

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Propostas para Execução de Pull Out Test e Dimensionamento de Fundações de *Trackers*

Gabryel Gomercindo Soares

Engenheiro Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil,
gabryel_sooares@hotmail.com

Naloan Coutinho Sampa

Professor, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, naloan.sampa@ufsc.br

Gracieli Dienstmann

Professora, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, g.dienstmann@ufsc.br

RESUMO: Há uma tendência crescente de implantação de usinas solares fotovoltaicas no Brasil para a geração de energias renováveis. Entretanto, essa implantação é revestida ainda de enormes desafios no que tange ao planejamento e execução dos ensaios de campo devido a não padronização dos procedimentos relacionados às fundações de *trackers* e a extensas áreas ocupadas pelas usinas. Diante dessa realidade, os especialistas e os fornecedores de *trackers* e módulos fotovoltaicos ficam responsáveis pela definição de todas as condições e os critérios necessários. Para elaborar um padrão de procedimentos, o presente artigo apresenta e discute os resultados de análise de dados documentais e de entrevistas semiestruturadas feitas com especialistas e fornecedores dos *trackers* no Brasil. As informações obtidas, tanto nas 3 entrevistas como nos relatórios e nos procedimentos de ensaios, foram compiladas e analisadas de forma qualitativa. Como resultado das análises, foram elaboradas fluxogramas que destacam as principais convergências e divergências de procedimentos considerados pelos fornecedores. Nota-se mais convergências do que divergências entre os procedimentos e ambas foram apresentadas e discutidas no trabalho. Algumas divergências residem na densidade de ensaios, tipos de perfis de estacas teste, porcentagens de testes na condição saturada, tipos de carregamentos, ponto de aplicação da carga horizontal, quantidade de ciclos, tempo entre ciclos e limites de cargas horizontais. Face a isso, é recomendada a elaboração de procedimentos nacionais mais específicos.

PALAVRAS-CHAVE: Usinas Fotovoltaicas, Fundações de Trackers, Investigação Geotécnica, Pull Out Tests.

ABSTRACT: There is a growing trend towards the implementation of photovoltaic solar power plants in Brazil for the generation of renewable energy. However, this deployment is still fraught with enormous challenges regarding the planning and execution of field tests due to the non-standardization of procedures related to tracker foundations and the size of the areas occupied by the plants. In light of this reality, experts and suppliers of trackers and photovoltaic modules are responsible for defining all the necessary conditions and criteria. In order to elaborate a standard of procedures, this paper presents and discusses the results of documentary data analysis and semi-structured interviews with experts and suppliers of trackers in Brazil. The information obtained, both in the 3 interviews and in the reports and test procedures, was compiled and analyzed qualitatively. As a result of the analyses, flowcharts were prepared that highlight the main convergences and divergences of the procedures considered by the suppliers. We noticed more convergences than divergences between procedures, and both were presented and discussed in the paper. Some divergences reside in the density of tests, types of test pile profiles, percentages of tests in the saturated condition, types of loads, point of application of horizontal load, number of cycles, time between cycles and limits of horizontal loads. In view of this, it is recommended that more specific national procedures be developed..

KEYWORDS: Photovoltaic Power Plants, Tracker Foundations, Geotechnical Investigation, Pull Out Tests.



1 Introdução

Nos últimos anos, verificou-se uma tendência crescente de implantação de usinas (parques) voltadas para a geração de energias renováveis em áreas *onshore* e *offshore* com elevada incidência de luz solar, vento ou ondas do mar. Dentre várias fontes de energia renovável, a maior expansão proporcional na capacidade instalada de geração de eletricidade no Brasil ocorreu na energia solar fotovoltaica, tendo um aumento de 37,6% em 2019 após um crescimento de quase 100% em 2018 em comparação ao ano de 2017 (EPE, 2020). Em função disso, cerca de 1,4% do total da energia renovável gerada atualmente no Brasil consistem em energia solar fotovoltaica. As previsões mostram que a geração de energia solar tende a crescer e ser cada vez mais atrativa tendo em conta o aumento de investidores, tecnologia e fornecedores nacionais e internacionais voltados para essa área. A implementação de políticas de redução das taxas de importação de equipamentos fotovoltaicos é um outro fator que pode contribuir para a larga implementação de usinas solares.

