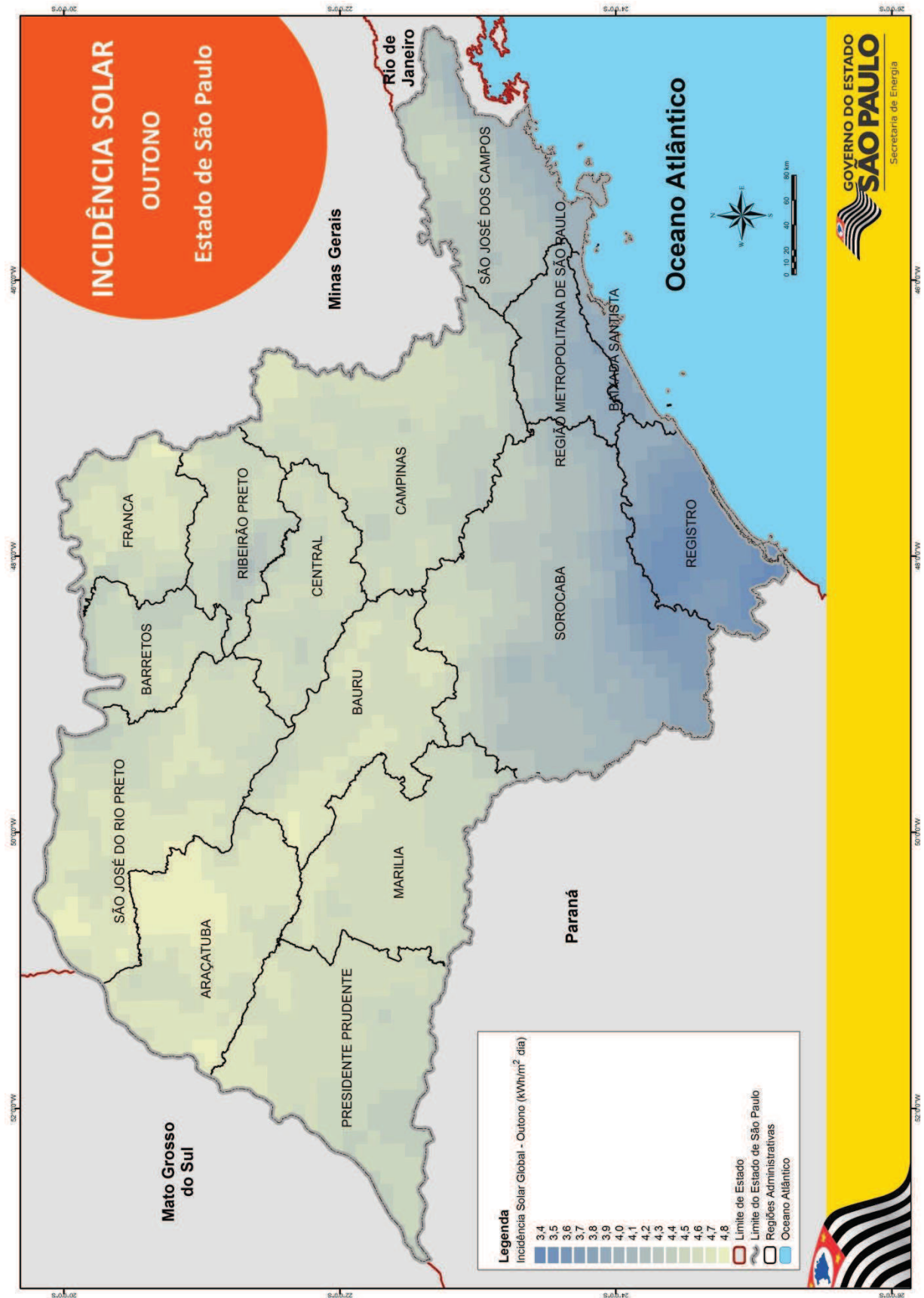
Mapa 2 - Incidência solar global na Primavera – Estado de São Paulo.



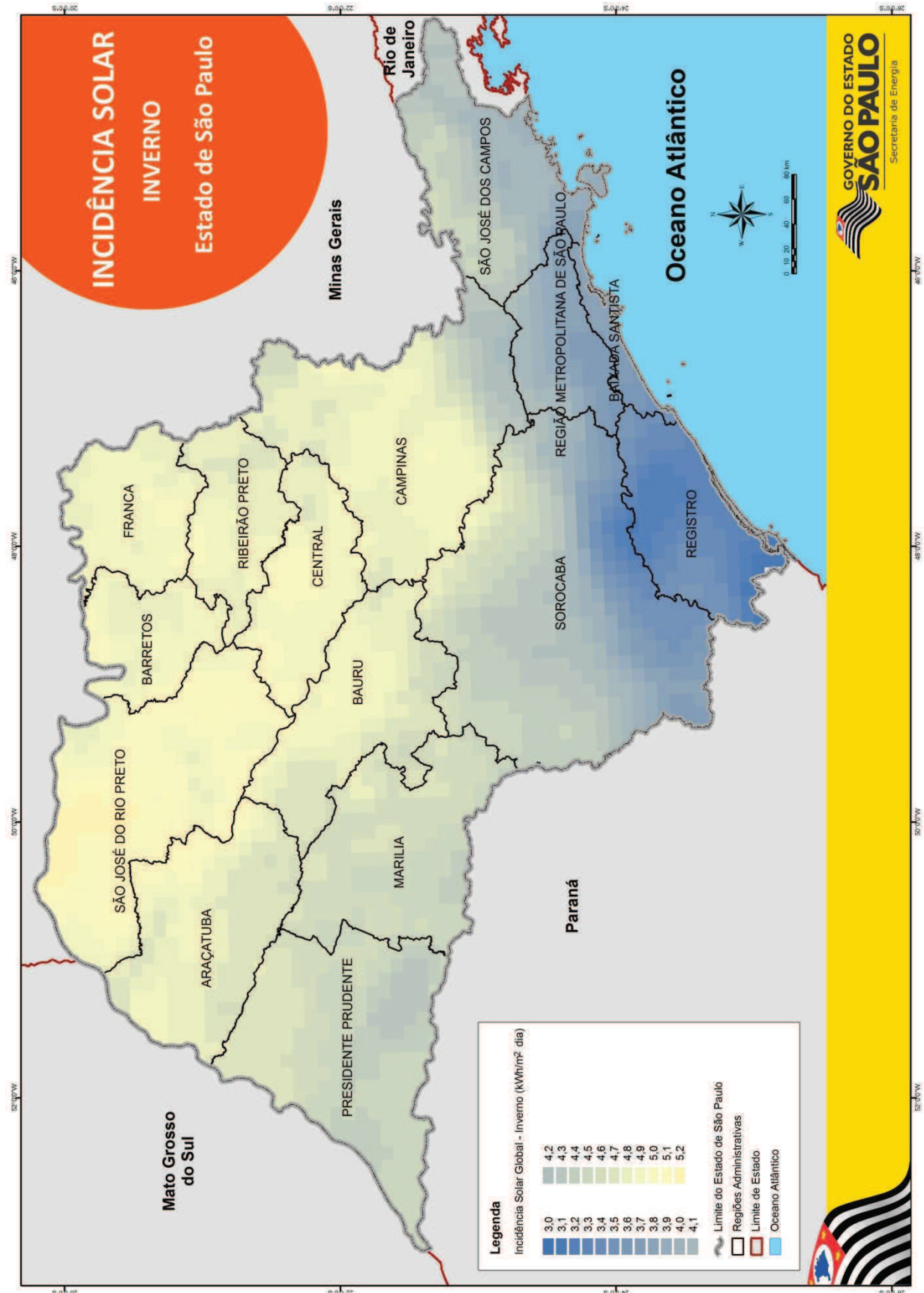
Mapa 3 - Incidência solar global no Verão – Estado de São Paulo.



