

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR/MG
CURSO BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL
IZABEL OLIVEIRA CRUZ

ANÁLISE DO MÉTODO *JET GROUTING* COMO FUNDAÇÃO PROFUNDA

FORMIGA - MG
2018

IZABEL OLIVEIRA CRUZ

ANÁLISE DO MÉTODO *JET GROUTING* COMO FUNDAÇÃO PROFUNDA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do UNIFOR - MG, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.
Orientador: Tiago de Moraes Faria Novais

FORMIGA - MG

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca UNIFOR-MG

C957 Cruz, Izabel Oliveira.
Análise do método Jet Grouting como fundação profunda / Izabel
Oliveira Cruz. – 2018.
71 f.

Orientador: Tiago de Moraes Faria Novais.
Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Centro
Universitário de Formiga - UNIFOR, Formiga, 2018.

1. Estaca injetada. 2. Fundações profunda. 3. Solo-cimento. I. Título.

CDD 624.15

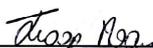
Catálogo elaborado na fonte pela bibliotecária
Regina Célia Reis Ribeiro – CRB 6-1362

Izabel Oliveira Cruz

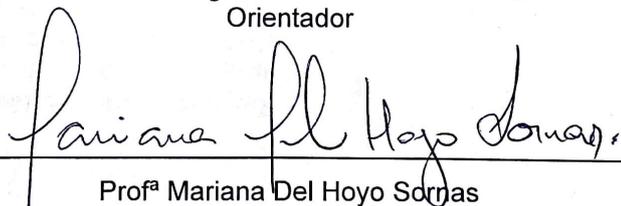
ANÁLISE DO MÉTODO JET GROUTING COMO FUNDAÇÃO PROFUNDA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do UNIFOR, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

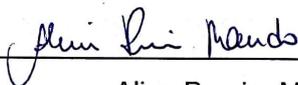


Prof. Dr. Tiago de Moraes Faria Novais
Orientador



Profª Mariana Del Hoyo Sorjas

UNIFOR - MG



Aline Pereira Macedo
Engenheira Civil

Formiga, 14 de novembro de 2018.

AGRADECIMENTOS

Estes 5 anos de estudo e dedicação foram possíveis graças a Deus, por ter preparado a oportunidade de ingressar no curso superior e por ter me acompanhado em todos os momentos. Os dias de persistência não foram fáceis, foram madrugadas sem dormir, rotina acelerada e ausência no meio familiar.

Agradeço a toda a minha família, primeiramente a minha mãe Mona e meu pai João que são guerreiros, batalhadores e vitoriosos, que sempre foram meus exemplos, minha fortaleza, minha âncora, agradeço por terem tido paciência nos meus momentos de esgotamento e estresse, pelo apoio incondicional, por sempre estarem junto a mim. Todas as minhas conquistas são frutos do que eles me fizeram ser como pessoa, toda a minha determinação e força vem destes dois pilares que me sustentam, meus pais.

Aos meus irmãos Samara, Samuel e Izaquiel agradeço também pela paciência que tiveram com os meus dias de esgotamento e estresse, agradeço por fazerem parte desta conquista, por terem colaborado cada um de uma maneira nas necessidades que surgiam ao longo destes 5 anos para que hoje eu pudesse chegar onde cheguei.

Aos meus avós, Maria e Amázio, Dalila e o saudoso Zé Vovô (in memoriam) o qual como os demais, gostaria de ter presente para dar-lhe o orgulho de ter uma neta Engenheira e poder levar o seu sobrenome a conhecimento de todos como autora de boas obras e bons registros na história de nossa família. Aos meus tios e tias, primos e primas que colaboraram direta ou indiretamente nesta jornada, agradeço pelos conselhos e estímulos.

Agradeço as minhas amigas Lorena e Rayane pela paciência e companheirismo que tiveram comigo, agradeço por passarem os apertos de semanas de provas e trabalhos sempre apoiando uma a outra, agradeço por estarem junto comigo nesta etapa final tão importante para nós.

Agradeço aos professores que transferiram seus conhecimentos a todos nós alunos, em especial ao meu orientador Tiago Novais pela paciência e pelo rico conhecimento transmitido, o qual foi fundamental e determinante para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus colegas de trabalho, aos Engenheiros Paulo e Xavier dos quais sempre tenho absorvido conhecimentos e recebido grandes incentivos.