Não obstante os recentes avanços verificados, a implantação de usinas fotovoltaicas no Brasil ainda é revestida de enormes desafios em termos de planejamento e execução de investigação geotécnica em extensas áreas, e em termos também de dimensionamento de elementos de fundações utilizados para suportar o conjunto dos módulos fotovoltaicos. Ou seja, várias etapas importantes desse processo ainda não são padronizadas nem totalmente entendidas. Por outro lado, é relevante frisar que esses desafios, similares aos que ocorreram durante a implantação das primeiras obras de usinas hidrelétricas e complexos eólicos construídos no Brasil, devem-se em grande parte a ausência de normativas nacionais e de padronização de vários procedimentos. As normas vigentes atualmente no país voltadas à engenharia de fundações são mais abrangentes quando utilizadas em problemas de fundações de *trackers*.

Como consequência do exposto acima, os clientes, projetistas e construtoras envolvidos no processo deparam ainda com alguns problemas. Para contornar, os projetistas das fundações do tracker precisam garantir um projeto seguro e exequível, enquanto que as construtoras precisam adaptar-se a qualquer necessidade de mudança durante os seus processos executivos. Nesse sentido, o planejamento, dimensionamento e execução de investigações geotécnicas e de estacas demandam expertise externa ou de empresas com maiores experiências na construção de usinas. As condições e os critérios adotados em várias etapas do processo variam de acordo com os projetistas e fornecedores.

A partir de um olhar qualitativo, o presente artigo apresenta e discute os resultados de análise de dados documentais e de entrevistas semiestruturadas feitas com especialistas e fornecedores dos *trackers* no Brasil para entender as semelhanças e divergências nas especificações e execuções das investigações geotécnicas e nos procedimentos executivos e critérios de validação dos ensaios de arrancamento (*Pull Out Tests - POT*).

2 Metodologia

O trabalho foi desenvolvido com base no método de pesquisas qualitativas com o intuito de apresentar de forma detalhada as principais divergências e convergências existentes em diferentes etapas de investigação geotécnica e nos procedimentos adotados pelos projetistas e fornecedores de *trackers*.

A primeira etapa consistiu na busca, compilação e análise de informações disponíveis nos relatórios e procedimentos das investigações geotécnicas e ensaios de arrancamento (POT) realizados nas usinas solares. Em seguida, foram realizadas entrevistas com especialistas de três empresas de *trackers* através de trocas de e-mails e conversas de modo remoto. Nessas entrevistas, foram abordadas questões relacionadas à execução e critérios de validação do POT, planejamento e execução das campanhas de investigações geotécnicas, bem como os métodos adotados para dimensionamento das estacas curtas utilizadas para suportar *trackers*. Por questões de confidencialidade, essas empresas são identificadas neste artigo como fornecedor 01, 02 e 03.

Na posse de todas as informações necessárias, a etapa seguinte consistiu na análise e separação das informações em seguintes grupos: investigação inicial, densidade de ensaios, condições para realização de ensaios, quantidade de testes por estacas, aplicação de carga horizontal e critérios para aceitação dos ensaios. Por fim, foram elaborados fluxogramas que mostram os principais processos envolvidos na execução do POT e no dimensionamento de fundações de *trackers* de usinas fotovoltaicas, bem como as tabelas que comparam as condições e os critérios adotados pelas empresas entrevistadas.



3 Resultados

Para facilitar na compressão do artigo, os resultados foram divididos em 6 grupos de acordo com o procedimento adotado nas entrevistas.

3.1 Investigação Preliminar

O conhecimento das características e das propriedades de interesse do subsolo é de extrema importância para um dimensionamento econômico e seguro de fundações, tanto *onshore* como *offshore*. Em usinas solares, o comportamento do solo influencia tanto no dimensionamento das estruturas de apoio dos módulos como nos dispositivos de drenagem e na estrutura de aterramento. Dessa forma, as investigações geotécnicas visam basicamente identificar o perfil geológico-geotécnico (ou seja, a espessura e o tipo de material das camadas de solo), presença d'água e profundidade do nível d'água, eventuais artesianismos e parâmetros de compressibilidade, resistência e permeabilidade dos solos. As informações de investigações geotécnicas bem executadas possibilitam definir tipos de fundações, estimar capacidade de suporte dos solos, limitar estruturas quanto às deformações e garantir a segurança de obras vizinhas.