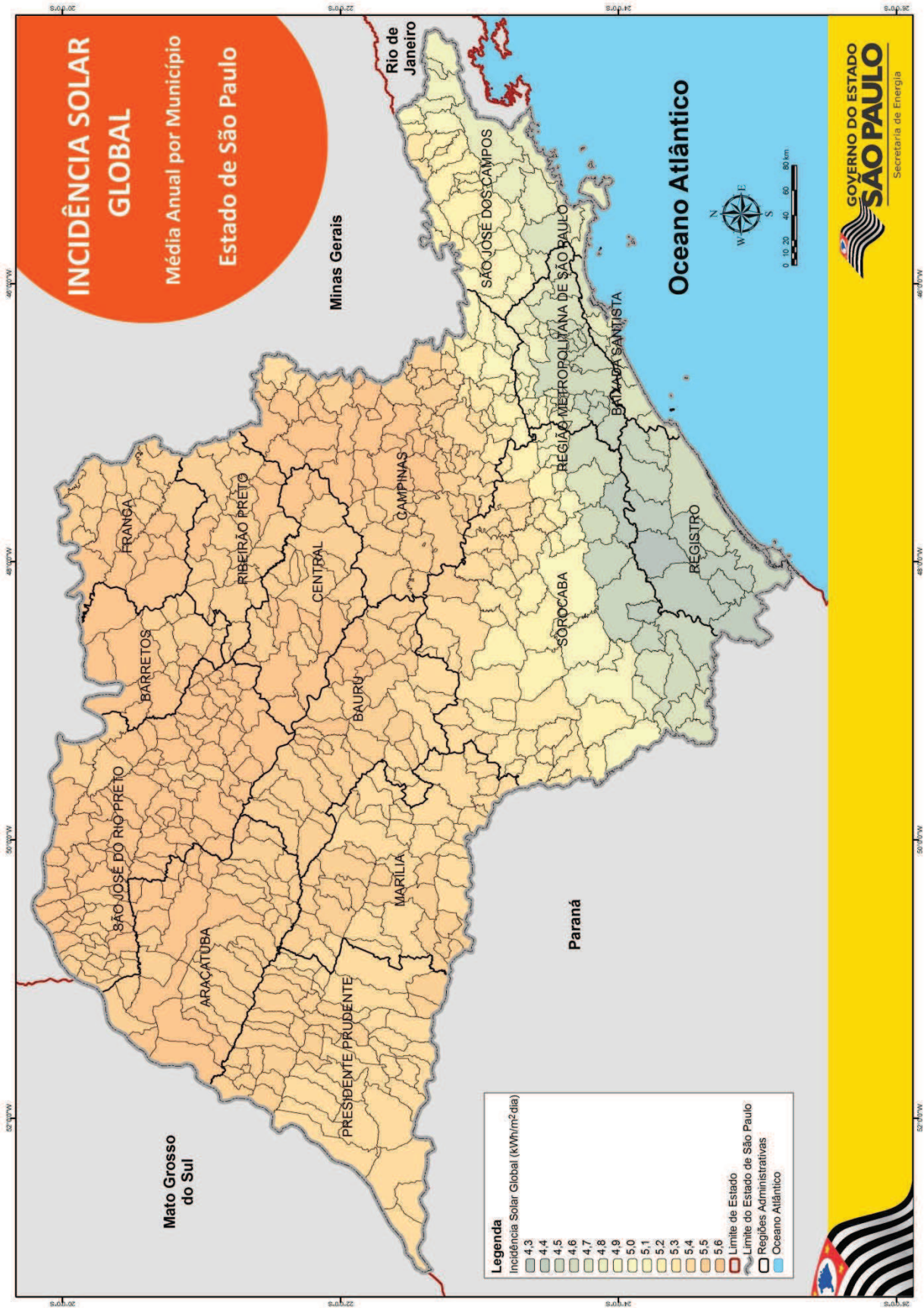
Mapa 4 - Incidência solar global no Outono – Estado de São Paulo.



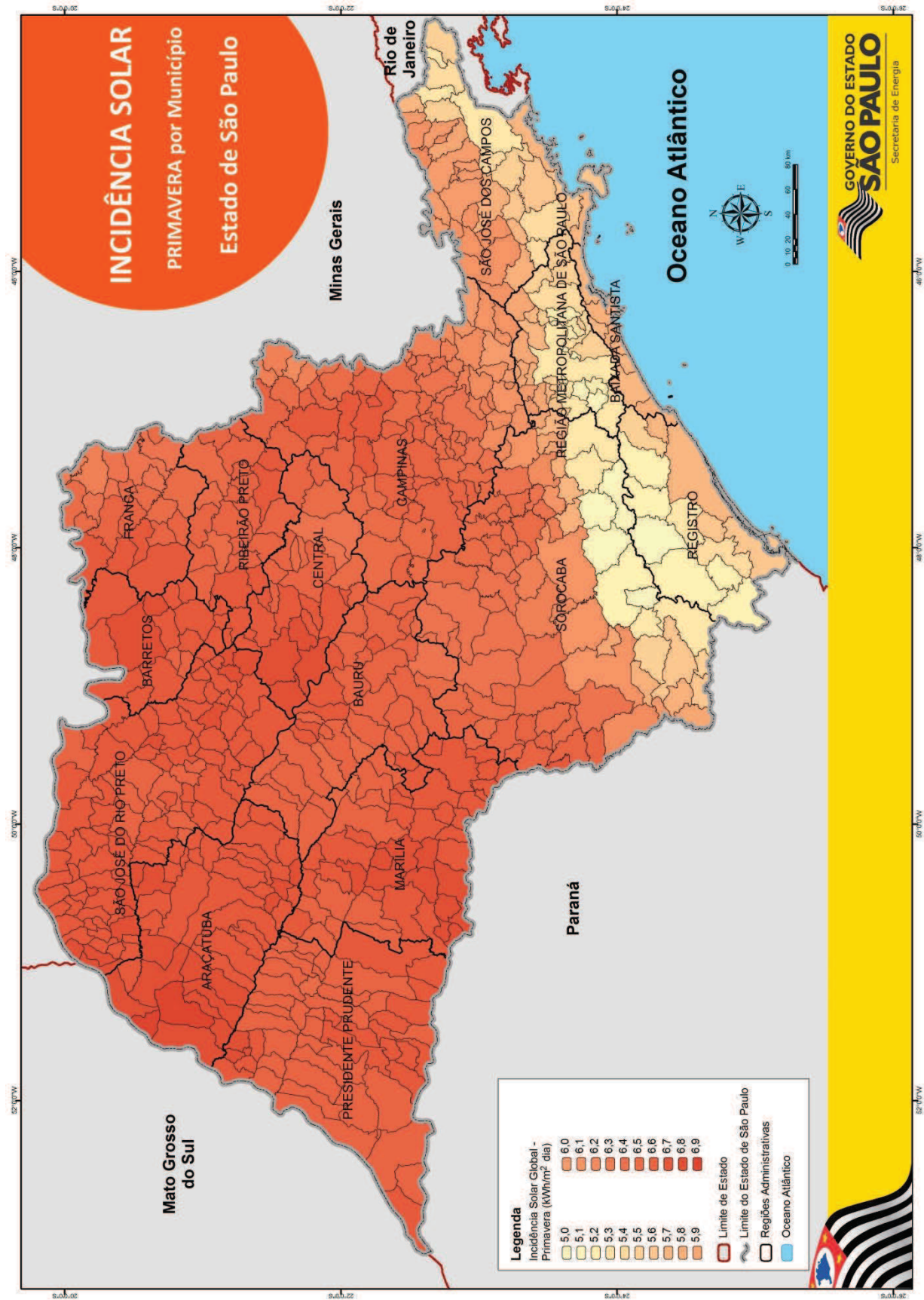
Mapa 5 - Incidência solar global no Inverno – Estado de São Paulo.



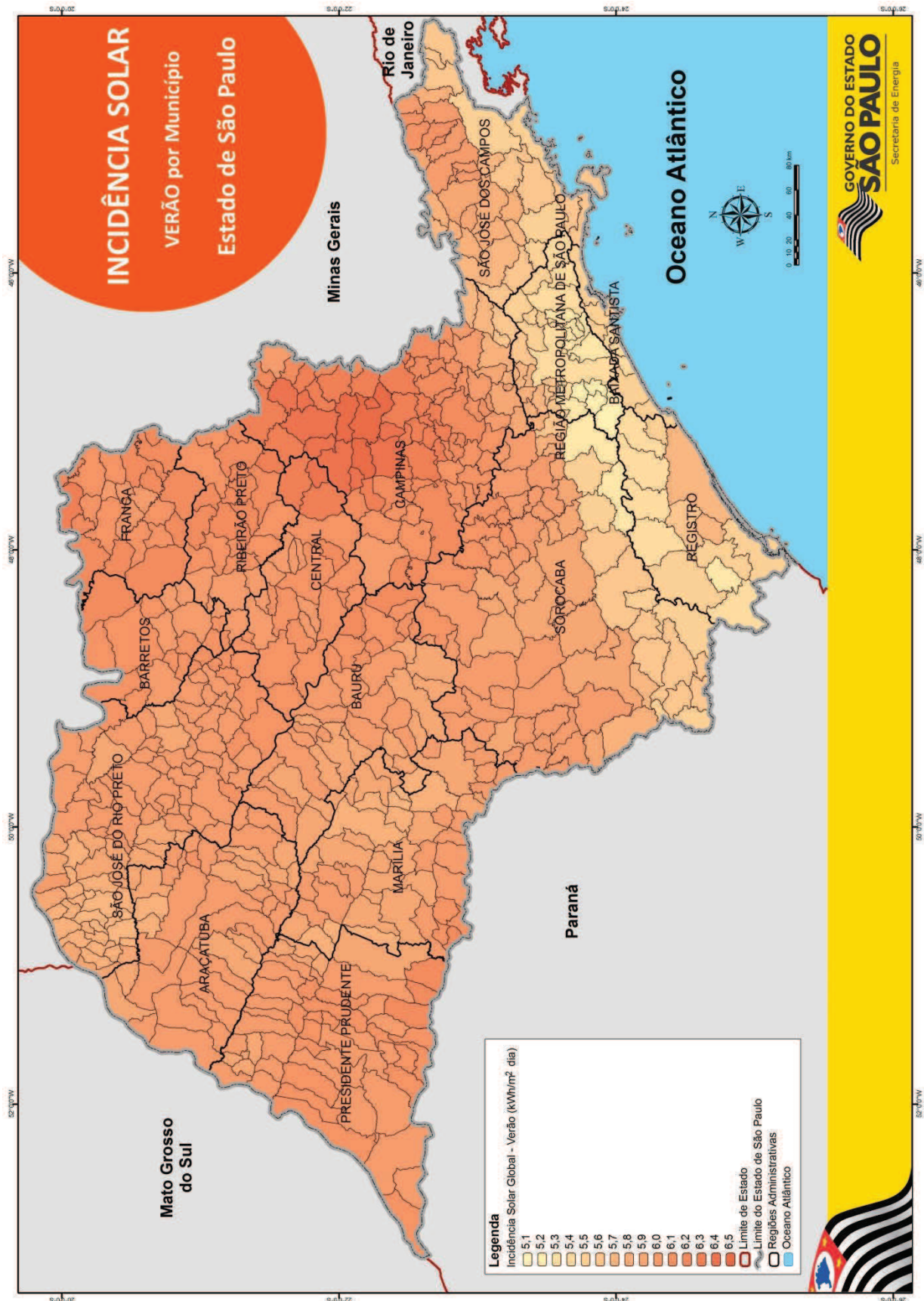
Mapa 6 - Incidência solar global média anual – Municípios do Estado de São Paulo.



