

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA CONECTADA À REDE ELÉTRICA¹

Mauro Fonseca Rodrigues²; Gyordan Bervian Machado³, Maiara Pies Hoss⁴,
Silvana Zauza⁵

¹ Trabalho de Pesquisa realizado no curso de Engenharia Elétrica Unijuí.

² Diretor do projeto, Mestre Engenheiro Eletricista, mauro.rodriques@gmail.com

³ Integrante do Projeto, Estudante de Engenharia Elétrica, gyordangbm@gmail.com

⁴ Integrante do Projeto, Estudante de Engenharia Elétrica, maiara.hoss@live.com

⁵ Integrante do Projeto, Estudante de Engenharia Elétrica, silvana.zauza@gmail.com

Resumo

Esse trabalho tem por objetivo o estudo de caso para instalação de células fotovoltaicas em prédios na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – Unijuí, através de pesquisa teórica e do dimensionamento dos materiais necessários, baseados no consumo atual de energia elétrica, demonstrando a viabilidade técnica de instalação desse sistema de geração de energia elétrica e analisando o retorno financeiro do investimento efetuado.

Palavras Chaves: Energia - *Energia Fotovoltaica – Geração de Energia Elétrica – Engenharia Econômica.*

Introdução

No Brasil, cerca de setenta e um por cento da oferta total de energia elétrica é proveniente de grandes centrais hidrelétricas distantes dos grandes centros de consumo. O restante desta oferta é obtido, em grande parte, através de combustíveis fósseis.

Pode-se destacar também a importância da micro geração distribuída para o SEP (Sistema Elétrico de Potência) como uma fonte de energia complementar, sendo que os SFCRs (Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede) aumentam a diversidade das fontes de geração em momentos que outras fontes de energia não conseguem suprir a demanda, e também reduzem a dependência das fontes poluentes, diminuindo a emissão de CO₂ na atmosfera, pois se trata de uma fonte de energia renovável.

As principais justificativas para a implantação de um sistema de Geração Distribuída são: a contribuição com o sistema elétrico, a redução do custo com a tarifa de energia e diminuição dos impactos ambientais. Desde que entrou em vigência pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) a Resolução Normativa (RN) nº 482, de 17 de abril de 2012, possibilitou ao consumidor gerar energia elétrica e fornecer o excedente à rede de distribuição. Para que se tenha o resultado economicamente positivo, neste estudo será dimensionado um sistema de geração visando reduzir os gastos com a fatura de energia elétrica da concessionária de forma a saldar o investimento.

Metodologia

Afim de atender o objetivo proposto, a busca pelos dados analisados se concentrou em informações divulgadas em relatórios técnicos, através de revisões bibliográficas, trabalhos de conclusões de curso, teses de mestrados e informações obtidas através da ANEEL e utilizando o software RADIASOL 2 (programa desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS).

Estudo de caso

O objetivo deste estudo de caso é analisar a viabilidade técnica para a implantação de um sistema de geração fotovoltaica distribuída, na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – Unijuí, localizada na zona urbana da cidade de Santa Rosa, RS, com a intenção de reduzir os gastos com a tarifa de energia elétrica da concessionária. Sendo que a Geração Distribuída estará incorporada ao SEP, pois este sistema trata do conjunto de instalações e equipamentos destinados à geração, transmissão, distribuição e consumo de energia elétrica.

A unidade de geração instalada produzirá a sua própria energia, e o que for excedente, será injetado na rede elétrica da distribuidora local, gerando créditos para serem compensados nas faturas dos meses subsequentes. Estes créditos tinham validade de 36 meses até 2016 para serem utilizados, caso contrário expirarão (MONTENEGRO, 2013). Agora com a Resolução da ANEEL 687 (2015), são 60 meses até expirarem.

Ao realizar o dimensionamento foram realizados os cálculos baseados na figura 1 Para encontrar o ângulo de inclinação do telhado.