RESUMO

Se tratando de novas técnicas, o presente trabalho traz ao conhecimento dos leitores um método relativamente novo no mercado Brasileiro e ainda pouco explorado, é uma técnica para melhoramento da resistência do solo, nela é produzido uma nata de cimento que é injetada a alta pressão no solo para formar corpos de formas cilíndricas ou lamelares, a nata de cimento aglutina às partículas do solo formando então uma coluna solo-cimento. Neste trabalho será dimensionado o tipo de fundação injetada denominada *jet grouting* para uma edificação multifamiliar localizada em Formiga-MG, a qual está edificada com a fundação do tipo pré-moldada. É importante que se tenha uma análise do solo, o método comum e mais usual para a investigação do solo é denominado SPT o qual foi fornecido pela empresa executora da obra e que será aplicado para realizar o dimensionamento da técnica em estudo através do método de cálculo de Decourt-Quaresma. Para a execução da técnica existe sistemas que devem ser analisados em relação à suas restrições e particularidades. Espera-se obter resultado satisfatório no dimensionamento da técnica em questão e em comparação com a fundação do tipo pré-moldada apresentar valores e condições de execução viável para a fundação em *jet grouting*.

Palavras-chave: Estaca Injetada. Fundações Profunda. Solo-cimento.

ABSTRACT

In the case of new techniques, the present work brings to the readers' knowledge a relatively new method in the Brazilian market and still little explored, it is a technique to improve the resistance of the soil, in it is produced a cream of cement that is injected at high pressure in the soil to form bodies of cylindrical or lamellar forms, the cement cream agglutinates the soil particles and then forms a soil-cement column. In this work, the type of injected foundation called jet grouting for a multi-family building located in Formiga-MG, which is built with the foundation of the precast type, will be dimensioned. It is important to have a soil analysis, the common and most common method for soil research is called SPT which was provided by the company executing the work and will be applied to carry out the design of the technique under study by the calculation method of Decourt - Quaresma. For the execution of the technique there are systems that must be analyzed in relation to their restrictions and particularities. It is expected to obtain satisfactory result in the design of the technique in question and in comparison with the foundation of the precast type to present values and conditions of feasible execution for the foundation in jet grouting.

Keywords: Injected Stake. Deep Foundations. Soil-cement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Blocos	18
Figura 2 - Sapatas isoladas.....	18
Figura 3 - Radier	19
Figura 4 - Estaca hélice continua	20
Figura 5 - Execução de estaca por percussão	21
Figura 6 - Equipamentos de execução.....	22
Figura 7 - Execução de fundação com estaca raiz.....	23
Figura 8 - Equipamento Jet Grouting	28
Figura 9 - Conjunto moto-bomba, misturador e agitador.....	29
Figura 10 - Jateamento do líquido.....	29
Figura 11 - Etapas do processo construtivo	30
Figura 12 - Formas das colunas de jet grouting	32
Figura 13 - Limites máximos e mínimos de diâmetro	33
Figura 14 - Equipamento de registro dos parâmetros de injeção.....	35
Figura 15 - Refluxo durante a injeção	36
Figura 16 - Exemplo de obras com uso do jet grouting.....	37
Figura 17 - Sistemas de jateamento.....	39
Figura 18 - Detalhamento parte inferior da vara jet 1	41
Figura 19 - Jato simples	42
Figura 20 - Detalhamento parte inferior da vara jet 2.....	43
Figura 21 - Jato duplo	44
Figura 22 - Detalhamento parte inferior da vara jet 3.....	45
Figura 23 - Jato triplo	46
Figura 24 - Levantamento Planialtimétrico	48
Figura 25 - Localização blocos.....	49
Figura 26 - Bloco C	50
Figura 27 - Diâmetro para solos não coesivos	54
Figura 28 - Locação das estacas em jet grouting.....	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dosagem típica para jet grouting.....	34
Quadro 2 - Comparativo entre os métodos	40
Quadro 3 - Valores do coeficiente K em função do solo	53
Quadro 4 - Memória de cálculo para carga de ruptura.....	55
Quadro 5 - Resultados carga de ruptura	55
Quadro 6- Composição de custos estaca injetada	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Quantidade de estacas para execução	56
Gráfico 2 - Comparativo de valores de execução unitário	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEF: Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