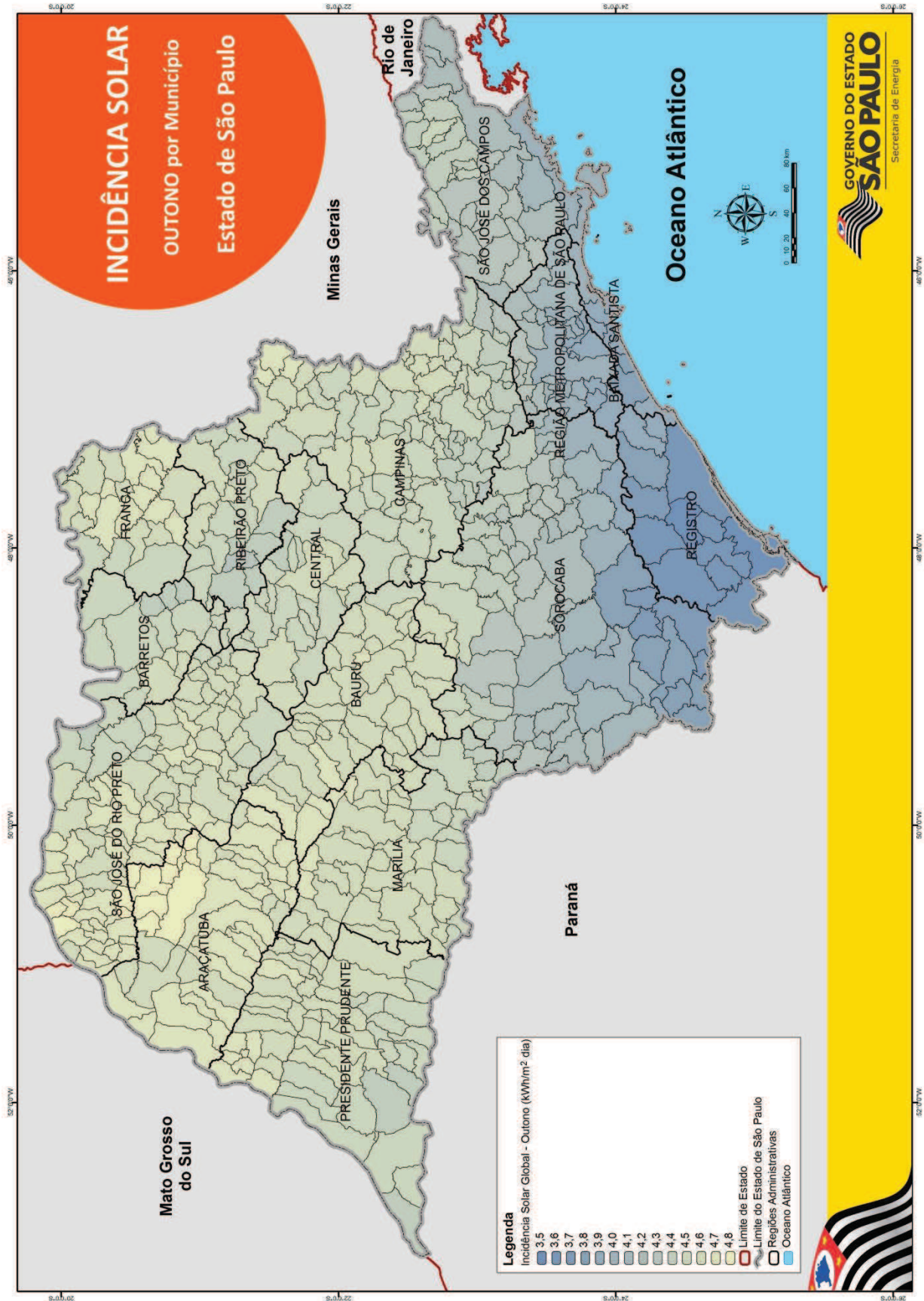
Mapa 7 - Incidência solar global na Primavera – Municípios do Estado de São Paulo.



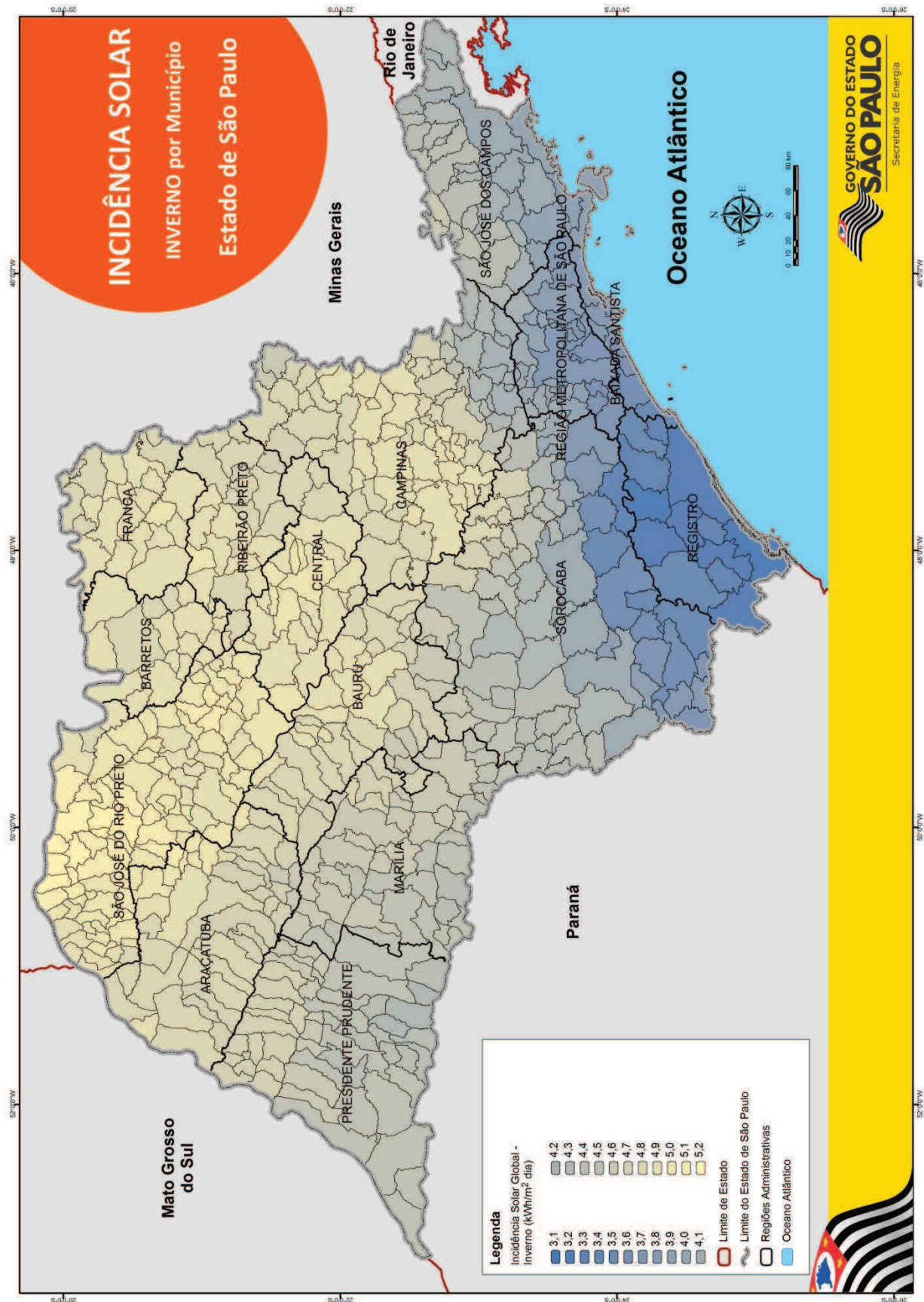
Mapa 8 - Incidência solar global no Verão – Municípios do Estado de São Paulo.



