



CLIENTE:	MONOBLOCO CONSTRUÇÃO
REFERÊNCIA:	PROJETO EXECUTIVO DE CONTENÇÃO
LOCAL:	MORRO BOA VISTA, NITERÓI, RJ

## REVISÕES

REV.	DATA	DESCRIÇÃO	ELAB.	VERIF.	APROV.
0	31/08/2020	EMISSÃO INICIAL	PEK	ELJ	RMG
1	08/02/2021	REVISÃO NA LARGURA DO PAINEL (ITENS 4 E 5)	RMG	ELJ	RMG

**MEMÓRIA DE CÁLCULO****ESFORÇOS DE VENTO****NAS PLACAS SOLARES****GROUNDTECH ENGENHARIA LTDA.**

ELAB.	PEK	25/08/2020
VERIF.	ELJ	28/08/2020
APROV.	RMG	31/08/2020

RESPONSÁVEL TÉCNICO:  
ENG. YVAN FATTORI PIMENTA  
CREA RJ-1981106185/D

ASSINATURA:

PROJETISTA:  
RONEY GOMES  
CREA RJ-2011107509Nº ART (PROJETO):  
2020200103100FORMATO:  
A4Nº DOCTO (GROUNDTECH):  
MC-GT-BV-0001Nº (CLIENTE):  
MC-GT-BV-0001

REV. 1

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	3
2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA .....	4
3. CONSIDERAÇÕES DE PROJETO .....	4
3.1. COMPONENTES DOS ESFORÇOS .....	4
3.2. COMBINAÇÃO DE CARGAS .....	5
3.3. PREMISSAS ADOTADAS .....	5
4. CÁLCULO DOS ESFORÇOS .....	8
4.1. CARGAS PERMANENTES .....	8
4.2. CARGAS VARÁVEIS .....	8
5. CONCLUSÃO .....	17

## 1. INTRODUÇÃO

Este documento tem o objetivo de determinar os valores dos esforços decorrentes das forças atuantes de vento nas novas estruturas de suporte para os painéis solares no Parque Solar Boa Vista.

A área do parque pode ser acessada pelas Ruas Adelino Martins ou Lino dos Passes, seguindo perpendicularmente pelas Ruas "E" ou "F", para acessar o início do morro da Boa Vista (Figura 1).



Figura 1 - Localização da ação proposta.

A localização aproximada do empreendimento está apresentada a seguir.

### Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (E a que deve ser usada) <sup>4</sup>	-22° 53' 12,1080"	-43° 06' 12,8088"	123,13	7467770.383	694537.053	-45
Na data do levantamento <sup>5</sup>	-22° 53' 12,1002"	-43° 06' 12,8110"	123,13	7467770.623	694536.993	-45
Sigma(95%) <sup>6</sup> (m)	0,006	0,009	0,023			
Modelo Geoidal	MAPGEO2015					
Ondulação Geoidal (m)	-6,04					
Altitude Ortométrica (m)	129,17					

## 2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

### - Referências do projeto

VS\_Relatorio\_Planialtimetrico\_BoaVista - Relatório de Levantamento Planialtimétrico.

NT-GT-BV-0001-R0 - Especificação de investigações.

DE-GT-BV-0001 - Estudo de implantação: Especificação das Investigações Geotécnicas.

### - Referências normativas

NBR 6123:2013 - Força devidas aos ventos em edificações

NBR 8800:2008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.

NBR 8681:2003 - Ações e segurança nas estruturas.

NBR 6120:2019 - Ações para o cálculo de estruturas de edificações.

NBR 15421:2006 - Projeto de estruturas resistentes a sismos - Procedimento.

### - Outras referências

ASCE 7.10 - Wind loads.

## 3. CONSIDERAÇÕES DE PROJETO

### 3.1. COMPONENTES DOS ESFORÇOS

#### - Esforços devidos ao acionamento do equipamento

Na determinação dos esforços da fundação devem ser considerados os esforços devido ao acionamento do equipamento tipo tracker, por exemplo. Esses esforços são gerados devido a ao acionamento do motor na imposição de ângulos de rotação nos painéis.

### - Esforços devidos à ação do vento

Para os esforços devido à ação do vento nos elementos, foi considerada a velocidade média do vento a 37 m/s (133,2 km/h) a uma altura inferior a 10 m de altura, para o período de retorno de 50 anos e tempo de integração de 3 segundos.

### - Esforços verticais

Os esforços verticais considerados são devido ao peso dos elementos (estruturas suporte, motor, painéis) apoiados ou fixados aos perfis metálicos de fundação.

## 3.2. COMBINAÇÃO DE CARGAS

De acordo com as normas NBR 8800 e NBR 8681, as combinações de carregamentos de análise para o ELU, Estado Limite Último são:

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{Gi,k}) + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \psi_{0j} F_{Qj,k})$$

onde:

$F_{Gi,k}$  representa os valores característicos das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$  é o valor característico da ação variável considerada principal para a combinação;

$F_{Qj,k}$  representa os valores característicos das ações variáveis que podem atuar concomitantemente com a ação variável principal.

## 3.3. PREMISSAS ADOTADAS

Os cálculos de carga se baseiam nas recomendações das normas NBR 6123 e NBR 8681, com o apoio da referência ASCE 7.10 de prestígio. As seguintes hipóteses a seguir foram consideradas.

### - Cargas permanentes

Peso próprio de equipamentos (painéis e motor), cabos e outros elementos quando aplicáveis.

### - Cargas variáveis

Vento sobre os painéis. Mudança de condições.

**- Cargas acidentais**

Acionamento de motor.

**- Condições ambientais**

Como indicado na seção 5.1.2 de NBR 5422, as seguintes temperaturas foram definidas:

Temperatura média, sem vento: 28°C

Temperatura coincidente com ocorrência de velocidade de projeto: 16°C

Temperatura máxima média, sem vento: 40°C

Temperatura mínima, sem vento: 8°C

Temperatura máxima, sem vento: 44°C



Figura 2 - Isopletas das médias das temperaturas mínimas diárias (NBR 5422).

### - Exclusão de carga por evento sísmico

Em relação ao cálculo das fundações, a localização da área do projeto é classificada como "Zona 0" de acordo com as indicações na norma NBR 15421.

Conforme indicado no item 7.3.1 da referida norma, não há requisitos especiais para resistência sísmica, portanto é excluído do cálculo contido neste documento.

Em relação ao cálculo estrutural, o projetista deve avaliar a consideração da carga do sismo, além de estudar e incluir, se apropriado, outras cargas de projeto necessárias.