AF: Alto Forno

ARI: Alta Resistência Inicial

CCP - *Cement Churning Pile*: Coluna de Cimento com Agitação

CEN: Comitê Europeu de Normalização

CJG - *Column Jet Grout*: Argamassa de Jato de Coluna

CP-32: Cimento *Portland* – 32

JG - *Jumbo Grout*: Argamassa Jumbo

JSG - *Jumbo Special Grout*: Argamassa Especial Jumbo

MPa: Mega Pascal

NBR: Norma Brasileira

N_{SPT}: Resistência à penetração do amostrador SPT

PZ: Pozolânico

SINAPI: Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil

SPT - *Standart Penetration Test*: Teste de Penetração Padrão

TCPO: Tabelas de Composições de Preços para Orçamento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo geral	15
2.2	Objetivos específicos	15
3	JUSTIFICATIVA	16
4	FUNDAÇÕES	17
4.1	Fundações superficiais	17
4.1.1	Blocos	17
4.1.2	Sapatas isoladas	18
4.1.3	Radier	18
4.2	Fundações profundas	19
4.2.1	Estacas hélice contínua	19
4.2.2	Estacas pré-moldadas	20
4.2.3	Estaca raiz	23
5	PROPRIEDADE DO SOLO	25
6	JET GROUTING	26
6.1	Técnica de fundação <i>jet grouting</i>	26
6.2	Equipamento	27
6.3	Procedimento de execução	30
6.4	Campo de aplicação	36
6.5	Sistemas de <i>jet grouting</i>	39
6.5.1	Sistema de jato simples (Jet 1)	41
6.5.2	Sistema de jato duplo (Jet 2)	43
6.5.3	Sistema de jato triplo (Jet 3)	44
6.6	<i>Execution of Special Geotechnical Works - Jet Grouting</i>	46
7	MATERIAL E MÉTODO	48
7.1	Coleta de dados	49
7.2	SPT - <i>Standart Penetration Test</i>	51
7.3	Decourt – Quaresma	52
8	RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
8.1	Diâmetro	54

8.2 Dimensionamento do número de estacas.....	54
8.3 Análise de custo direto.....	57
8.4 Logística dos equipamentos.....	60
8.5 Análise comparativa de estacas.....	61
9 CONCLUSÃO.....	62
REFERÊNCIAS.....	63
ANEXO A - Relatório de sondagem SPT.....	68
ANEXO B - Localização do furo 05.....	69
ANEXO C - Proposta para cravação de estacas pré-moldada.....	70
ANEXO D - Croqui da locação de materiais e equipamentos.....	71

1 INTRODUÇÃO

O estudo dos tipos de solos é importante para diagnosticar se o determinado solo necessita de melhoria na sua resistência, para possibilitar que seja executado sobre ele qualquer tipo de edificação, para este estudo ou análise precisa ser feito uma investigação do solo, o método comum e mais usual para a investigação é denominado SPT (*Standard Penetration Test*).

O presente trabalho traz a conhecimento do leitor a técnica de melhoramento do solo denominada *jet grouting*, sobre a qual será apresentado neste trabalho referências e norma encontradas relacionada a técnica em questão.

Será objeto de estudo para este trabalho uma edificação localizada na cidade de Formiga – MG, onde foi executado o tipo de fundação em estaca pré-moldada, para esta edificação será analisado a possibilidade de executar o tipo de fundação injetada em *jet grouting*.

A técnica a ser apresentada possibilita a ocupação de áreas que a princípio seriam impróprias para construção, devido ao difícil acesso e carência de espaço do local, será analisado para a aplicação da mesma, a viabilidade de ocupação dos equipamentos necessários e a disponibilidade de mão de obra para execução da técnica.

Existe três sistemas nos quais pode-se executar este tipo de técnica, que a partir de análise do SPT fornecido será dimensionado o sistema apropriado para a execução dos serviços, para isto, se faz necessário e indispensável o estudo dos procedimentos de execução de cada sistema, suas particularidades e restrições, para que seja dimensionado o método mais viável que atenda as especificações do terreno.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo principal desta pesquisa consiste em analisar a aplicabilidade da técnica de fundação denominada *jet grouting* utilizando-se de um estudo de caso em uma obra residencial no município de Formiga-MG.