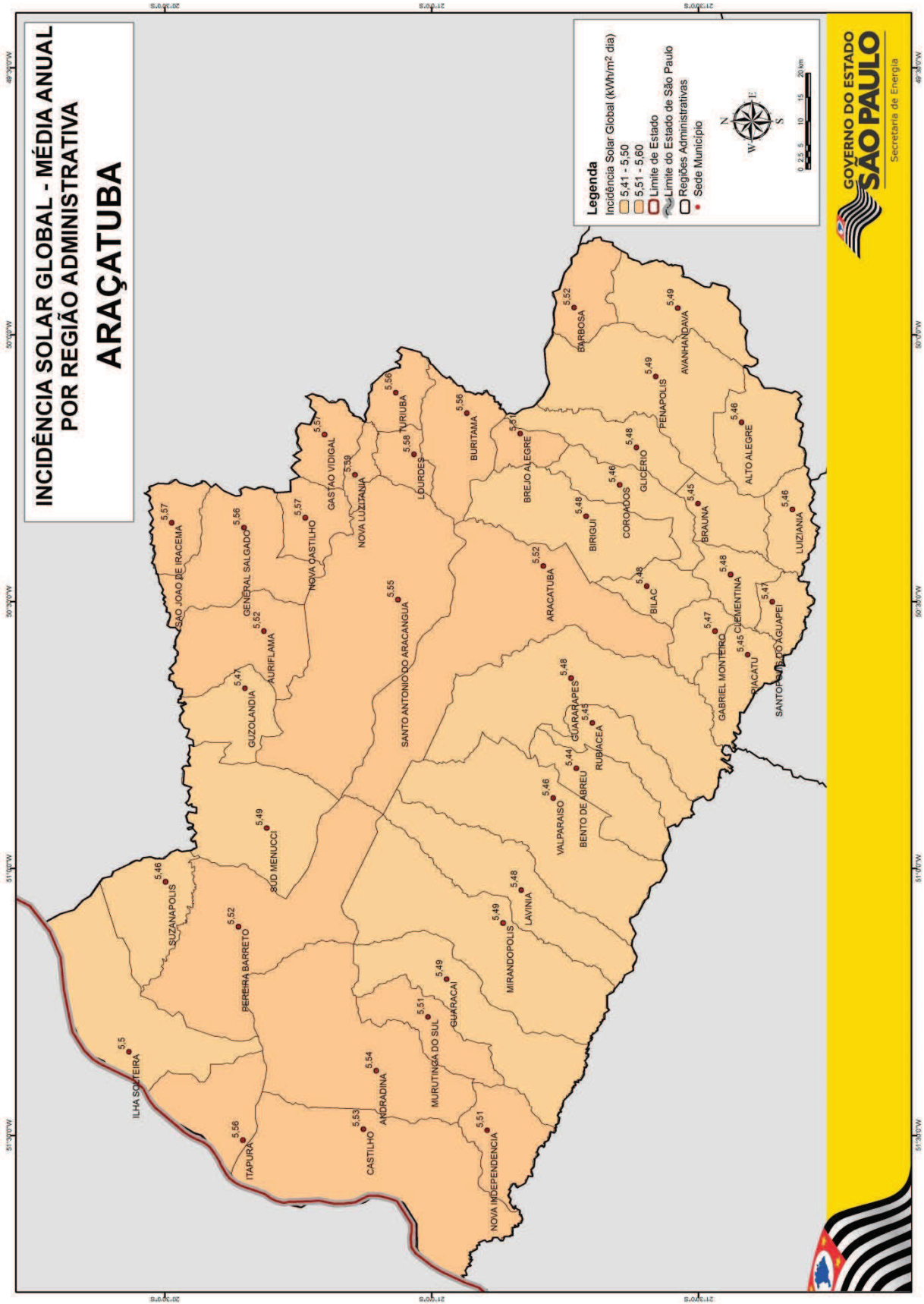
Mapa 9 - Incidência solar global no Outono – Municípios do Estado de São Paulo.



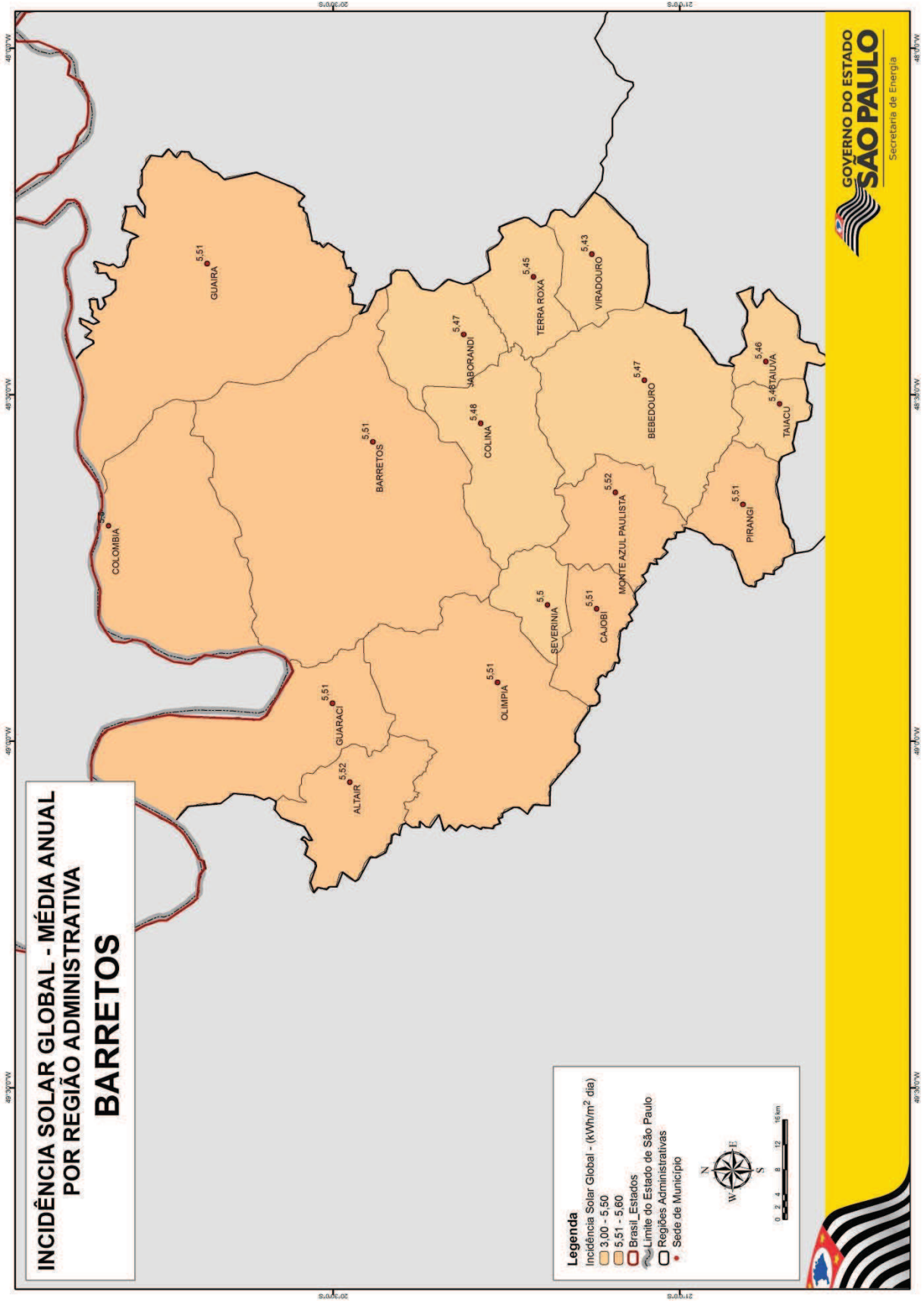
Mapa 10 - Incidência solar global no Inverno – Municípios do Estado de São Paulo.



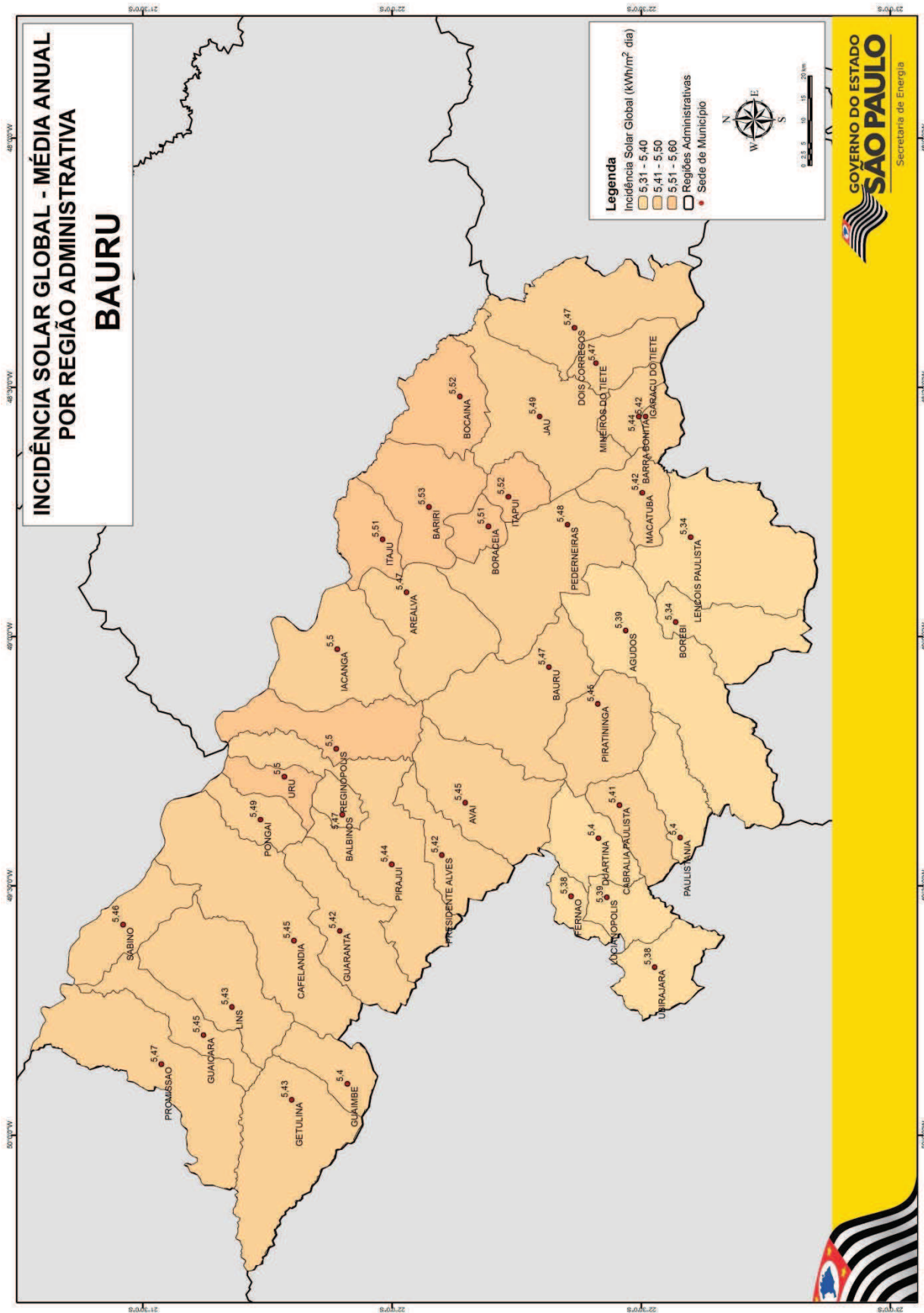
Mapa 11 - Incidência solar global na Região Administrativa de Araçatuba – São Paulo.