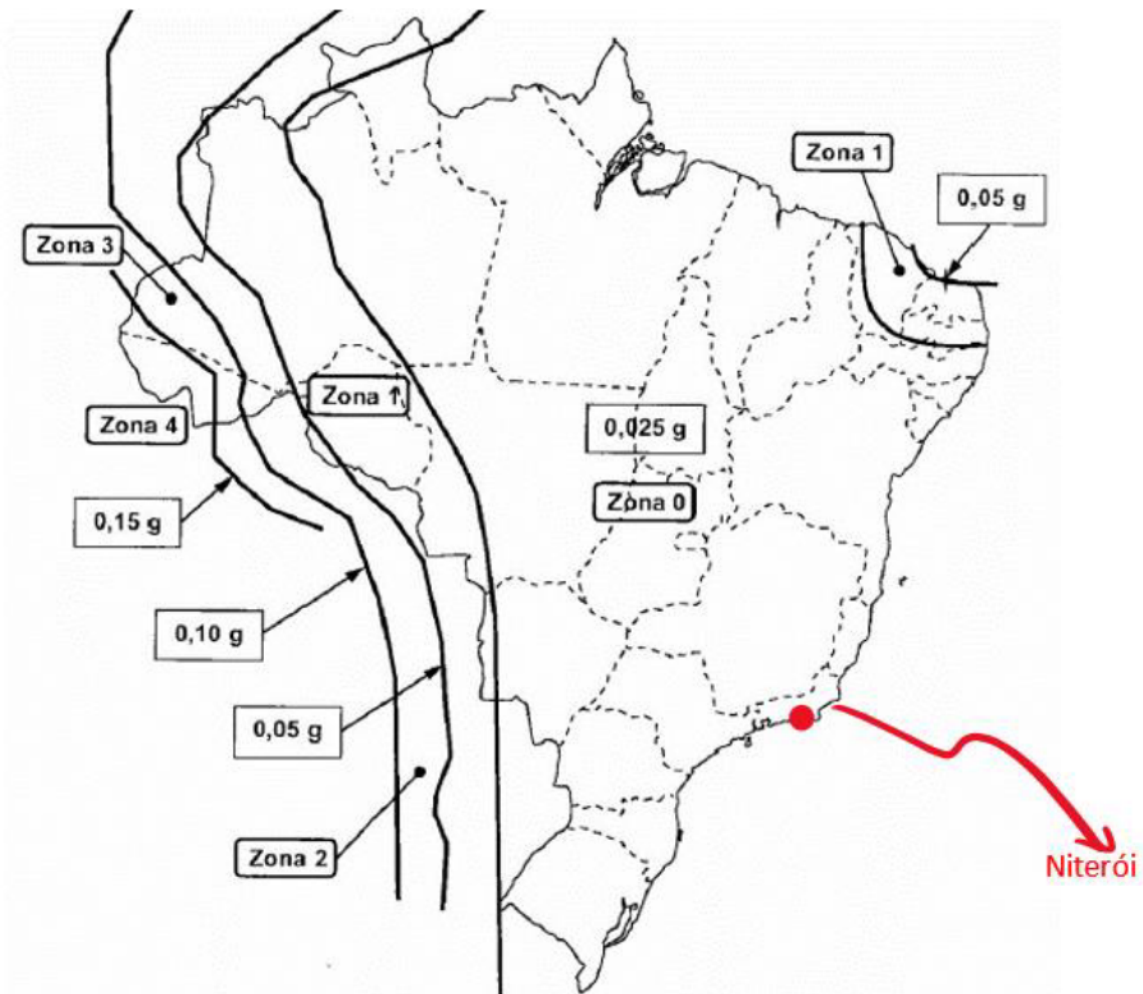


Figura 3 - Mapeamento da aceleração sísmica horizontal característica no Brasil para terrenos da classe B ("Rocha").

## 4. CÁLCULO DOS ESFORÇOS

### 4.1. CARGAS PERMANENTES

#### - Cargas Verticais devido ao peso próprio

São as cargas devido aos esforços provocados pelo peso dos equipamentos tipo painéis solares e estruturas de suporte. Essas cargas devem ser definidas quando da definição de um fornecedor para esses equipamentos.

### 4.2. CARGAS VARÁVEIS

#### - Vento

As cargas de vento são calculadas de acordo com a NBR 5422. Os principais parâmetros são indicados abaixo.

#### - Velocidade básica do vento (art. 4.7)

$$V_b = 37 \text{ m/s}$$

Para os esforços devido à ação do vento nos elementos, foi acordado adotada de maneira conservadora uma velocidade básica de vento de 37 m/s (133,2 km/h) a 10,0 m de altura, na temperatura coincidente de 16°C, período de retorno de 50 anos e tempo de integração de 3 segundos.

São apresentadas na Figura 4 as isopletras de acordo com a NBR 5422.

Foram retiradas as diferenças altimétricas pelo Google Earth (Figuras 5 a 7) com a finalidade de avaliar a altura  $d$  para o cálculo de  $S_1$ . A região plana do morro logo abaixo da instalação do Parque Solar Boa Vista é indicada pela Igreja Batista Boa Vista.



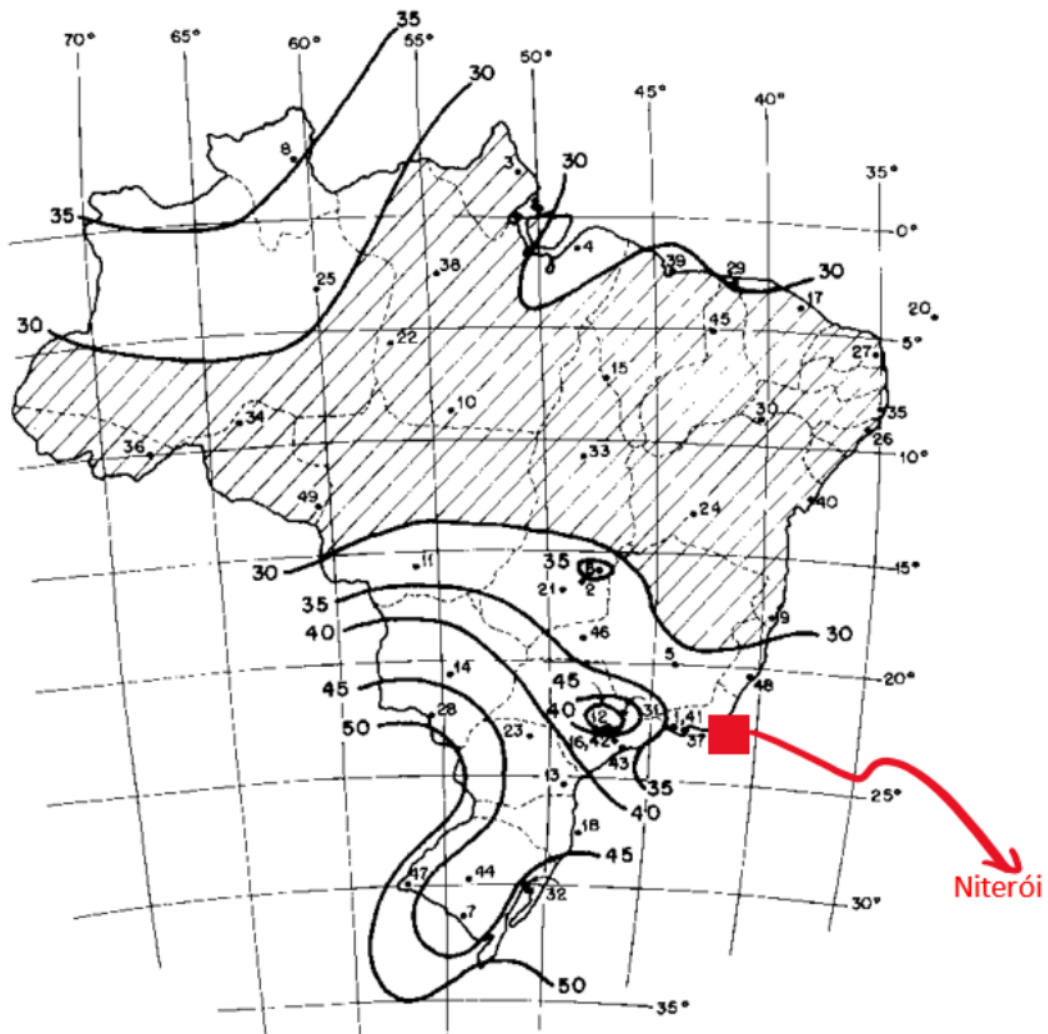


Figura 4 - Isopletas da velocidade básica.

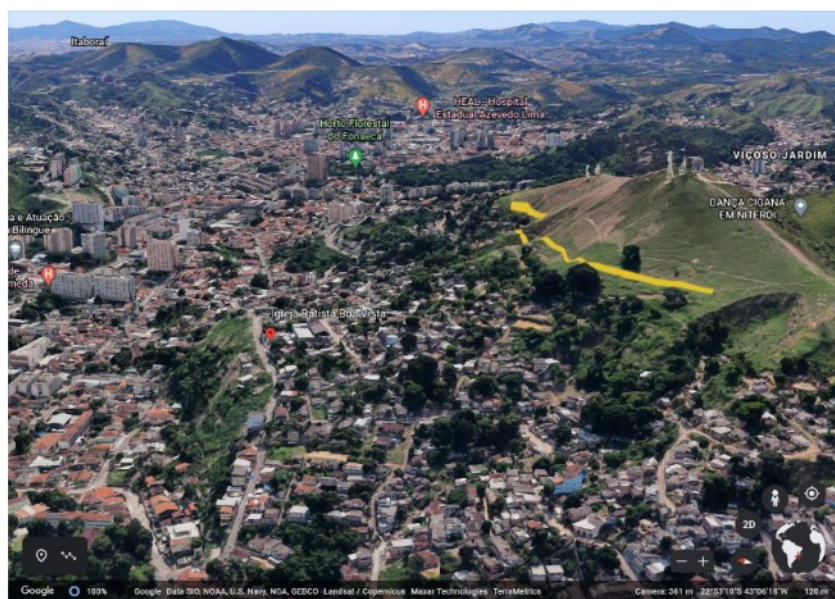


Figura 5 – Vista aérea de topo (Google Earth).