Em usinas solares fotovoltaicas, a nível preliminar, há possibilidade de ocorrer duas situações quando uma empresa fornecedora de *trackers* é contatada por algum cliente. Na primeira situação, a fornecedora do *tracker* recebe informações referentes a uma campanha de investigação geotécnica preliminar já realizada pelo cliente. Dependendo da necessidade, investigações adicionais são planejadas e realizadas. A outra situação ocorre quando o fornecedor de *trackers* fica responsável pela investigação geotécnica porque nenhuma investigação foi realizada previamente pelo cliente. Em ambas situações, buscam-se realizar principalmente os ensaios de caracterização, ensaios de resistividade e análises químicas, poços de inspeção, Standard Penetration Test (SPT), Dynamic Probing (DP) e ensaios de arrancamento (*Pull Out Tests*).

É de comum entendimento entre os entrevistados a importância da realização de várias sondagens SPT e alguns DP e poços de inspeção durante a fase da investigação preliminar. Os resultados destes ensaios auxiliam na caracterização e classificação dos solos, bem como na definição da posição do nível d'água e de alguns padrões básicos de comportamento dos solos encontrados. A análise desses resultados permite também verificar a necessidade ou não de investigações adicionais em uma determinada região devido às extensas áreas ocupadas pelas usinas solares. A tendência é realizar ensaios POT somente após uma completa análise da condição do subsolo, a partir dos resultados dos ensaios já realizados.

Na prática, em projetos de dimensionamento de fundações de *trackers*, é comum definir um limite de índice de resistência à penetração para identificar as possíveis áreas impenetráveis à cravação direta. Quando são realizadas sondagens SPT, o limite recomendado para N_{SPT} fica em torno de 35 golpes. Este valor está dentro da faixa de 25 a 55 golpes proposta por Cintra e Aoki (2010) para estacas metálicas cravadas no solo. Com relação aos ensaios DP, não foram encontrados na literatura valores limites de referência, porém os entrevistados recomendaram limites na ordem de 50 golpes.

3.2 Densidade de Ensaios

A NBR 8036/83 estabelece, dentre várias recomendações, que em quaisquer circunstâncias o número mínimo de sondagens deve ser: duas para áreas de projeção em planta de até 200 m² e três para área de projeção entre 200 m² e 400 m². Entretanto, a definição de quantidade de ensaios de investigação geotécnica e de ensaios de arrancamento a realizar em usinas fotovoltaicas de grande porte continua sendo um assunto de grande discussão. Na prática, não há um critério único para a definição da densidade de ensaios, assim, tal fica a critério de cada fornecedor. De maneira geral, procura-se realizar uma distribuição uniforme dos ensaios em pontos de interesse e acessíveis, levando em conta as informações prévias sobre o solo local, a segurança desejada para obra e a extensão da área. De acordo com os fornecedores entrevistados, a Tabela 1 apresenta a quantidade de ensaios POT recomendados.



Tabela 1. Quantidade de *Pull Out Test* por fornecedor (SOARES, 2021).

Indicador	Fornecedor 01	Fornecedor 02	Fornecedor 03
	< 100 MW - 10 testes*		
Quantidade de POT	100 a 300 MW - 40 testes*	N.D**	1 p/cd. 2 MW (Mín. 20)
	300 a 600 MW - 60 testes*		

* Podendo aumentar ou diminuir, depois de uma análise das características do solo.

** N.D. Não definido: Depende da variabilidade geotécnica. Os testes são distribuídos levando em consideração uma análise preliminar de regiões em que é possível acessar e que é preciso obter mais informações.

3.3 Tipos de Carregamentos nos Ensaios de Arrancamento e Condições de Saturação do Solo

As estacas metálicas curtas utilizadas em usinas solares são dimensionadas para absorver e resistir os esforços atuantes, principalmente os provenientes das ações de vento, durante a vida útil da usina. Os perfis das estacas são pré-definidos pelas empresas que desenvolvem projetos e fornecem toda estrutura de apoio dos módulos, considerando as ligações da cabeça da estaca com o restante da estrutura. Dentre os principais perfis utilizados estão os perfis I, C e Ômega.

Para análise do desempenho das estacas, ensaios POT são realizados em um conjunto de estacas testes pré-selecionado com os mesmos perfis das estacas de serviço. Os fornecedores 01, 02 e 03 utilizam nas estacas testes dos ensaios POT os perfis do tipo Ômega, I (e C) e I, respectivamente. Na impossibilidade de ensaiar estacas testes com os mesmos perfis das estacas de serviço, os fornecedores recomendaram a adoção de estacas testes com rigidezes e larguras inferiores às das estacas de serviço.