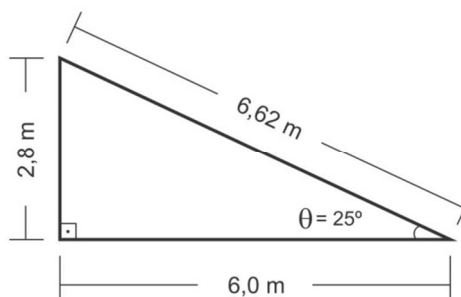


Figura 1 - Inclinação do telhado (blocos A e B) Fonte (autoria própria)

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{h}{l}\right)$$

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{2,8 \text{ m}}{6,0 \text{ m}}\right) = 25^\circ$$

(inclinação do telhado)

Onde:

β = ângulo de inclinação do módulo fotovoltaico ($^\circ$);

h = altura (m);

l = comprimento (m).

$$a^2 = b^2 + c^2 \qquad a = \sqrt{a^2 + b^2} \qquad a = \sqrt{2,8^2 + 6^2} \qquad a = 6,62 \text{ m} = h$$

Ao realizar os cálculos das áreas dos espaços disponíveis, observou-se que há espaço suficiente para instalação dos módulos fotovoltaicos dimensionados, conforme se pode observar nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Área total dos telhados – Fonte (autoria própria)

ÁREAS DOS TELHADOS			
TELHADO BLOCO A		TELHADO BLOCO B	
Altura (m ²)	6,60	Altura (m ²)	6,60
Largura (m ²)	80,00	Largura (m ²)	80,00
Área total (m ²)	528	Área total (m ²)	528
Área total dos telhados A e B		1056 m²	

Tabela 2 - Área total dos módulos fotovoltaicos – Fonte (autoria própria)

ÁREA DOS MÓDULOS	
Número de placas	578
Área total placa (m ²)	1,63
Área total de ocupação dos módulos	942,14 m²

Como os espaços disponíveis possuem a mesma área, pode-se distribuir 289 módulos no bloco A e 289 módulos no bloco B, totalizando a instalação de 578 módulos, conforme dimensionado.

Na figura 2 podemos observar o layout do telhado com a instalação dos módulos fotovoltaicos, demonstrando uma vista superior da edificação.

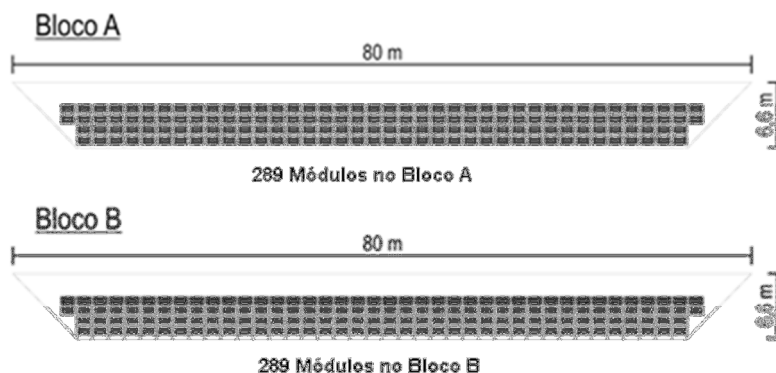


Figura 2 - Vista superior do telhado Fonte: (autoria própria).

Cálculo da radiação incidente

Para o cálculo da radiação incidente, fez-se necessário encontrar a latitude, a longitude e o desvio em relação ao norte geográfico do local. Foi utilizado o Google Earth e se descobriu a latitude = 27,87° Sul e longitude = 54,48° Oeste.

De posse dos valores da radiação global horizontal da cidade de Santa Rosa, utilizou-se o software RADIASOL 2 (programa foi desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS), para calcular os valores de radiação com inclinação do telhado ($\beta=25^\circ$) e orientação norte.

Os valores obtidos de radiação solar no software são médias diárias para cada mês, dados em kWh/m², como se pode observar na figura 3.