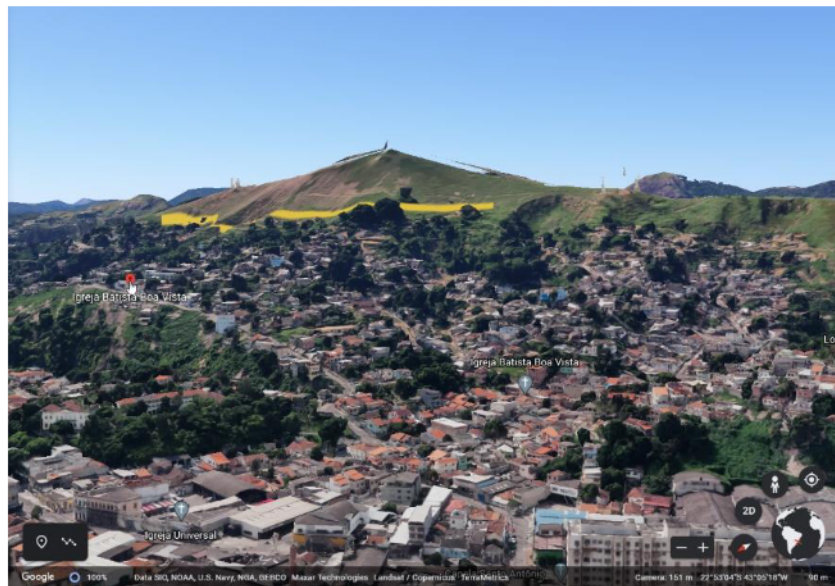


Figura 6 – Vista aérea frontal (Google Earth).



Figura 7 – Vista aérea lateral (Google Earth).

Velocidade de vento, correção de altura (art. 4.8.4)

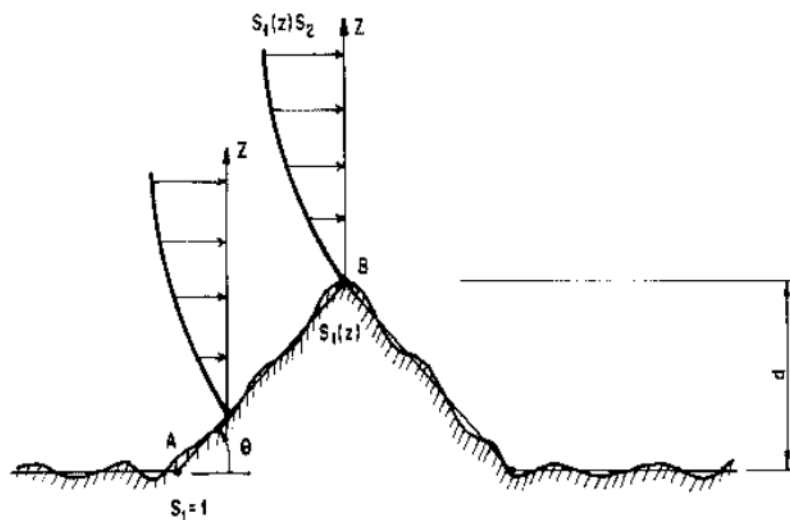
- Pressão de Vento - pela NBR 6123

$$q = \frac{1}{2} \times \rho \times v_k^2 = 0.613 \times v_k^2$$

$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3$$

$$V_0 = 37 \text{ m/s}$$

S1: fator topográfico: no caso em análise: morro;



$\theta \leq 17^\circ$ , adotado  $17^\circ$  por ser mais conservador.

$$S_1(z) = 1,0 + (2,5 - z / d) \cdot \text{tg} (\theta - 3^\circ)$$

Da altimetria, o valor absoluto de  $z$  em relação ao nível do mar é  $z = 123,13\text{m}$ . Foi considerado que as construções prediais na região plana (Igreja Batista Boa Vista), imediatamente abaixo deste nível, estão na cota  $90,00 \text{ m}$ . Portanto, a diferença altimétrica é de  $123,13 \text{ m} - 90,00 \text{ m} = 33,13\text{m}$ .

$$S_1(z) = 1,0 + (2,5 - 2,0 / 33,13) \cdot 0,25$$

$$S_1(z) = 1,60$$

S2: fator que considera a influência da rugosidade do terreno, das dimensões da edificação ou parte da edificação em estudo, e de sua altura sobre o terreno

**Tabela 1 - Parâmetros b, p, F<sub>R,ii</sub>.**

Cat.	t(s)	3	5	10	15	20	30	45	60	120	300	600	3600
I	b	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	1,19	1,21	1,23	1,25
	p	0,06	0,065	0,07	0,075	0,075	0,08	0,085	0,085	0,09	0,095	0,095	0,10
II	b	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	p	0,085	0,09	0,10	0,105	0,11	0,115	0,12	0,125	0,135	0,145	0,15	0,16
	F <sub>R</sub>	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,87	0,84	0,82	0,77	0,72	0,69	0,65
III	b	0,94	0,94	0,93	0,92	0,92	0,91	0,90	0,90	0,89	0,87	0,86	0,85
	p	0,10	0,105	0,115	0,125	0,13	0,14	0,145	0,15	0,16	0,175	0,185	0,20
IV	b	0,86	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82	0,80	0,79	0,76	0,73	0,71	0,68
	p	0,12	0,125	0,135	0,145	0,15	0,16	0,17	0,175	0,195	0,215	0,23	0,25
V	b	0,74	0,73	0,71	0,70	0,69	0,67	0,64	0,62	0,58	0,53	0,50	0,44
	p	0,15	0,16	0,175	0,185	0,19	0,205	0,22	0,23	0,255	0,285	0,31	0,35

Categoria II e Classe C = 0,94 (Tabela 1)

$$b = 1,00$$

$$F_R = 1,00$$

$$p = 0,085$$

z = 2,0 m - para a altura útil máxima da estrutura (adotado conservadoramente como ponto mais elevado do painel fotovoltaico).

$$S2 = b * F_R * (2 / 10)^p$$

S2 = 0,87 - fator de Rugosidade do terreno, dimensões e altura da edificação.

S3: fator baseado em conceitos probabilísticos; Adotado Grupo 3 = 0,95 (Tabela 2).

**Tabela 2 – Valores mínimos para o fator estatístico S3.**

Grupo	Descrição	S <sub>3</sub>
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção	0,83

$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3$$

Para k = 2,0 (altura máxima do painel em relação ao solo):

$$V_{2m} = 37 \times 1,60 \times 0,87 \times 0,95 = 48,93 \text{ m/s}$$

Para obtenção das forças de vento a NBR 6123 adota a seguinte formula:

$$q = 0,613 \times V_k^2 / 1000$$

$$q = 1,47 \text{ kN/m}^2 \text{ - pressão do vento}$$

#### Cargas transversais devido a ação do vento nos painéis

O esforço devido à ação do vento nos cabos é contemplado na direção perpendicular a eles, conforme a formulação apresentada a seguir.

Tem-se:

$$L = 30\text{m (para 10 painéis x 3m entre estacas metálicas/ suportes);}$$

h = variável em função da inclinação do painel.