Com relação à execução dos ensaios POT, o carregamento aplicado leva em consideração as condições regionais de vento. Desse modo, uma estaca pode ser submetida a um único tipo de carregamento, em geral horizontal, ou dois ou mais tipos de carregamentos, como mostra a Tabela 2 que apresenta os tipos de ensaios aplicados em estacas testes pelos fornecedores.

Tabela 2. Tipos de ensaios por estaca (SOARES, 2021).

Indicador	Fornecedor 01	Fornecedor 02	Fornecedor 03
Quantidade de testes por estaca	4*	1**	2

* No máximo 4 testes.

** Dependendo da quantidade de furos a serem realizados e da pouca variabilidade do local pode ser especificado a realização de 2 testes por estaca.

O fornecedor 01 realça a possibilidade de realizar no máximo 4 tipos de carregamentos por estaca, seguindo a seguinte sequência: 1 de compressão, 1 horizontal no sentido da carga, 1 horizontal no sentido oposto ao carregamento e 1 de tração.

No que diz respeito à saturação (ou inundação) do solo ao redor das estacas testes, é usual especificar a realização de alguns ensaios testes na condição saturada para avaliar o desempenho da estaca na condição mais crítica do solo. A porcentagem de testes a realizar nesta condição e o volume de água especificado para cada teste, independente da região, são apresentados na Tabela 3

Tabela 3.1 Porcentagem de ensaios na condição saturada e volume d'água (SOARES, 2021).

Indicador	Fornecedor 01	Fornecedor 02	Fornecedor 03
% de ensaios na condição saturada	10 a 20*	50	20
Volume d'água no teste (L)	500**	200	400

* Depende da análise preliminar do solo.

**De modo geral é cerca de 500 L sendo no máximo 900 L ou 5 h até iniciar o ensaio.



3.4 Carregamento Horizontal nos Ensaios de Arrancamento

As configurações dos ensaios de arrancamento quando são aplicados carregamentos horizontais dependem da variação de altura e da concepção estrutural de *trackers*. Geralmente, a altura de aplicação da carga horizontal está associada à altura do posicionamento do módulo. Desse modo, em *trackers* com mais de uma linha de módulos, os efeitos das ligações podem modificar a resposta da estaca face aos carregamentos aplicados. A Tabela 4 apresenta as alturas de aplicação da carga horizontal adotadas pelos fornecedores.

Tabela 42. Altura de aplicação da carga horizontal (SOARES, 2021).

Indicador	Fornecedor 01	Fornecedor 02	Fornecedor 03
Altura (cm)	50	40* 140	200

* O *tracker* avaliado possui duas linhas de módulos. Esta condição faz com que a estaca do motor tenha um momento fletor menor equivalente a aplicar uma carga a 40 cm do solo.

Com relação aos procedimentos de aplicação das cargas, o fornecedor 01 aplica 4 ciclos de carga, variando o tempo de aplicação entre 30 s, 45 s, 60 s e 180 s. Os incrementos de carga entre os ciclos não são constantes, sendo que a maioria dos incrementos é aplicada de forma lenta com a magnitude em torno de 20% da carga de projeto. O carregamento é feito na mesma direção, porém nos sentidos perpendiculares de 0° e 180°. O limite máximo para as cargas aplicadas é de 150% da carga de projeto.

O fornecedor 02 aplica 8 ciclos de carga, considerando carga e descarga. O tempo de 60 s é adotado em todos os estágios, tanto no carregamento como no descarregamento. Em cada incremento, a magnitude da carga aplicada fica em torno de 25% da carga de projeto. Entretanto, quando o limite de deslocamento não é alcançado até o oitavo ciclo, um nono ciclo é realizado para obter grandezas medidas no ensaio na condição de ruptura.

Por fim, o fornecedor 03 realiza 5 ciclos de carga sem incremento de carga em um mesmo ciclo. O tempo de aplicação da carga, bem como o tempo entre os ciclos são constantes e iguais a 60 s. O mesmo fornecedor considera também 150% da carga de projeto como o limite máximo de cargas aplicadas.