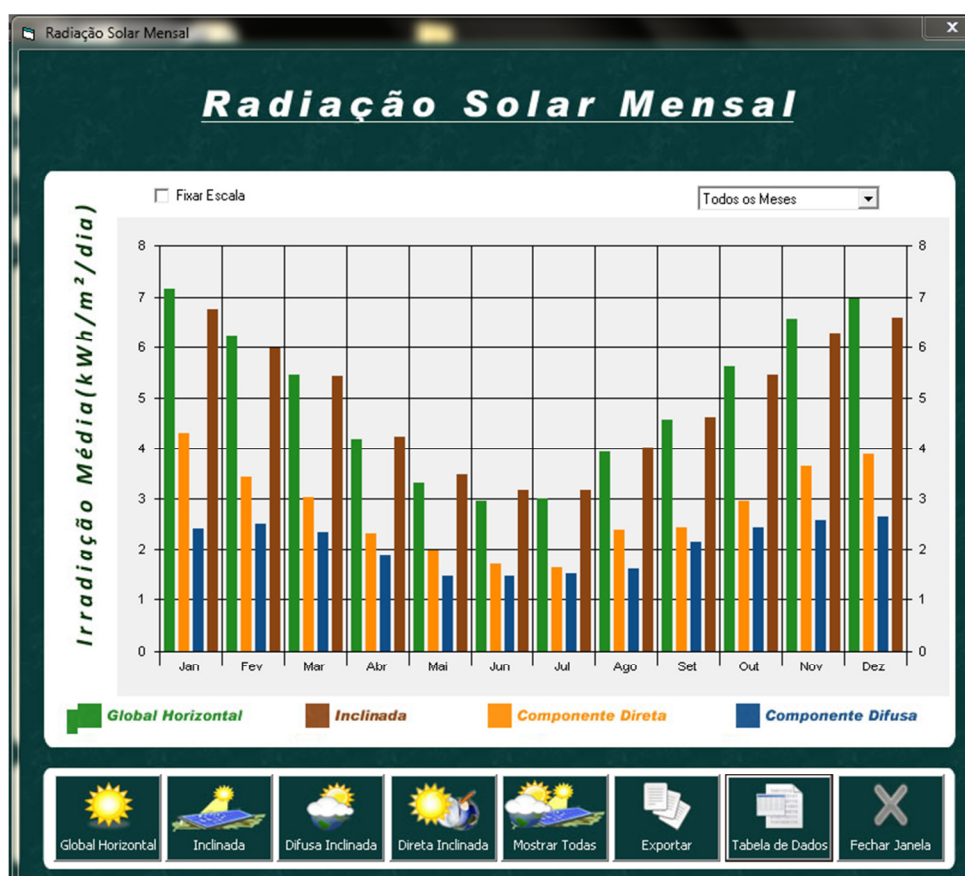


Figura 3 - Radiação solar mensal – Fonte Radiasol 2

O posicionamento incorreto reduz a quantidade de irradiação sobre o gerador fotovoltaico, diminuindo a quantidade de energia solar disponível para a conversão fotovoltaica (ALMEIDA 2012).

Cálculo da energia consumida

Para realizar os cálculos do dimensionamento do sistema, foram utilizados os dados da fatura de energia elétrica da universidade, num período anual compreendidos entre os meses de julho de 2015 a junho de 2016.

A Tabela 3 mostra o consumo anual, ao qual foi tarifado pela RGE (distribuidora de energia elétrica da região norte-nordeste do Estado do Rio Grande do Sul), na edificação em estudo.