A força de vento em uma placa retangular é calculada por:

$$F = C_f \cdot q \cdot A$$

- Direcionalidade de incidência do vento:
  - Para incidência a  $90^\circ$ :  $F = 1,3 \cdot q \cdot (30 \cdot h)$
  - Para incidência a  $50^\circ$ :  $F = 1,6 \cdot q \cdot (30 \cdot h)$

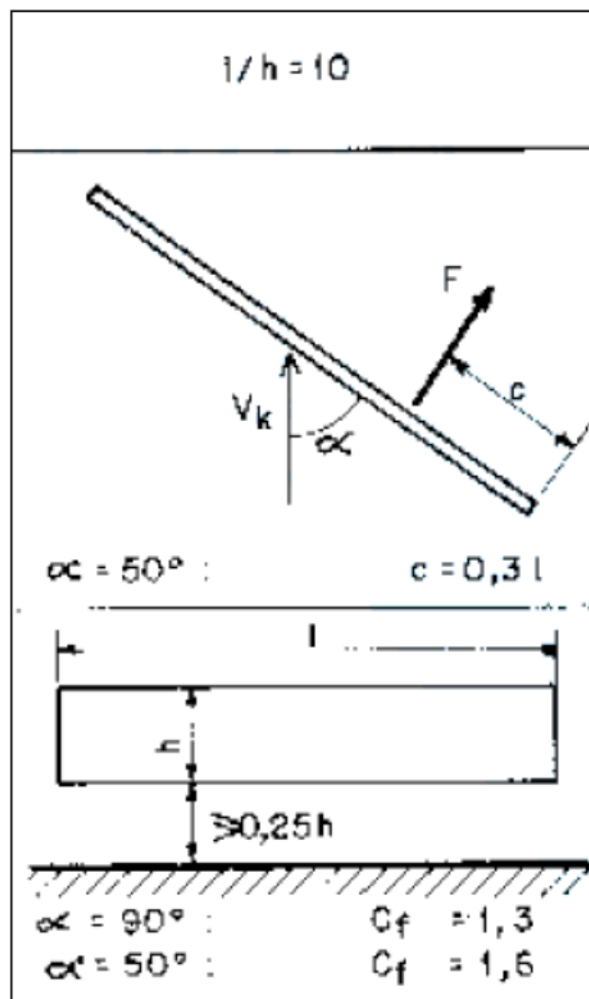


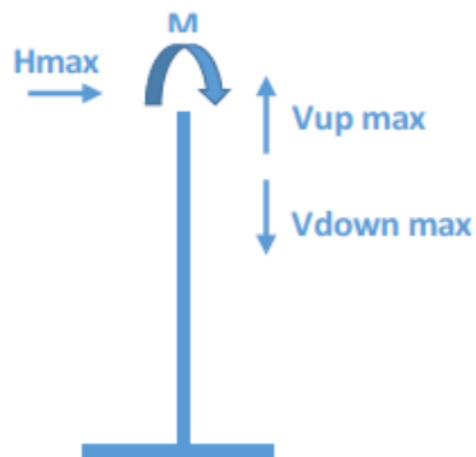
Figura 8 - Coeficiente de força para placas retangulares,  $\alpha$  é o ângulo de incidência.

Os valores dimensionais adotados para os painéis são de uma fileira com 30,0 m (comprimento) x 4,0 m (largura de painel). Nessa fileira estimada foram adotados 11 perfis de suporte, ou seja, uma área de influência de 3,0m x 4,0 m para cada perfil de suporte.



Figura 9 – Arranjo de painéis e dimensões entre suportes e fileiras

Os resultados dos cálculos são apresentados na sequência (Tabelas 3 e 4).



O momento é um esforço devido ao acionamento do motor.

$H_{max}$  deve ser entendido por  $F_y$  transversal e  $F_x$  longitudinal em relação à fileira de painéis.

Tabela 3 – Esforços por painel para ângulo de incidência igual a 90 graus.

Incl. dos painéis (tilt angle)	F <sub>y</sub> (transv painéis) [kN]	F <sub>x</sub> (long painéis) [kN]	F (compr.) [kN]	F (tração) [kN]
0 °	0,57	0,00	0,00	0,00
15 °	5,94	0,00	5,73	-5,73
30 °	11,47	0,00	9,93	-9,93
45 °	16,22	0,00	<b>11,47</b>	<b>-11,47</b>
60 °	19,86	0,00	9,93	-9,93

Tabela 4 – Esforços por painel para ângulo de incidência igual a 45 graus.

Incl. dos painéis (tilt angle)	F <sub>y</sub> (transv painéis) [kN]	F <sub>x</sub> (long painéis) [kN]	F (compr.) [kN]	F (tração) [kN]
0 °	0,47	0,47	0,00	0,00
15 °	4,84	0,47	4,68	-4,68
30 °	9,36	0,47	8,10	-8,10
45 °	13,23	0,47	<b>9,36</b>	<b>-9,36</b>
60 °	16,20	0,47	8,10	-8,10



## 5. CONCLUSÃO

Foram calculadas as cargas de vento para um painel tipo com fileiras de 30,0 m (comprimento) x 4,0 m (largura de painel).

Todas as cargas indicadas nesse documento devem ser combinadas e majoradas adequadamente de acordo com os coeficientes de segurança e demais requisitos das normas aplicáveis para realizar o dimensionamento estrutural e das fundações.

**EMUSA**

CLIENTE: MONOBLOCO CONSTRUÇÃO

REFERÊNCIA: PROJETO EXECUTIVO DE FUNDAÇÕES E DRENAGEM

LOCAL: MORRO BOA VISTA, NITERÓI, RJ

## REVISÕES

REV.	DATA	DESCRIÇÃO	ELAB.	VERIF.	APROV.
0	08/01/2021	EMIÇÃO INICIAL	OGC	RMG	RMG
1	12/02/2021	REVISÃO NO ITEM 3	OGC	RMG	RMG
2	04/03/2022	REVISÃO NO ITEM 3	LFF	LFF	LFF

**MEMÓRIA DE CÁLCULO****SISTEMA DE CAPTAÇÃO, ARMAZENAMENTO E  
REAPROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA****GROUNDTECH ENGENHARIA LTDA.**

ELAB.	OGC	08/01/2021
VERIF.	RMG	08/01/2021
APROV.	RMG	08/01/2021

RESPONSÁVEL TÉCNICO:  
ENG. YVAN FATTORI PIMENTA  
CREA RJ-1981106185/D

ASSINATURA:

PROJETISTA:  
RONEY GOMES  
CREA RJ-2011107509Nº ART (PROJETO):  
2020200103100FORMATO:  
A4Nº DOCTO (GROUNDTECH):  
MC-GT-BV-0002Nº (CLIENTE):  
MC-GT-BV-0002

REV. 2

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	3
2. CRITÉRIOS E PREMISSAS .....	3
3. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA .....	5
4. CONCLUSÃO .....	8

## 1. INTRODUÇÃO

O futuro Parque Solar Boa Vista, a ser implantado no município de Niterói, RJ, contará com um sistema de captação, armazenamento e aproveitamento da água da chuva.

O volume armazenado será utilizado na lavagem regular dos módulos solares, na rega de mudas e eventuais combate a incêndios.

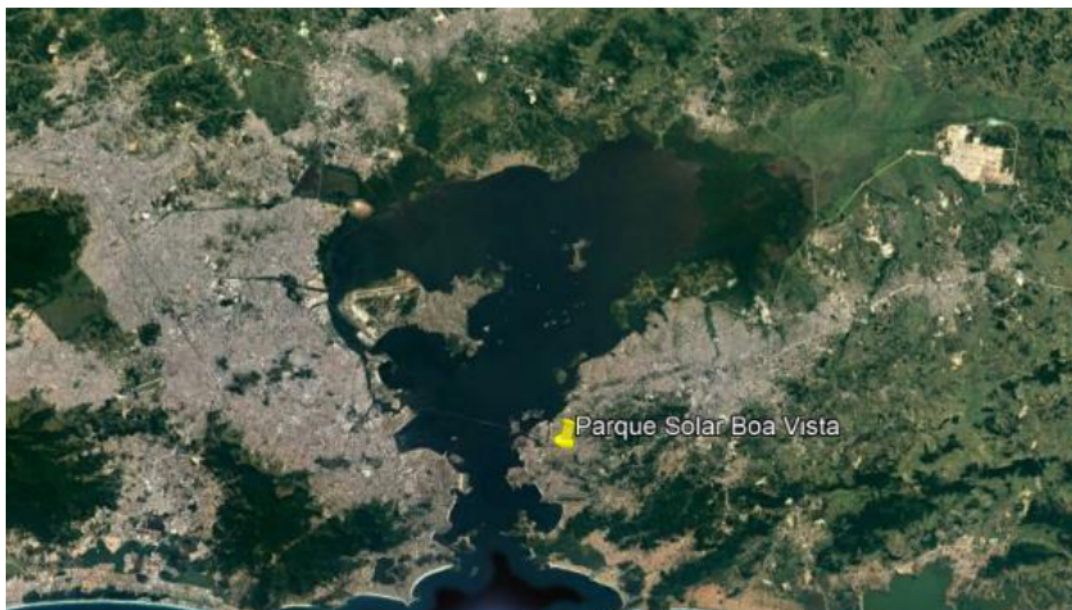
A água será captada diretamente sobre as placas solares, e então direcionada, através de um sistema composto por tubos e canaletas, para reservatórios apropriados.