3.5 Critérios de Aceitação dos Ensaios de Arrancamento e Fatores de Segurança

Os ensaios de arrancamento (*Pull Out Test*) são geralmente realizados em usinas solares fotovoltaicas no Brasil para analisar o desempenho de estacas. Nesses ensaios, as estacas, cravadas em solo saturado ou não, podem ser submetidas a carregamentos axiais de compressão e tração, carregamento horizontal ou ambos. Os procedimentos adotados para a realização desses ensaios são encontrados geralmente nos documentos dos fornecedores de *trackers*, sendo que esses documentos definem alguns critérios para aceitação dos resultados de ensaios.

Quando uma prova de carga horizontal é realizada, o parâmetro que caracteriza o comportamento do sistema solo-estaca é o deslocamento horizontal devido à carga aplicada. Assim, o Estado Limite de Serviço (ELS) é avaliado através do deslocamento máximo admissível para 100% da carga de projeto. Por outro lado, os fornecedores especificam também um limite de deslocamento residual, que corresponde ao deslocamento horizontal após o descarregamento. O conhecimento desse deslocamento é importante para a avaliação das propriedades elásticas do solo ensaiado.

A Tabela 5 apresenta os deslocamentos máximos admissíveis considerados pelos fornecedores no ensaio de arrancamento, tomando como base a magnitude de deslocamentos mobilizados na ruptura do solo (expressa em função do diâmetro das estacas). Verifica-se que esses valores variam entre 25 a 30 mm. Com relação ao deslocamento horizontal residual máximo, todos os fornecedores consideram 10 mm.

Além da análise de deslocamentos no ELS, é preciso também ensaiar estacas até condições extremas correspondentes ao Estado Limite Último (ELU). Em decorrência disso, recomenda-se aplicar carregamentos nas estacas além da carga de projeto de modo a determinar o fator de segurança (FS) geotécnico. A Tabela 6 mostra os fatores de segurança para o ELU, sendo que esses são aplicados a carga de projeto. Observa-se que o FS varia entre 1,5 e 1,6, valores compatíveis com o recomendado (1,6) pela NBR 6122/2019 quando se têm resultados de provas de cargas estáticas.



Tabela 5.3 Deslocamentos máximos admissíveis (SOARES, 2021).

Indicador	Fornecedor 01	Fornecedor 02	Fornecedor 03
100% da carga de Compressão (mm)	30	15	25
100% da carga de tração (mm)	30	15	25,4
100% da Carga Horizontal (mm)	30	25	25,4
>100% da Carga Horizontal (mm)	30	25	25,4

Tabela 6.4 Fatores de segurança global (SOARES, 2021).

Indicador	Fornecedor 01	Fornecedor 02	Fornecedor 03
Fator de segurança - compressão	1,6	1,6	1,6
Fator de segurança - tração	1,6	1,6	1,6
Fator de segurança - corizontal	1,5	1,6	1,5

3.6 Fluxograma de dimensionamento de fundações de *trackers* em usinas FV

As informações expostas nos itens anteriores associadas as outras não apresentadas neste artigo permitiram a elaboração do fluxograma geral apresentado na Figura 1. O Fluxograma ilustra detalhadamente os principais processos ou informações consideradas nas etapas de investigação preliminar, verificação das ações de projeto, ensaios de arrancamento, análises geotécnicas e dimensionamento.