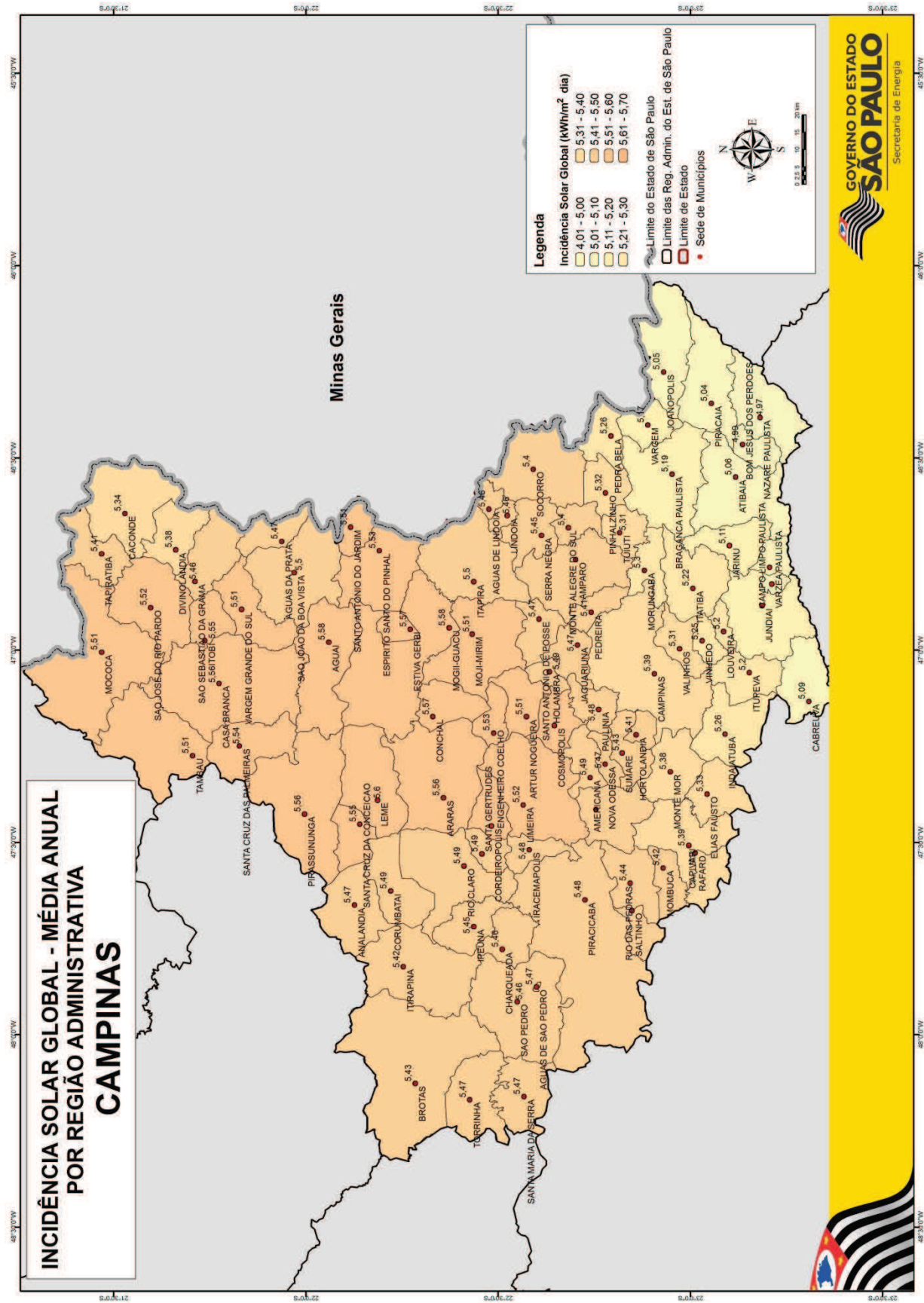
Mapa 12 - Incidência solar global na Região Administrativa de Barretos – São Paulo.



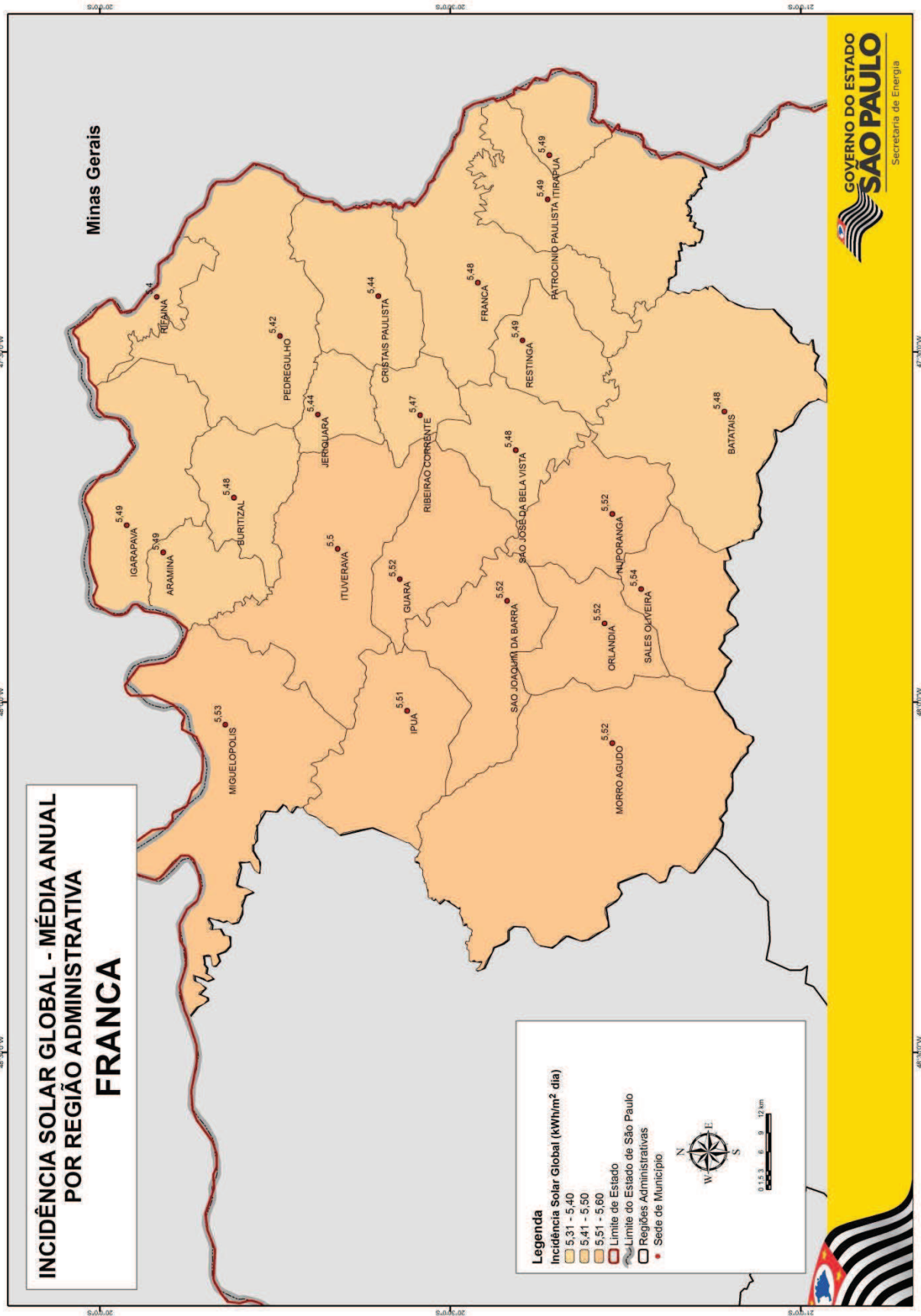
Mapa 13 - Incidência solar global na Região Administrativa de Bauru – São Paulo.