O presente documento tem como objetivo apresentar os critérios e premissas adotados no dimensionamento desse sistema, assim como a memória dos cálculos efetuados.

## 2. CRITÉRIOS E PREMISSAS

O futuro Parque Solar Boa Vista será implantado em uma das faces do morro de mesmo nome no município de Niterói – RJ, sobre as seguintes coordenadas (Figura 1):

- Latitude: 22°53'12.67"S;
- Longitude: 43° 6'9.68"O.



**Figura 1. Parque Solar Boa Vista – Localização**

Serão instalados 2.700 módulos solares (Figura 2) distribuídos em linhas ao longo da encosta. As estruturas solares a serem implantadas no Parque apresentam as seguintes características:

- Número de módulos: 2.700;
- Número de módulos por estrutura de suporte (painel): 6;
- Largura do módulo: 1,00 m;
- Comprimento do módulo: 2,00 m;
- Número de painéis: 450;
- Largura do painel: 3,00 m;
- Comprimento do painel: 4,00 m;
- Área do painel: 12 m<sup>2</sup>.



**Figura 2 - Modelo dos módulos solares.**

Visando aproveitar a água da chuva para a lavagem regular dos painéis, para a rega de mudas e para eventual combate a incêndios na comunidade adjacente, o parque contará com um sistema de captação, armazenamento e aproveitamento desta.

O critério adotado para o dimensionamento deste sistema foi:

*Sistema com capacidade de captar e armazenar um volume de água da chuva suficiente para a lavagem dos módulos solares, mais um adicional para a rega de mudas e eventual combate à incêndios.*

Segundo literatura especializada, consomem-se em média 2,5 litros na lavagem de um módulo solar. Como o parque contará com 2.700 módulos, estima-se que cada ciclo de lavagem consumirá 6.750 litros de água.

De acordo com o cliente, serão realizadas duas lavagens anuais em cada módulo. Assim, anualmente, o volume consumido de água para lavagem dos módulos do Parque Solar Boa Vista será de 13.500 litros.

No dimensionamento será considerado:

Lavagem dos módulos 2 x no ano:  $6.750 \times 2 = 13.500$  litros

Rega de mudas todo mês:  $50.000 \text{ litros/mês} \times 12 \text{ meses} = 600.000$  litros

Reserva técnica de 20% do maior volume.

#### **Cálculo por mês sem lavagem dos painéis:**

$600.000 \text{ litros} / 12 \text{ meses} = 50.000 \text{ litros}$

$50.000 \text{ litros} \times 0,20 = 10.000 \text{ litros}$

**Total = 60.000 litros/mês**

#### **Cálculo por mês com lavagem dos painéis:**

$50.000 \text{ litros} + 6.750 \text{ litros} = 56.750 \text{ litros}$

$56.750 \text{ litros} \times 0,20 = 11.350 \text{ litros}$

**Total = 68.100 litros**

### **3. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA**

O comportamento pluviométrico na região, a partir do qual será definida a configuração e o tamanho do sistema, foi determinado a partir da série histórica de dados de precipitação observados na Estação Pluviométrica Horto Florestal (código ANA: 2243236), cujas principais características são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1 - Estação Pluviométrica Horto Floresta.**

Nome	Código ANA	Coordenadas		Extensão da Série	
		Lat	Long	Início	Fim
Horto Florestal	2243236	22°52'58.00"S	43° 6'27.00"O	jan/77	dez/94

Das medições feitas na estação pluviométrica Horto Florestal ao longo dos anos extraiu-se a série de precipitações totais mensais, apresentada na Tabela 2.

**Tabela 2 - Série de precipitações totais mensais – EstPlu Horto Floresta.**

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1977	119.7	0.0	76.7	218.2	66.1	23.1	81.1	18.6	119.7	46.0	103.0	195.8
1978	57.2	263.0	64.2	107.7	119.6	39.2	9.2	32.6	23.6	33.1	97.6	114.2
1979	199.7	125.6	102.2	69.1	60.0	66.9	70.0	102.6	125.2	33.5	96.7	138.3
1980	129.5	77.0	25.2	124.1	35.0	58.7	28.8	83.1	83.7	130.5	148.5	140.8
1981	107.6	57.6	70.3	106.0	7.2	24.3	81.4	83.5	7.9	62.6	210.0	254.8
1982	269.0	45.9	154.7	77.9	29.3	21.1	57.9	81.3	24.4	144.0	75.8	252.7
1983	91.7	27.2	287.5	99.7	81.9	172.5	54.4	57.4	224.3	107.9	147.6	170.8
1984	82.7	6.4	85.1	87.6	91.0	32.3	25.2	43.0	46.6	43.1	30.5	81.2
1985	301.5	182.1	101.5	116.6	75.2	52.7	9.0	41.9	113.6	34.2	81.2	199.9
1986	46.8	92.0	116.1	137.1	28.0	39.6	134.9	42.3	41.6	64.4	55.5	185.5
1987	103.4	127.3	68.3	81.6	115.1	129.3	19.4	48.9	88.8	119.5	37.7	137.7
1988	45.4	343.3	145.5	156.6	144.1	100.5	92.9	22.9	46.2	113.1	178.0	150.6
1989	67.0	183.7	56.7	77.0	65.4	141.4	106.1	55.7	103.8	93.3	80.5	148.2
1990	79.3	19.9	35.2	254.4	100.3	37.6	139.2	76.4	148.0	78.7	54.3	79.6
1991	195.4	153.4	250.8	103.9	85.2	73.4	37.8	31.8	99.2	122.9	55.3	130.6
1992	179.8	77.6	17.8	105.3	54.2	10.0	81.9	58.3	143.2	82.1	209.1	69.0
1993	43.7	105.5	174.6	91.4	88.2	81.0	19.7	14.8	78.8	66.4	50.1	154.0
1994	104.7	16.4	252.3	116.3	102.0	135.4	62.4	50.2	27.0	17.2	96.0	91.8
mínimo	43.7	0.0	17.8	69.1	7.2	10.0	9.0	14.8	7.9	17.2	30.5	69.0
média	123.6	105.8	115.8	118.4	74.9	68.8	61.7	52.5	85.9	77.4	100.4	149.8
máxima	301.5	343.3	287.5	254.4	144.1	172.5	139.2	102.6	224.3	144.0	210.0	254.8

O presente sistema foi dimensionado com base nas precipitações totais médias mensais, ou seja, a média histórica dos totais precipitados mês-a-mês.

Considerando esses valores, um sistema englobando todos os 450 painéis solares que integrarão o futuro parque captaria volumes totais mensais de água da chuva muito superiores ao necessário para a lavagem deles, conforme se pode observar na tabela a seguir.

**Tabela 3 - Volume Captável Mês-a-Mês.**

Volume Mensal Captável												
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
média por mês (mm)	123.56	105.77	115.82	118.36	74.88	68.83	61.74	52.52	85.87	77.36	100.41	149.75
área total (m <sup>2</sup> )	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400
Volume mensal (l)	667 230	571 170	625 410	639 150	404 340	371 700	333 390	283 590	463 680	417 750	542 220	808 650

Assim, foi feito um cálculo inverso com o objetivo de se determinar a área que garantiria a captação de um volume de água de aproximadamente 68.100 litros (capacidade de armazenamento estipulada) nos meses de lavagem dos painéis.

**Tabela 4 - Volume Captável Considerando Captação em Número Reduzido de Painéis.**

Volume Captável Considerando Captação em Número Reduzido de Painéis												
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
média por mês (mm)	123.56	105.77	115.82	118.36	74.88	68.83	61.74	52.52	85.87	77.36	100.41	149.75
área total (m <sup>2</sup> )	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Volume mensal (l)	3707	3173	3475	3551	2246	2065	1852	1576	2576	2321	3012	4493
<b>Volume semestral (l)</b>	<b>18217</b>						<b>15829</b>					

A conclusão da presente análise foi de que a área necessária para captação do volume de armazenamento estipulado (15.000 litros) ao longo de seis meses é aproximadamente 30 m<sup>2</sup>, o equivalente a apenas 3 painéis solares.

Como a captação em um número maior de painéis, em princípio, não influencia significativamente no preço final do sistema, avaliou-se quantos painéis seriam necessários para que fosse garantida a captação mensal do volume de armazenamento estipulado. Esse valor, conforme se verifica na Tabela 5, considerando o pior mês, que seria Agosto, é de 27 painéis (324 m<sup>2</sup>) para cada grupo de sistema.