Tabela 3 - Consumo de energia elétrica – Fonte (autoria própria)

Meses	Consumo de energia em kWh	Valor de kWh consumido por mês (R\$)	Valor consumido menos taxa disponibilidade (R\$)	Consumo médio diário em kWh/dia	Número de dias para cada mês
jul/15	16994	10312,69861	8152,498609	548,19	31
ago/15	18831	11427,47014	9267,270137	607,45	31
set/15	18676	11333,40939	9173,209393	622,53	30
out/15	22632	13734,08232	11573,88232	730,06	31
nov/15	17397	10557,25654	8397,056543	579,90	30
dez/15	17050	10346,68185	8186,481846	550,00	31
jan/16	13722	8327,106644	6166,906644	442,65	31
fev/16	20430	12397,81291	10237,61291	704,48	29
mar/16	23505	14263,8567	12103,6567	758,23	31
abr/16	23650	14351,84901	12191,64901	788,33	30
mai/16	16475	9997,746827	7837,546827	531,45	31
jun/16	18755	11381,35003	9221,15003	625,17	30
Média	19.009,75		112.508,921	624,04	

Observando a tabela 3, se verifica que são dados os números de dias de cada mês, estes servem para calcular o consumo médio diário considerando cada um desses meses.

Na equação abaixo são demonstrados as variáveis e o método para calcular e encontrar o valor do consumo médio diário referente há todos os meses.

$$E = C_{md} = \frac{cm_1}{nd} + \frac{cm_2}{nd} + \frac{cm_3}{nd} + \frac{cm_4}{nd} + \frac{cm_5}{nd} + \frac{cm_6}{nd} + \frac{cm_7}{nd} + \frac{cm_8}{nd} + \frac{cm_9}{nd} + \frac{cm_{10}}{nd} + \frac{cm_{11}}{nd} + \frac{cm_{12}}{nd}$$

Onde:

$E = C_{md}$ = consumo médio diário (kWh);

cm_n = consumo do referido mês do ano (kWh);

nd = número de dias do referido mês.

C_{md}

$$= \frac{16994}{31} + \frac{18831}{31} + \frac{18676}{30} + \frac{22632}{31} + \frac{17397}{30} + \frac{17050}{31} + \frac{13722}{31} + \frac{20430}{29} + \frac{23505}{31} + \frac{23650}{30} + \frac{16475}{31} + \frac{18755}{30}$$

12

$$C_{md} = 624,04 \text{ kWh/dia}$$

Ainda na tabela 3, verifica-se que o valor (R\$) gasto por mês é subtraído ao valor fixo da taxa de disponibilidade, que tem um custo de R\$ 10,04741935 e um contrato de disponibilidade de 215 kWh, então se realiza a soma do custo de todos os meses analisados, tem-se a economia anual, no valor de R\$ 112.508,921.

Dimensionamento do módulo

Conforme a norma da ABNT NBR 10899:2006, o módulo fotovoltaico é uma unidade básica formada por um conjunto de células solares interligadas e encapsuladas.

Foram realizadas pesquisas para verificar valores e aspectos técnicos dos módulos. Os principais itens analisados foram: a disponibilidade destes equipamentos no comércio nacional, se os módulos são certificados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), suas dimensões físicas, as características elétricas e a viabilidade econômica.

O módulo escolhido foi o de silício policristalino (p-Si), da marca Candian (modelo CS6P-270P), de potência máxima de 270 Wp, com dimensões de 1,638 x 0,982 x 0,40 (m), totalizando uma área total de cada módulo de 1,61 m² e considerando 0,02 m de espaçamento entre os módulos para fixação na estrutura, totalizando uma área de 1,63 m² para cada módulo. Além de satisfazer as especificações técnicas, possui menor custo, com valor individual de cada módulo de R\$ 850,00, variando de acordo com cada fornecedor.

Para a realização dos cálculos do dimensionamento dos módulos fotovoltaicos, utilizou-se a equação abaixo para saber a potência de geração necessária. Para os módulos ligados em série o sombreamento causa o bloqueio da corrente elétrica, tendendo polarizar reversamente as células atingidas, que contam com uma proteção instalada e desvios entre as células para evitar sobrecarga.

Onde:

$$P_{FV} = \frac{E \times G}{TD \times H_{TOT}}$$

$$P_{FV} = \frac{624,04 \times 1}{0,8 \times 5}$$

$$P_{FV} = \mathbf{156,01 \text{ kWp}}$$

- P_{FV} = potência fotovoltaica (kWp);
- E = consumo médio diário durante o ano (kWh);
- G = irradiância (1 kW/m²);
- H_{TOT} = irradiância diária média mensal para o sistema, considerado valor de 5 (kW/m²) fonte ANEEL;
- TD = taxa de desempenho do sistema (80%).