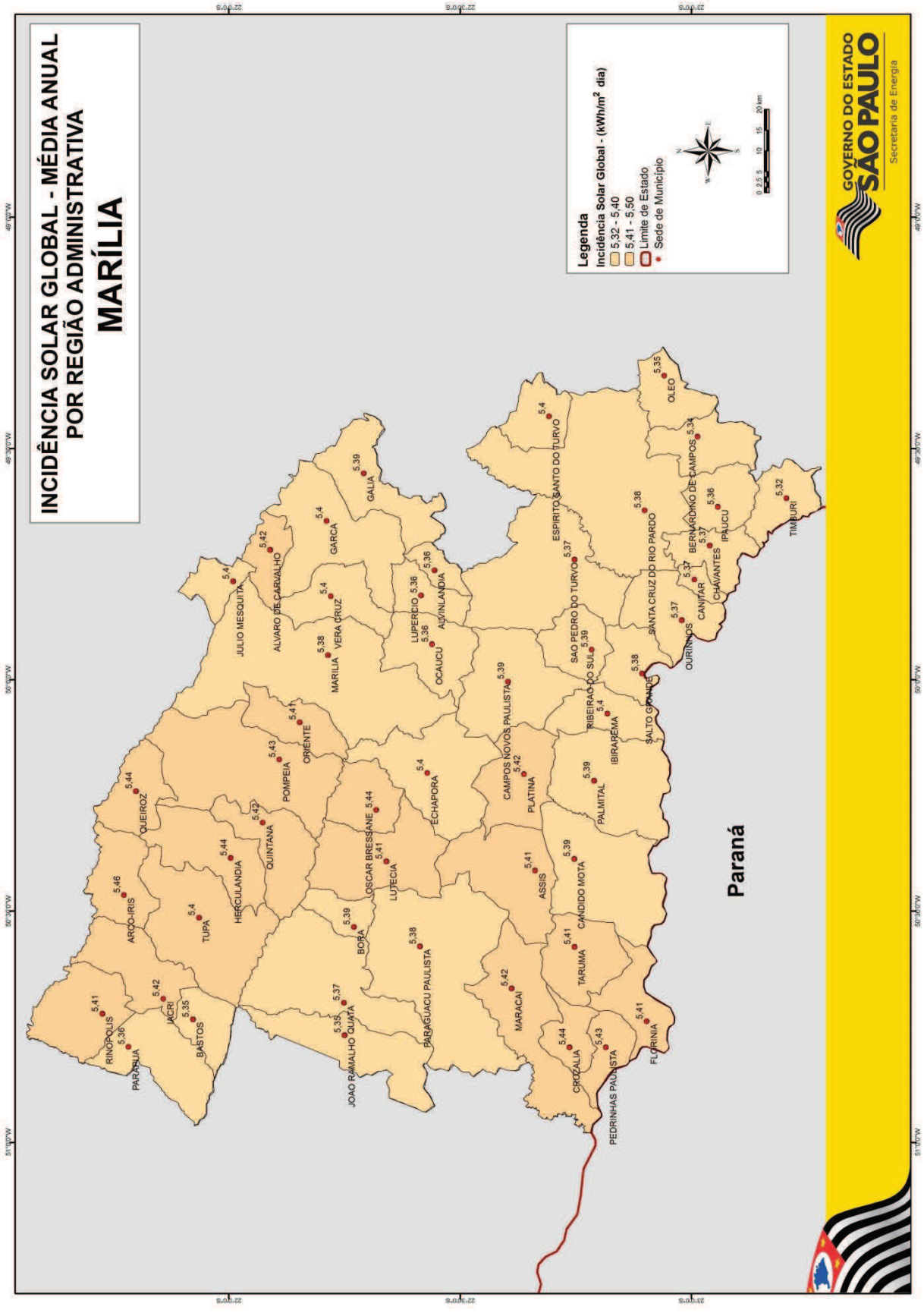
Mapa 14 - Incidência solar global na Região Administrativa de Campinas – São Paulo.



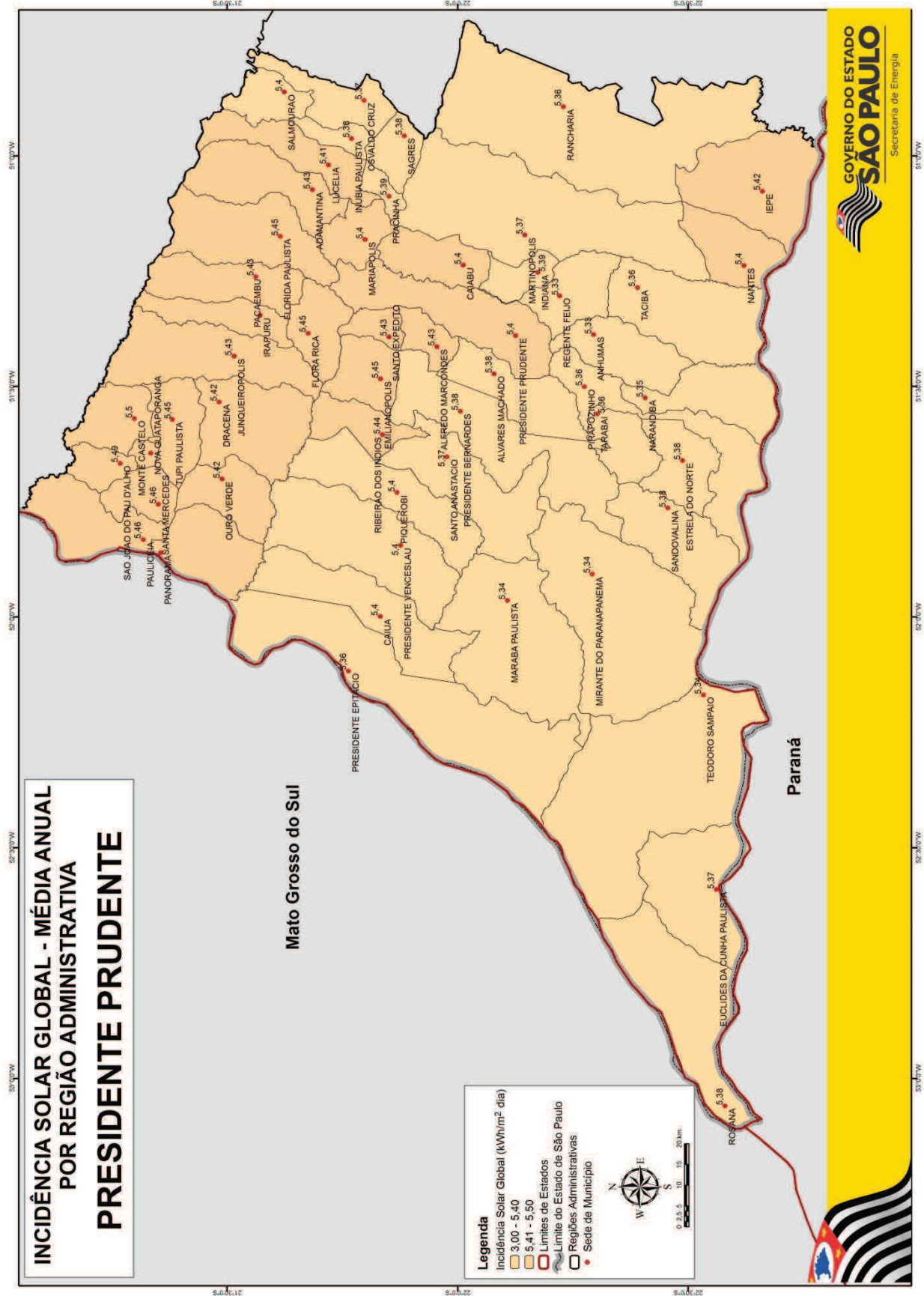
Mapa 15 - Incidência solar global na Região Administrativa de Franca – São Paulo.