Assim:  $1297 \text{ m}^2 / 12 \text{ m}^2 = 108 \text{ painéis} / 4 \text{ grupos} = 27 \text{ painéis}$

**Tabela 5 - Área mínima necessária para captação mensal do volume de armazenamento estipulado.**

Volume Captável Considerando Captação em Número Reduzido de Painéis												
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
média por mês (mm)	123.56	105.77	115.82	118.36	74.88	68.83	61.74	<b>52.52</b>	85.87	77.36	100.41	149.75
área total (m <sup>2</sup> )	486	644	518	507	801	872	972	<b>1.297</b>	699	776	598	401
Volume mensal (l)	60.000	68.100	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	<b>68.100</b>	60.000	60.000	60.000	60.000

Para utilização da água armazenada, será instalado um sistema hidráulico pressurizado com pressostato, que garantirá uma pressão de água uniforme nos pontos de consumo. Presentemente é apresentado o dimensionamento do conjunto motobomba a ser instalado. Para tanto, foram estimados os seguintes parâmetros:

- Altura de sucção: 1,00 m;
- Altura de recalque: 0,00 m;
- Comprimento da tubulação: 200 m;
- Vazão em cada registro: 1 m<sup>3</sup>/h;
- Diâmetro da tubulação de sucção: 40 mm;
- Diâmetro da tubulação de recalque: 40 mm;



- Rendimento: 80%.

Assim, tem-se uma bomba com potência de 1,00 cv.

#### 4. CONCLUSÃO

Com base no volume anual de água que será consumido na operação do Parque Solar Boa Vista e no histórico de dados pluviométricos medidos na região, foi determinado o tamanho mínimo do sistema de captação, armazenamento e aproveitamento da água da chuva.

Como os resultados indicaram um sistema muito aquém do potencial existente, optou-se por majorar esse sistema ao ponto de garantir um volume armazenado mensalmente maior do que todo o volume necessário para duas lavagens anuais dos painéis solares – 15.000 litros.

Assim, se no futuro houver necessidade de um volume maior de água, bastará incrementar o volume de armazenamento do sistema.

## PARQUE SOLAR NO MORRO BOA VISTA



CLIENTE: MONOBLOCO CONSTRUÇÃO

REFERÊNCIA: PROJETO EXECUTIVO DE FUNDAÇÕES E DRENAGEM

LOCAL: MORRO BOA VISTA, NITERÓI, RJ

## REVISÕES

REV.	DATA	DESCRIÇÃO	ELAB.	VERIF.	APROV.
0	12/02/2021	EMISSÃO INICIAL	RMG	ELJ	RMG

## MEMÓRIA DE CÁLCULO

## DIMENSIONAMENTO DAS FUNDAÇÕES

## DAS PLACAS SOLARES

GROUNDTECH ENGENHARIA LTDA.

ELAB.	RMG	12/02/2021
VERIF.	ELJ	12/02/2021
APROV.	RMG	12/02/2021

RESPONSÁVEL TÉCNICO:  
ENG. YVAN FATTORI PIMENTA  
CREA RJ-1981106185/D

ASSINATURA:

PROJETISTA:  
RONEY GOMES  
CREA RJ-2011107509Nº ART (PROJETO):  
2020200103100FORMATO:  
A4Nº DOCTO (GROUNDTECH):  
MC-GT-BV-0003Nº (CLIENTE):  
MC-GT-BV-0003

REV. 0

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	3
2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA .....	4
3. ESCOLHA DO TIPO DE FUNDAÇÃO .....	5
4. CRITÉRIOS E PREMISSAS .....	6
5. DEFINIÇÃO DOS ESFORÇOS SOLICITANTES .....	7
6. DIMENSIONAMENTO GEOTÉCNICO DAS FUNDAÇÕES .....	8
6.1. METODOLOGIA .....	8
6.2. ESTACA ADOTADA .....	11
6.3. DIMENSIONAMENTO GEOTÉCNICO .....	12
7. CONCLUSÃO .....	14
ANEXO – EXEMPLOS DE EXECUÇÃO MANUAL DE ESTACAS HELICOIDAIS .....	15

## 1. INTRODUÇÃO

Este documento tem o objetivo de apresentar o dimensionamento das fundações dos painéis solares no Parque Solar Boa Vista, localizado no Morro Boa Vista, Niterói, RJ.

A área do parque pode ser acessada pelas Ruas Adelino Martins ou Lino dos Passes, seguindo perpendicularmente pelas Ruas “E” ou “F”, para acessar o início do morro da Boa Vista (Figura 1).



Figura 1 - Localização da ação proposta.

A localização aproximada do empreendimento está apresentada a seguir.

### Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
<b>Em 2000.4</b> (E a que deve ser usada) <sup>4</sup>	-22° 53' 12,1080"	-43° 06' 12,8088"	123,13	7467770.383	694537.053	-45
<b>Na data do levantamento</b> <sup>5</sup>	-22° 53' 12,1002"	-43° 06' 12,8110"	123,13	7467770.623	694536.993	-45
<b>Sigma(95%)</b> <sup>6</sup> (m)	0,006	0,009	0,023			
<b>Modelo Geoidal</b>	MAPGEO2015					
<b>Ondulação Geoidal</b> (m)	-6,04					
<b>Altitude Ortométrica</b> (m)	129,17					

## 2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

### - Referências do projeto

- VS\_Relatorio\_Planialtimetrico\_BoaVista - Relatório de Levantamento Planialtimétrico.
- DE-GT-BV-0001 - Estudo de implantação: Especificação das Investigações Geotécnicas.
- DE-GT-BV-0002 - Estudo de implantação: Arranjo dos Painéis Solares.
- MC-GT-BV-0001 – Memória de Cálculo – Esforços de Vento nas Placas Solares.
- NT-GT-BV-0001 - Especificação de investigações.
- RT-GT-BV-0001 - Relatório Técnico 1 - Interpretação das Investigações Geotécnicas - Sondagens a Percussão.
- RT-GT-BV-0002 - Relatório Técnico 2 - Interpretação das Investigações Geotécnicas – Ensaio de Laboratório.
- Boletins de sondagens a percussão executadas pela RPJ Engenharia LTDA entre setembro e dezembro/2020 (17 boletins até o momento).
- Resultados de ensaios de laboratório (caracterização, triaxiais e cisalhamento direto) executados pela HGSOLOS Serviços Geotécnicos LTDA em novembro/2020.

### - Referências normativas

- NBR 6122:2019 - Projeto e execução de fundações.
- NBR 6123:2013 - Força devidas aos ventos em edificações.
- NBR 8681:2003 - Ações e segurança nas estruturas.
- NBR 8800:2008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.
- NBR 10899:2020 - Energia solar fotovoltaica - Terminologia.
- NBR 15421:2006 - Projeto de estruturas resistentes a sismos - Procedimento.

#### - Outras referências

- ASCE 7.10 - Wind loads.

- Recomendações Técnicas para Projeto, Instalação e Manutenção de Estacas Helicoidais em Linhas de Transmissão e Distribuição – CIGRÉ Brasil - B2-20 (GT-07) 01.

- PERKO, H.A. Helical Piles, A Practical Guide to Design and Installation, John Wiley & Sons, Inc. 2009.

### 3. ESCOLHA DO TIPO DE FUNDAÇÃO

O Morro Boa Vista, local onde será implantado o Parque Solar, apresenta condicionantes particulares que tornam a concepção das fundações dos painéis solares um desafio.

Um destes aspectos é o difícil acesso, o que pode inviabilizar a mobilização de equipamentos de médio e grande portes.

Outro fator interveniente é a forte inclinação do talude (da ordem de 40°), que dificulta a execução de movimentos de terra para a implantação de vias de serviço e circulação de equipamentos com segurança. Adicionalmente, há a preocupação quanto à ocorrência de instabilizações de talude e/ou desenvolvimento de processos erosivos, o que pode levar à remoção/descalçamento das fundações dos painéis.

Diante do exposto, entende-se que o uso de fundações superficiais não é tecnicamente indicado.

A adoção de estacas metálicas de chapa fina – solução muito comum em parques solares – requer intervenções de terraplenagem significativas para a movimentação do equipamento de cravação. Além disso, haveria preocupação quanto ao descalçamento em caso de instabilizações de talude e erosões. Assim, esta alternativa foi descartada.