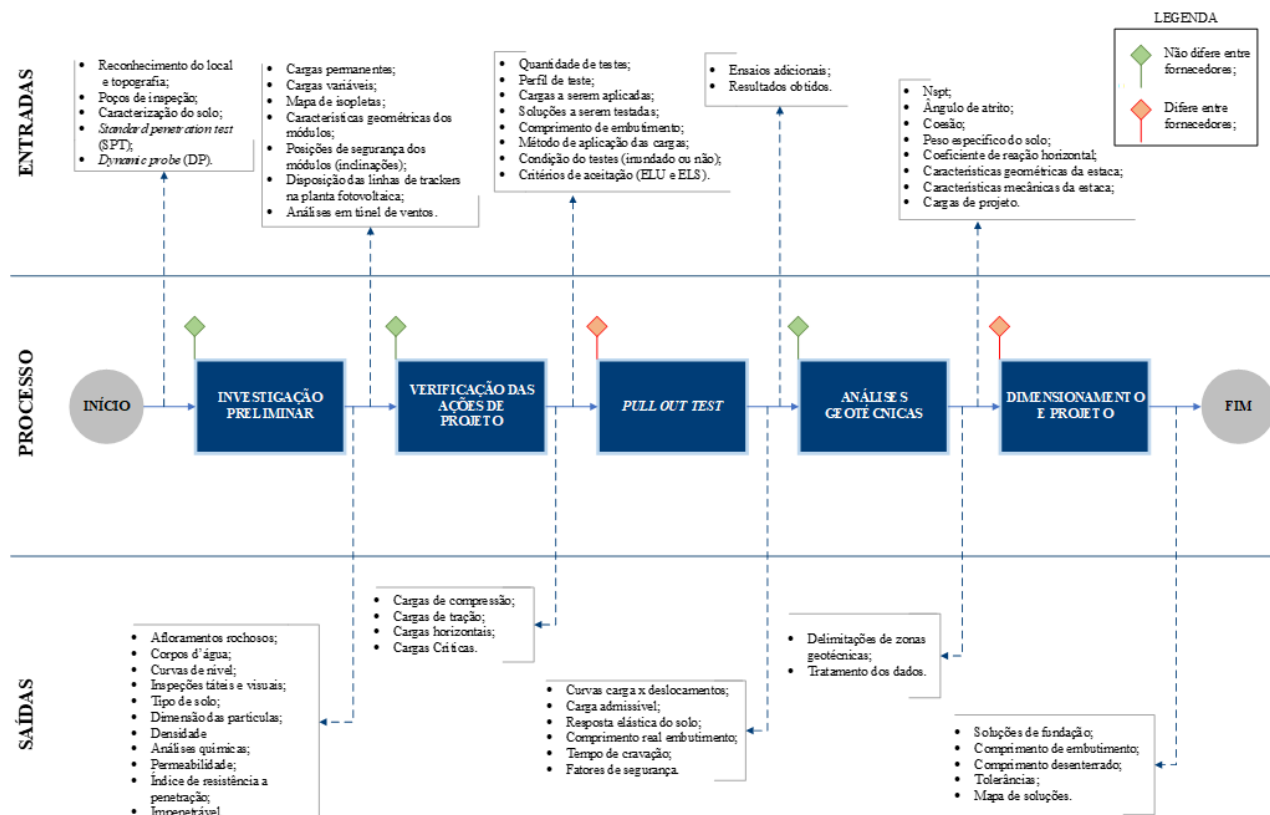


Figura 1. Fluxograma do processo de dimensionamento de fundações de *trackers* (SOARES, 2021).

A maior divergência entre os procedimentos dos fornecedores reside na execução do ensaio de arrancamento (*Pull Out Test*). Esta divergência era esperada pelo fato que os fornecedores especificam os *trackers*, que são produtos específicos, em função das características do empreendimento, o que acaba impactando no método de execução como foi explicado anteriormente. A Figura 2 apresenta o fluxograma do



processo de execução do ensaio de arrancamento em usinas fotovoltaicas, com destaques para as principais diferenças entre os fornecedores.