O valor de 156,01 kWp corresponde à potência necessária para abater 100% da conta de energia elétrica fora do horário de ponta. Com o valor da potência fotovoltaica calculada e o valor individual de cada módulo, de 270 Wp, pode-se calcular o número de módulos necessário para o sistema através da equação abaixo:

$$N_{mód} = \frac{P_{FV}}{P_{mód}}$$

$$N_{mód} = \frac{156,01k \text{ Wp}}{270 \text{ W}}$$

$$N_{mód} = \mathbf{577,82 \text{ módulos}}$$

Onde:

- $N_{mód}$ = número de módulos;
- P_{FV} = potência fotovoltaica (Wp);
- $P_{mód}$ = potência do módulo escolhido (Wp).

Então, são necessários 578 módulos fotovoltaicos para atender a demanda da potência necessária de geração de 156,01 kWp.

Dimensionamento do inversor

Foram pesquisados inversores com as grandezas elétricas que atendam os dados calculados para os módulos. No momento da escolha deu-se preferência aos inversores que possuíssem, além dos sistemas de proteção, o sistema com seguimento do ponto de máxima potência.

O inversor escolhido foi o Fronius modelo Eco 27.0-3-S, trifásico de 27.000 W, sendo necessários seis inversores para atender a potência de 156,01 kW. O mesmo é do tipo on-grid, ou seja, é utilizado para conectar a energia gerada pelo sistema fotovoltaico na rede elétrica, sem a necessidade de banco de baterias. Apesar de não ser o de menor preço, tem uma alta eficiência (98,3%), sua marca é bastante conceituada possuindo grande confiabilidade no mercado. O custo individual de cada um é de R\$ 21.000,00, podendo sofrer alterações.

Dimensionamento dos demais componentes

Com exceção dos painéis e inversores os outros componentes e serviços dos sistemas fotovoltaicos fazem parte do *BoS* (do inglês: *Balance of System*), que engloba estruturas mecânicas de sustentação, cabos, conectores, disjuntores, instalação, trabalhos administrativos, de engenharia, vendas, entre outros. O valor referente ao *BoS*, é da porcentagem de aproximadamente 30% do empreendimento total. (EPE, 2012).

Onde:

$CBos$ – Preço unitário do Bos [R\$]

Pai – Preço unitário do painel [R\$]

np – Número de painéis

ni – Número de inversores

$Pinv$ – Preço unitário do inversor [R\$]

$$CBos = (Pai * np + Pinv * ni) * 0,3$$

$$CBos = (850,00 * 578 + 21000 * 6) * 0,3$$

$$CBos = 185.190,00$$

Para o sistema do projeto em questão teremos um gasto com BoS em torno de R\$185.190,00 é importante lembrar que este valor é uma estimativa baseada em informações da EPE.

Somando os custos do BoS, com os custos dos módulos e dos inversores teremos o custo total do sistema de geração fotovoltaica, totalizando R\$ 802.490,00. Esse dado será usado para realizar o cálculo econômico de acordo com o *Payback* (PB). Será considerada uma Taxa Mínima Atrativa (TMA) de 8% ao ano, conforme a caderneta de poupança dos últimos meses.

Conforme (Miranda, 2014), o PB ou retorno de investimento, é o tempo necessário para que se obtenha a recuperação de todo o capital investido em algum projeto. É uma técnica muito utilizada em sistemas elétricos e de eficiência energética para analisar a sua viabilidade econômica.

Para o cálculo será usado a TIR (Método da taxa interna de retorno), que representa uma taxa de juro que relaciona o capital investido com o valor recuperado ao final do investimento.