A solução de fundação concebida para a obra em questão é em **estacas metálicas helicoidais** com **instalação manual**. Esta alternativa apresenta elevada capacidade de carga geotécnica e reduz significativamente a necessidade de movimentos de terra (cortes e aterros).

A estaca helicoidal é uma estaca metálica constituída por hastes tubulares ou maciças, nas quais são soldados helicoides denominados hélices, instalada no solo através de aplicação de torque.

Exemplos de instalação de estacas helicoidais por processos manuais são apresentados no Anexo.

#### 4. CRITÉRIOS E PREMISSAS

Serão instalados 2.700 módulos solares (Figura 2) distribuídos em linhas ao longo da encosta. As estruturas solares a serem implantadas no Parque apresentam as seguintes características:

- Número de módulos: 2.700;
- Número de módulos por estrutura de suporte (painel): 6;
- Número de painéis: 450;
- Largura do módulo: 1,00 m;
- Comprimento do módulo: 2,00 m;
- Largura do painel: 3,00 m;
- Comprimento do painel: 4,00 m;
- Área do painel: 12 m<sup>2</sup>.



**Figura 2 - Modelo dos módulos solares.**



## 5. DEFINIÇÃO DOS ESFORÇOS SOLICITANTES

De acordo com as normas NBR 8800 e NBR 8681, as combinações de carregamentos de análise para o ELU, Estado Limite Último são:

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{Gi} F_{Gi,k}) + \gamma_{Q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{Qj} \psi_{0j} F_{Qj,k})$$

onde:

$F_{Gi,k}$  representa os valores característicos das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$  é o valor característico da ação variável considerada principal para a combinação;

$F_{Qj,k}$  representa os valores característicos das ações variáveis que podem atuar concomitantemente com a ação variável principal.

Os principais carregamentos para a estrutura em questão são:

- **Cargas permanentes:** Peso próprio de equipamentos (painéis e motor), cabos e outros elementos quando aplicáveis.
- **Cargas variáveis:** Vento sobre os painéis. Mudança de condições.
- **Cargas acidentais:** Acionamento de motor.

A condição crítica de carregamento é a tração. Como a estrutura é extremamente leve, o peso próprio será desconsiderado. Como não se dispõe de maiores detalhes da estrutura, as cargas acidentais são desconhecidas e serão desprezadas.

Conforme apresentado no documento MC-GT-BV-0001-R1 (Memória de Cálculo – Esforços de Vento nas Placas Solares), a solicitação máxima de tração por apoio é de 11,5 kN.

Assim, o valor da solicitação de cálculo é:

$$F_d = 1,4 \cdot 11,5 = 16,1 \text{ kN (tração)}$$

## 6. DIMENSIONAMENTO GEOTÉCNICO DAS FUNDAÇÕES

Será apresentado o dimensionamento geotécnico das estacas helicoidais considerando a condição crítica a ruptura por tração, conforme carregamento indicado no Item 5.

O dimensionamento estrutural deverá ser realizado de acordo com a norma ABNT NBR 8800 após a definição da estrutura de suporte dos painéis solares. O dimensionamento estrutural deverá contemplar as verificações para todas as solicitações previstas, incluindo flexão, flambagem, cisalhamento, tração e compressão da haste, bem como as combinações possíveis destas solicitações. Deverá ser também considerada verificação quanto à corrosão, em função da agressividade do meio em que a estaca será instalada.

### 6.1. METODOLOGIA

Capacidade de carga geotécnica é definida como a carga máxima que o sistema fundação/solo pode suportar. A capacidade de carga da estaca helicoidal depende de vários fatores, como parâmetros geotécnicos, características geométricas da estaca, torque de instalação e tipo de carregamento (tração ou compressão).

Os métodos teóricos utilizados neste trabalho para a previsão da capacidade de carga de estacas helicoidais são:

#### *(i) Método da capacidade de carga individual*

O método da capacidade de carga individual é indicado quando o espaçamento entre as hélices é relativamente grande. A capacidade de carga à compressão é determinada pela soma das capacidades individuais em cada hélice com a soma do atrito lateral pelo fuste.

$$Q_u = \sum q_{ult,n} \cdot A_n' + \alpha \cdot H \cdot \pi \cdot d \quad (1)$$

onde:

$Q_u$  = Capacidade de carga geotécnica;

$q_{ult,n}$  = tensão de ruptura na hélice;

$A_n'$  = área efetiva da hélice;

$\alpha$  = adesão estaca-solo;

$H$  = comprimento do fuste acima da hélice superior e

$d$  = diâmetro do fuste.

Para a capacidade de carga à tração, Perko (2009) recomenda multiplicar o valor calculado para compressão por um fator de minoração ( $\lambda_t$ ) que leva em conta a perturbação do solo. O valor sugerido para este coeficiente é 0,87. Assim, a relação entre as capacidades de carga à tração e à compressão é:

$$Q_{u,t} = \lambda_t \cdot Q_u \quad (2)$$

A tensão de ruptura para fundações rasas pode ser obtida pela expressão de Meyerhof (1951), que é escrita da seguinte maneira:

$$q_{ult} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \quad (3)$$

Para estacas helicoidais, após algumas simplificações, a expressão pode ser escrita:

$$q_{ult} = c \cdot N'_c + 2 \cdot D_{AVG} \cdot \gamma \cdot (N'_q - 1) \quad (4)$$

onde:

$c$  = coesão do solo;

$\gamma$  = peso específico natural do solo;

$D_{AVG}$  = diâmetro médio das hélices;

$N_c, N_q, N'_c, N'_q$  = fatores de capacidade de carga;

$s_c, s_q, d_c, d_q$  = fatores de correção de forma e profundidade;

$L, B$  = dimensões da fundação.

### ***(ii) Método do cilindro de cisalhamento***

O método do cilindro de cisalhamento é recomendável quando o espaçamento entre as hélices é relativamente pequeno. A carga é transferida por atrito lateral no cilindro de solo (ou tronco de cone) existente entre as hélices e por contato na base da hélice inferior (no caso de carregamento axial à compressão).

A capacidade de carga à compressão é determinada pela expressão a seguir.

$$Q_u = q_{ult,1} \cdot A_1 + \sum T_{s,i} \cdot s_i \cdot \pi \cdot D_{AVG,i} + \alpha \cdot H \cdot \pi \cdot d \quad (5)$$

onde:

$A_1$  = área da hélice inferior;

$q_{ult,1}$  = tensão de ruptura para a hélice inferior;

$T_{s,i}$  = resistência ao cisalhamento no centro do  $i$ -ésimo cilindro de solo;

$s_i$  = espaçamento entre hélices do  $i$ -ésimo cilindro de solo;

$D_{AVG,i}$  = média dos diâmetros das hélices envolventes do  $i$ -ésimo cilindro de solo.

Para a capacidade de carga à tração aplica-se o fator de minoração ( $\lambda_t$ ) apenas à primeira parcela da Equação (5), segundo critério adotado pelos autores. Além disso, deve-se considerar para esta parcela os valores referentes à hélice superior.

$$Q_{u,t} = \lambda_t \cdot q_{ult,n} \cdot A_n + \sum T_{s,i} \cdot s_i \cdot \pi \cdot D_{AVG,i} + \alpha \cdot H \cdot \pi \cdot d \quad (6)$$

Uma ilustração simplificada dos esforços atuantes nos dois métodos expostos até aqui consta da Figura 3.

A avaliação do espaçamento das hélices é relativa, dependendo da geometria da estaca e de condições do solo. Deve-se avaliar os 2 métodos e utilizar o valor mais baixo de capacidade de carga. O espaçamento ideal deve levar a valores próximos pelos 2 métodos.