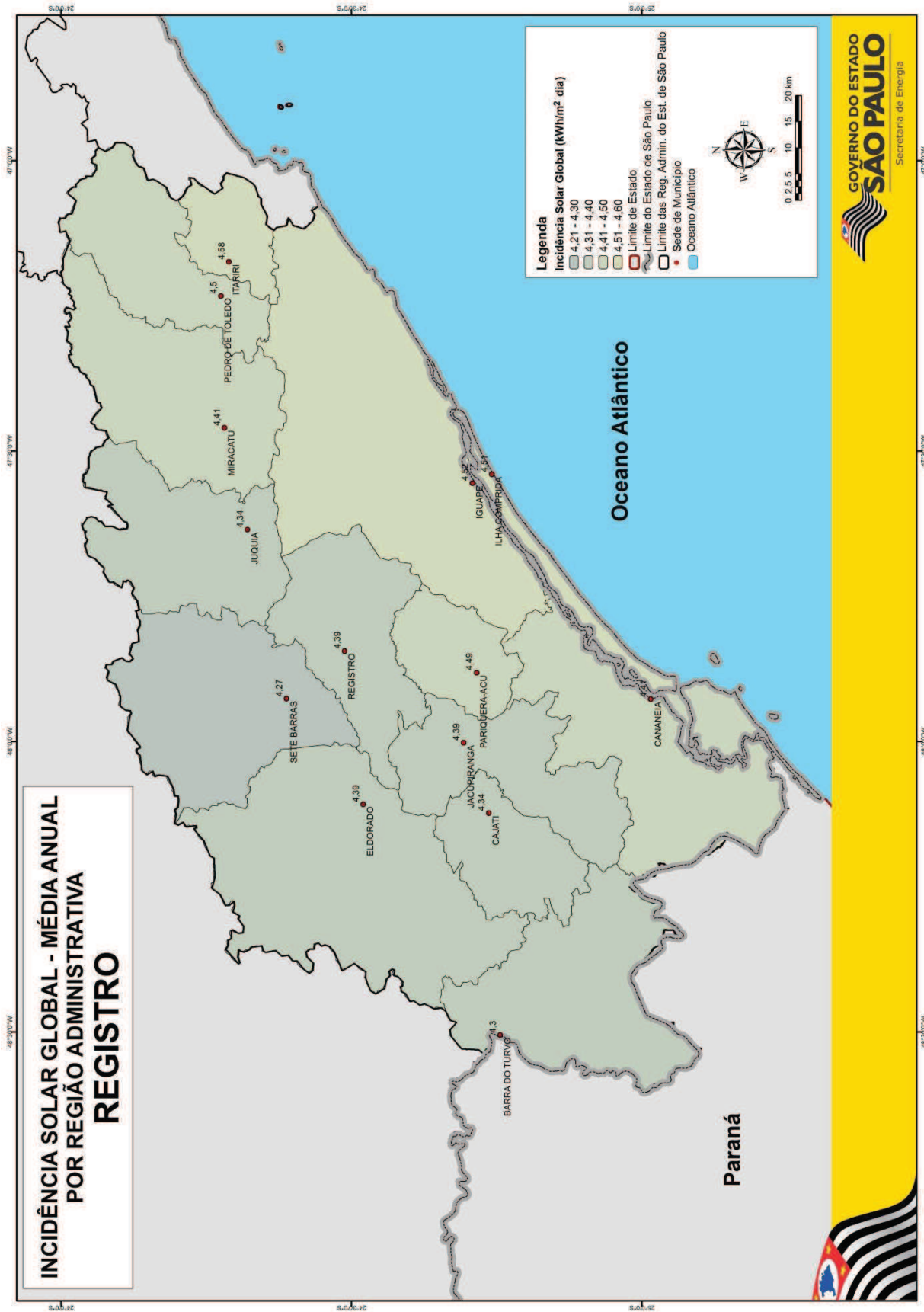
Mapa 16 - Incidência solar global na Região Administrativa de Marília – São Paulo.



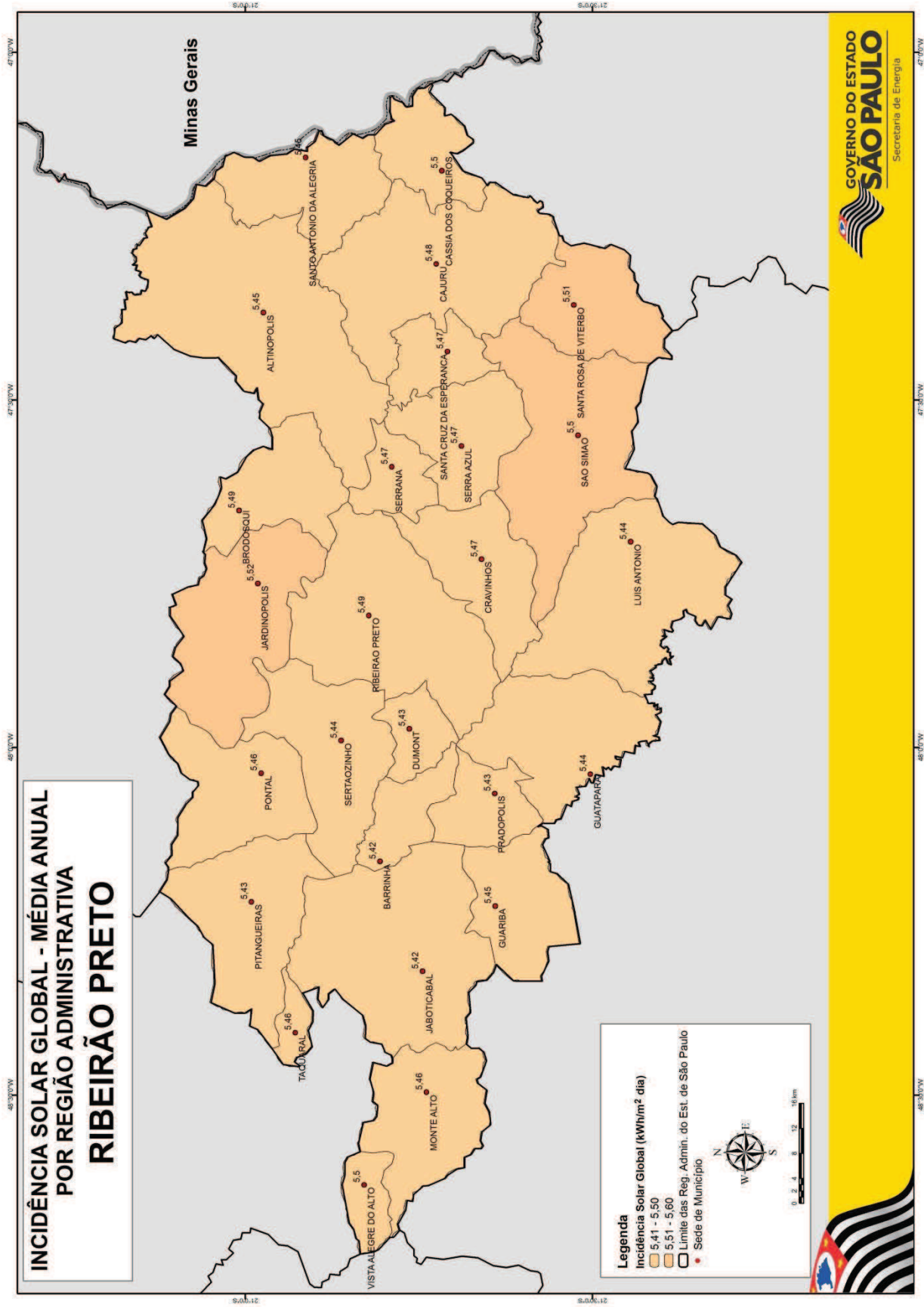
Mapa 17 - Incidência solar global na Região Administrativa de P. Prudente – São Paulo.



Mapa 18 - Incidência solar global na Região Administrativa de Registro – São Paulo.



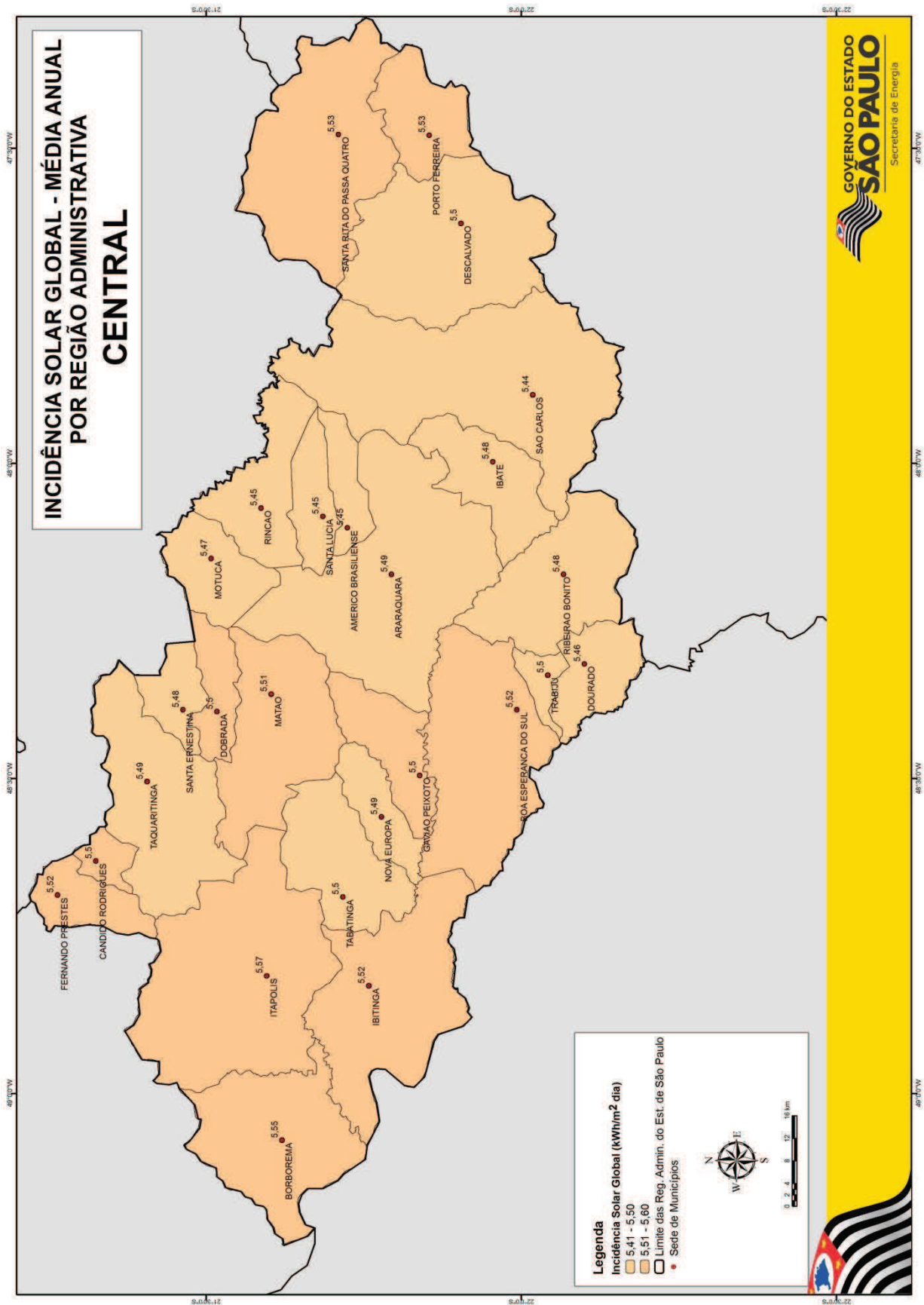
Mapa 19 - Incidência solar global na Região Administrativa de Ribeirão Preto – São Paulo.