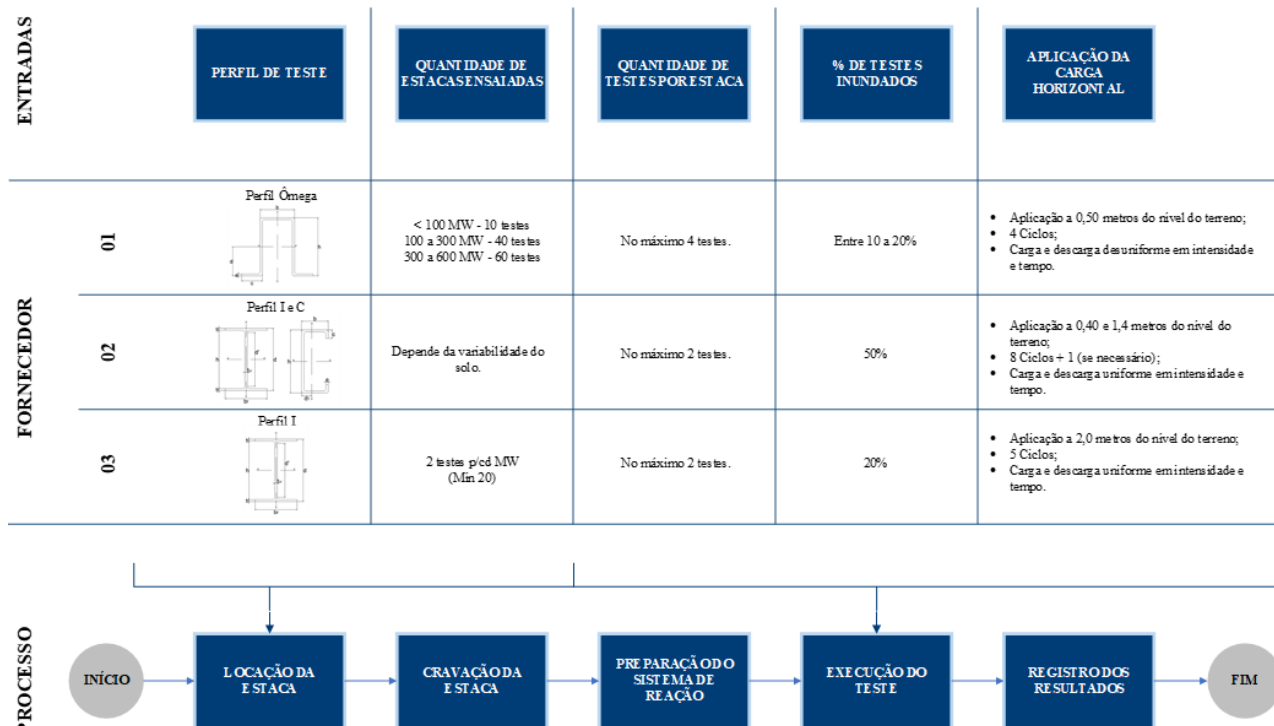


Figura 2. Fluxograma do processo de execução do Pull Out Test (SOARES, 2021).

5 Conclusões

Considerando a relevância de usinas solares fotovoltaicas na geração de energias renováveis, o presente artigo utilizou métodos de pesquisas qualitativas para apresentar de forma detalhada as principais convergências e divergências de procedimentos entre os projetistas e fornecedores de *trackers*. Como síntese desse trabalho, apresenta-se a seguir as principais conclusões que podem ser aplicadas futuramente no planejamento, execução e dimensionamento de fundações de *trackers* de usinas solares.

- apesar de *trackers* serem produtos específicos e customizados, há necessidade de estabelecer orientações gerais ou padronizar os procedimentos executivos referentes às etapas de investigações geotécnicas e realização dos ensaios de arrancamento (*Pull Out Test*);
- há mais similaridades do que divergências nos procedimentos adotados pelos fornecedores. As divergências concentram-se na execução do ensaio de arrancamento e no dimensionamento de fundações de *trackers*;
- os fornecedores adotam praticamente os mesmos critérios para aceitação dos ensaios de arrancamento. Os valores limites de deslocamentos horizontais adotados, considerando o Estado Limite de Serviço, variam entre 25 a 30 mm. Os valores dos fatores de segurança adotados variam entre 1,5 e 1,6, igual ao valor recomendado pela NBR 6122/2019 quando se têm resultados de provas de cargas estáticas;
- possíveis camadas impenetráveis à cravação direta são identificadas pelos fornecedores a partir do índice de resistência à penetração limite de 35 golpes e 50 golpes para ensaios SPT e DPSH, respectivamente;
- os dois fluxogramas elaborados neste trabalho são importantes, tendo em conta as informações detalhadas sobre os processos básicos envolvidos no dimensionamento de fundações de *trackers* de usinas fotovoltaicas.

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
 IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
 IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
 23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
 23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
 COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2019) NBR 6122: *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro, 2019.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas.(1983) NBR 8036: *Programação de sondagens de simples reconhecimento do solos para fundações de edifícios – Procedimento*. Rio de Janeiro, 1983.
- Cintra, J.C. Ângelo; AOKI, Nelson. *Fundações por Estacas – Projeto Geotécnico*. Oficina de Textos. São Paulo, 2011.
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE). (2021) *Plano decenal de expansão de energia 2030*. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2030> >. Acesso em: 15 de março de 2021.
- Soares, Gabryel Gomercindo. (2021) *Análise e Dimensionamento Geotécnico de Fundações em Estacas Metálicas Curtas para Trackers em Usinas Fotovoltaicas no Brasil*. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 160 p. 2021.