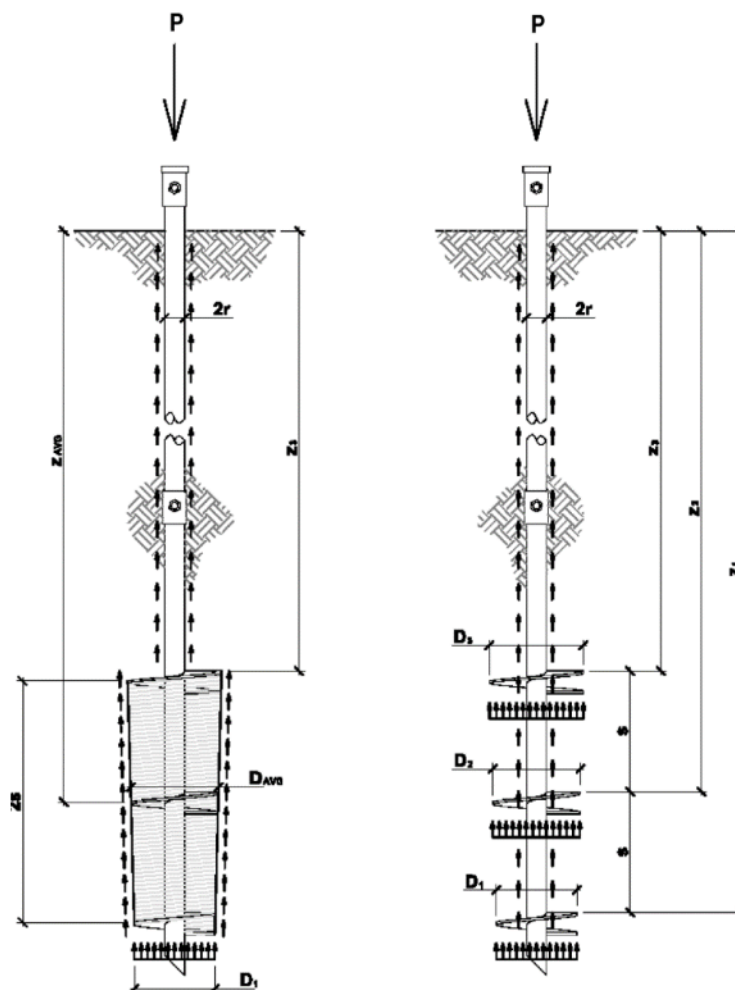


Figura 3 - Modelos do (i) Método do cilindro de cisalhamento e do (ii) Método da capacidade de carga individual (Perko, 2009).

### (iii) Método do Torque

O método do torque - conforme sugerido por Tsuha e Aoki (2010) - é utilizado para a verificação da capacidade axial de estacas helicoidais a partir da expressão a seguir.

$$Q_u = K_t \cdot T \quad (7)$$

onde:

$K_t$  = fator que relaciona capacidade de carga e torque [ $m^{-1}$ ];

$T$  = torque medido ao final da execução da estaca.

Ressalta-se que este método, embora considerado acurado, deve ser aplicado com cautela. Recomenda-se a calibração do parâmetro  $K_t$  com provas de carga. Além de uma série de precauções nas medidas do torque.

### - Formulações

A resistência ao cisalhamento ( $T_s$ ) será calculada pela expressão a seguir.

$$T_s = c + \sigma'_n \cdot \tan \phi = c + K_h \cdot \sigma'_v \cdot \tan \phi \quad (8)$$

Mitsch e Clemence (1985) recomendam o seguinte valor para o coeficiente de empuxo horizontal:

$$K_h = 0,09 \cdot e^{0,08 \cdot \phi} \quad (9)$$

## 6.2. ESTACA ADOTADA

A estaca helicoidal utilizada no presente estudo é formada por seção guia com 2 hélices presas ao seu eixo (Figura 4). Os detalhes de conexões e extensões devem ser definidos após a concepção da estrutura de suporte dos painéis solares.

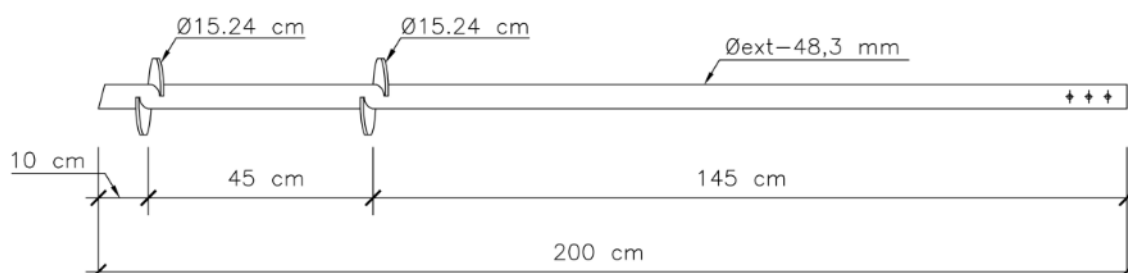


Figura 4 - Detalhe da estaca helicoidal - Seção principal proposta.

O aço utilizado nas hastes e nas hélices é do tipo patinável VMB-COR, com limite de escoamento  $f_y = 350$  MPa e tensão de ruptura  $f_u = 480$  MPa.

As hélices possuem espessura de 9,5 mm e área mínima 182 cm<sup>2</sup> (diâmetro de 152,4 cm).

A haste possui 48,3 mm de diâmetro, parede com espessura de 5,1 mm e as seguintes resistências à torção e à tração.

- Torção resistente = 2.700 lbs.ft;
- Resistência à tração = 180 kN.

Um dimensionamento estrutural mais detalhado poderá ser realizado após a definição da estrutura de suporte dos painéis solares.

### 6.3. DIMENSIONAMENTO GEOTÉCNICO

Na sequência serão apresentados os cálculos da capacidade de carga geotécnica à tração para a estaca helicoidal indicada. A geometria da estaca é aquela indicada na Figura 4.

São apresentados a seguir os principais dados utilizados no dimensionamento:

- Ângulo de instalação: 90° (vertical);
- Profundidade em solo: 2,0 m;
- O nível d'água não foi encontrado nas sondagens;
- Peso específico natural: 18 kN/m<sup>3</sup>;
- Ângulo de atrito: 32°;
- Coesão: 15 kPa;
- Adesão solo-estaca considerada nula.

A previsão de capacidade de carga geotécnica foi realizada por 2 métodos: (i) capacidade de carga individual e (ii) cilindro de cisalhamento, conforme apresentado na sequência.

**(i) Método da capacidade de carga individual**

Calculou-se a tensão de ruptura pela Equação (4), resultando na capacidade de carga à tração pela Equação (2):

$$Q_{u,t} = 51 \text{ kN}$$

**(ii) Método do cilindro de cisalhamento**

Nos cálculos pelo Método do cilindro de cisalhamento, a parcela da ponta foi calculada utilizando resultados das Equação (4), resultando na capacidade de carga à tração pela Equação (6):

$$Q_{u,t} = 32 \text{ kN}$$

**- Comentários**

Como os cálculos pelo Método do cilindro de cisalhamento levaram a uma menor capacidade de carga geotécnica à tração, esta é a condição crítica para a solução proposta.

Como  $Q_{u,t} \cong 2 \cdot F_d$ , o Fator de Segurança de 2,0 é satisfeito.

Ressalta-se que o desempenho da solução de fundação proposta deve ser verificado no início da obra a partir de ensaios de convalidação e provas de carga. Nesta etapa o diâmetro e arranjo das hélices, bem como a profundidade de embutimento podem ser ajustados.

## 7. CONCLUSÃO

Neste documento foi apresentado o dimensionamento geotécnico das fundações dos painéis solares do Parque Solar Boa Vista, a ser implantado em Niterói, RJ.

Com base no exposto, pode-se concluir:

- Por conta da forte inclinação do terreno e das dificuldades de acesso, a solução de fundação concebida para a obra em questão é em **estacas metálicas helicoidais** com **instalação manual**, que conduz a elevada capacidade de carga geotécnica e reduz significativamente a necessidade de movimentos de terra (cortes e aterros).
- A condição crítica de carregamento é a tração, sendo  $F_d = 16,1 \text{ kN}$ ;
- A estaca helicoidal sugerida é formada por seção guia com 2 hélices com diâmetro de 152,4 mm presas a uma haste com diâmetro de 48,3 mm.
- Os cálculos indicaram que a capacidade de carga geotécnica é satisfatória para a estaca com comprimento de 2,0 m em solo.

Ressalta-se que o desempenho da solução de fundação proposta deve ser verificado no início da obra a partir de ensaios de convalidação e provas de carga. Nesta etapa o diâmetro e arranjo das hélices, bem como a profundidade de embutimento podem ser ajustados.



**ANEXO – EXEMPLOS DE EXECUÇÃO MANUAL DE ESTACAS HELICOIDAIS**



Figura A1.1 – Instalação com alavancas manuais



Figura A1.2 – Instalação com rotor portátil