A economia anual considerou a subtração do valor consumido, pela taxa de disponibilidade contratada, obtendo uma economia anual de R\$ 112.508,921, conforme pode ser visto na tabela 4, onde aparece o resultado da TIR, considerando 8% para o cálculo TMA.

Tabela 4 – Resultado para a TIR -Fonte (autoria própria).

Taxa Interna de Retorno (TIR)		
Ano	Economia anual (R\$)	fluxo de caixa
		-R\$ 802.490,00
1	112508,921	-R\$ 689.981,08
2	112508,921	-R\$ 577.472,16
3	112508,921	-R\$ 464.963,24
4	112508,921	-R\$ 352.454,32
5	112508,921	-R\$ 239.945,40
6	112508,921	-R\$ 127.436,47
7	112508,921	-R\$ 14.927,55
8	112508,921	R\$ 97.581,37
9	112508,921	R\$ 210.090,29
10	112508,921	R\$ 322.599,21
11	112508,921	R\$ 435.108,13
12	112508,921	R\$ 547.617,05
13	112508,921	R\$ 660.125,97
14	112508,921	R\$ 772.634,89
15	112508,921	R\$ 885.143,81
16	112508,921	R\$ 997.652,74
17	112508,921	R\$ 1.110.161,66
18	112508,921	R\$ 1.222.670,58
19	112508,921	R\$ 1.335.179,50
20	112508,921	R\$ 1.447.688,42
	Resultado	9%

Conforme verificado na Tabela de resultados da TIR, percebemos que a taxa ficou em 9%, acima da TMA de 8,00% do projeto, então, podemos afirmar que é economicamente viável o investimento.

Resultados e Discussões

Para o dimensionamento em estudo, foram coletados os seguintes dados da edificação: a inclinação do telhado, orientação solar e área disponível. Com esses dados e o histórico do consumo de energia elétrica, foi possível realizar o cálculo da potência fotovoltaica a ser instalada e também o número de módulos necessários, chegando ao resultado equivalente a 100% da compensação da tarifa de energia elétrica do período de fora de ponta.

Quanto à viabilidade econômica foi utilizado o indicador da Taxa Interna de Retorno. Para esse foi considerado uma economia anual da tarifa de energia em torno de R\$ 112.508,921 e uma Taxa Mínima Atrativa de 8,00% de acordo com a caderneta de poupança. A análise para a Taxa Interna de Retorno também se mostrou satisfatória, pois os 9% encontrados ficaram acima dos 8,00%, referente à Taxa Mínima Atrativa.

Conclusão

Os resultados encontrados nesse estudo de caso demonstram que há a viabilidade técnica e financeira na instalação do sistema fotovoltaico escolhido, suprimindo a demanda da instituição. Mesmo o custo inicial sendo alto, conclui-se através dos indicadores financeiros utilizados que o investimento se paga em 7 anos, isso quer dizer que o retorno de investimento é viável em menos de 50% da vida útil do sistema.

Referências

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Energia Solar Fotovoltaica - Terminologia* – NBR 10899:2006. Esta norma define os termos técnicos relativos à conversão fotovoltaica de energia radiante solar em energia elétrica.

ALMEIDA, Marcelo Pinho. *Qualificação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede*. 2012. 173 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo - USP, São Paulo.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil* - Capítulo 03 - 2ª Edição. 2002. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/download.htm>>. Acesso em: 01 jun. 2017.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. *Resolução Normativa Nº 687, de 24 de novembro de 2015*. Estabelece as condições gerais de acordo com as novas regras, quanto ao prazo de validade dos créditos.. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 08 jun. 2017.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. *Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012*: Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia

elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <
<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2017.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. *Análise Da Inserção Da Geração Solar Na Matriz Elétrica Brasileira*. Rio de Janeiro. 2012. Disponível em: <www.epe.gov.br/geracao/documents/estudos_23/nt_energiasolar_2012.pdf>. Acesso em: 06 junho 2015.

MIRANDA, Arthur Biagio Canedo Montesano. *Análise de Viabilidade Econômica de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede*. 2014. 98 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.