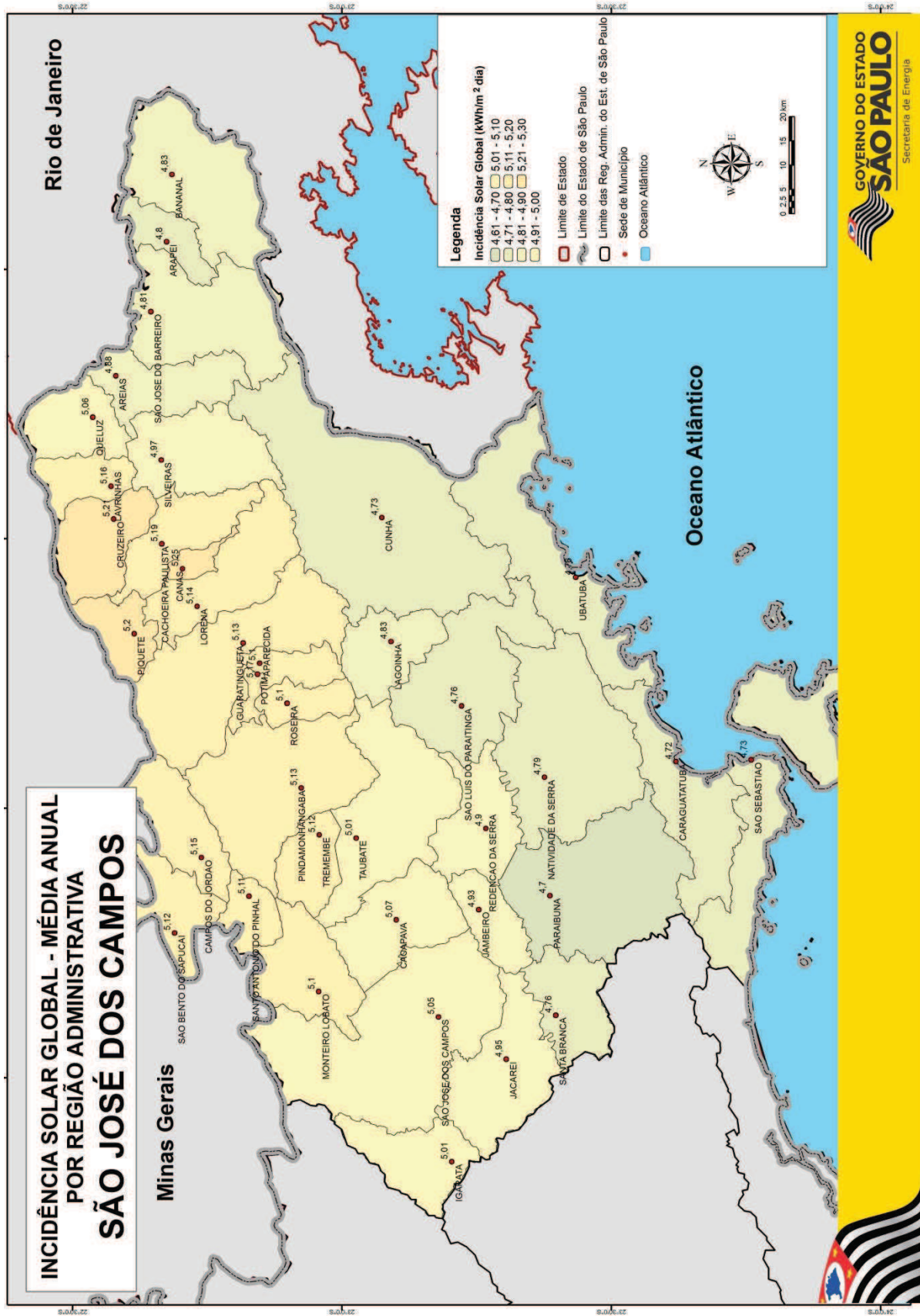
Mapa 20 - Incidência solar global na Região Administrativa de Santos (Baixada Santista) – São Paulo.



Mapa 21 - Incidência solar global na Região Administrativa de São Carlos (Central) – São Paulo.



Mapa 22 - Incidência solar global na Região Administrativa de S. J. dos Campos – São Paulo.



Segundo as informações que originaram este estudo de potencial, a energia incidente global no estado de São Paulo pode ser dividida em faixas que, por sua vez, correspondem a uma área do território paulista. Esta energia incidente global pode ser em parte utilizada em equipamentos solares para produção de eletricidade.

Da energia incidente global uma parcela considerável não é utilizada pelas células para gerar energia elétrica. Sobre esta parcela útil é que são considerados os rendimentos dos equipamentos em função da tecnologia utilizada. Atualmente estes índices são, em média, os seguintes:

Células monocristalinas: São as mais eficientes, podendo aproveitar de 14 a 16% da energia solar, porém seu custo ainda é muito elevado.

Células policristalinas: Tem uma eficiência de 12 a 14% e os preços são mais acessíveis que as células monocristalinas.

Células de silício amorfo: Esta tecnologia consiste na deposição de camadas muito finas de ligas de silício sobre diversos tipos de materiais, possuindo um custo de produção relativamente reduzido, mas uma eficiência da ordem de 7 a 11%.

Quadro 1 –Tipos de células fotovoltaicas.

Dos consideráveis potenciais energéticos, por faixa de radiação global incidente, considera-se que aproximadamente 10% das áreas analisadas apresentam condições técnicas e econômicas efetivas de utilização.

Radiação Solar Anual Incidente (kWh/m².dia)	Potenciais (TWh/ano) *	Área (%)
4,20 – 4,30	33	1,1
4,31 – 4,40	63	2,0
4,41 – 4,50	105	3,2
4,51 – 4,60	91	2,8
4,61 – 4,70	117	3,5
4,71 – 4,80	130	3,8
4,81 – 4,90	76	2,2
4,91 – 5,00	70	1,9
5,01 – 5,10	112	3,1
5,11 – 5,20	172	4,6
5,21 – 5,30	184	4,8
5,31 – 5,40	606	15,6
5,41 – 5,50	1162	29,4
5,51 – 5,60	878	21,8
5,61 – 5,70	12	0,3
Total	3.810	100

Tabela 4 – Potencial solar do estado de São Paulo – Energia e Área.
* Energia elétrica disponível na rede

O potencial solar fotovoltaico inicial considerado para este trabalho utiliza somente a última faixa como referência. Desta forma, consideram-se os seguintes números:

Viabilidade Técnica-Econômica

Potencial:	9.100 MWp
Área:	732 km ²
Energia:	12.085.166 MWh/ano

Tabela 5 – Potencial solar do estado de São Paulo – Faixa Referência.

Atualmente, apesar da ampla possibilidade de aplicação da tecnologia solar, no estado de São Paulo ela se manifesta de forma tímida, basicamente em aplicações residenciais para aquecimento de água, em usos específicos (fiscalização, telefonia, etc.), em unidades de pesquisa e desenvolvimento e em pequenas localidades isoladas. Esta pequena manifestação na matriz energética paulista representa o grande desafio que este documento pretende equacionar e colocar realmente este Estado na Rota do Sol.

Para tanto, ações que visem o direcionamento de políticas públicas relacionadas ao equacionamento de entraves

financeiros, tecnológicos, burocráticos, institucionais e de capacitação, devem ser alinhados considerando as vantagens socioambientais da utilização da tecnologia solar.

Dentre os temas que devem envolver toda a sociedade destacam-se os relacionados ao licenciamento ambiental voltado a linhas de financiamento específicas de projetos, a implantação de polos tecnológicos, a análise tributária visando à aquisição de ativos e implantação de empreendimentos, o desenvolvimento e disponibilização de uma base de informações geo-técnico-econômica, a implantação de leilões por fonte e regionais e o estabelecimento de regulamentação clara, objetiva e perene.

Bibliografia:

[1] Atlas Solarimétrico do Brasil : banco de dados solarimétricos /coordenador Chiguera Tiba... et al.- Recife : Ed. Universitária da UFPE, 2000.

[2] Plano Nacional de Energia 2030 / Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética . _ Brasília : MME : EPE, 2007.

[3] Atlas Brasileiro de Energia Solar / Enio Bueno Pereira; Fernando Ramos Martins; Samuel Luna de Abreu e Ricardo Rüther. – São José dos Campos: INPE, 2006.

APOIO



Uso da imagem da capa autorizada pela Empresa Martifer Solar.