2.2 Objetivos específicos

Este trabalho também possui como objetivos específicos:

- Realizar um comparativo da técnica *Jet Grouting* com a execução de estacas pré-moldadas cravadas comuns;
- Avaliar a viabilidade de execução da técnica *jet grouting* para o estudo de caso em questão;
- Analisar a técnica de fundação injetada quanto aos aspectos econômicos;
- Apresentar as principais normas e referências relacionadas à referida técnica.

3 JUSTIFICATIVA

A escolha do tipo de fundação para uma edificação está sujeita à análise das cargas, nível do lençol freático, composição e resistência do solo, entre os diversos tipos de fundações. A técnica a ser apresentada nesta pesquisa, denominada *jet grouting*, está entre as mais recentes, de forma que as informações acerca de suas vantagens, desvantagens e aplicabilidade em edificações civis são escassas.

O desenvolvimento da técnica *jet grouting* se deu nos anos 70. Por ser uma técnica pouco divulgada, são poucas as regiões brasileiras que aderem a este tipo de tecnologia para suas obras de fundação. Em virtude da escassez de bibliografia ou normas que norteiam a escolha e processos executivos desta técnica, faz-se necessário o estudo em diferentes casos específicos em que a mesma possa ser aplicada.

Caracteriza-se assim, como oportuna a pesquisa acerca da técnica denominada *Jet Grouting*, analisando suas propriedades mecânicas e avaliando sua aplicabilidade em uma edificação com alvenaria estrutural quando comparada com estacas cravadas convencionais.

4 FUNDAÇÕES

O termo fundação é definido por Michaelis (1998, p. 1) como “ato ou efeito de fundar, de erigir, um conjunto de obras necessárias para sustentar e assentar os fundamentos de uma edificação transmitindo suas cargas diretamente ao solo”. Segundo Velloso e Lopes (2011, p. 11), “As fundações são convencionalmente separadas em dois grandes grupos: fundações superficiais (ou ‘diretas’ ou rasas) e fundações profundas”.

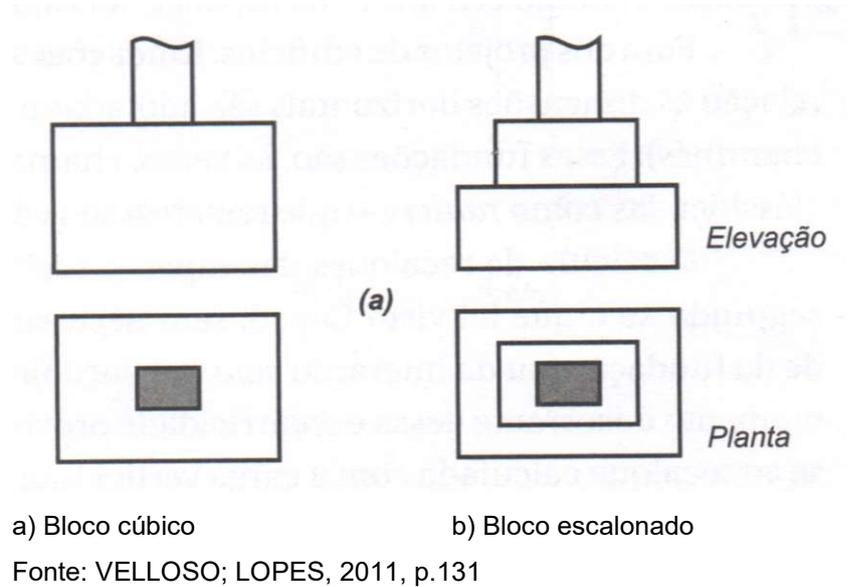
4.1 Fundações superficiais

O que distingue os grupos de fundações é o modo como estes transferem para o maciço a carga da estrutura, segundo a norma NBR 6122 (ABNT, 2010), nas fundações superficiais a carga da superestrutura é transmitida ao terreno por tensões distribuídas em sua base, e a profundidade de assentamento em relação ao terreno vizinho à fundação é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação. Neste tipo de fundação incluem-se: blocos, sapatas isoladas e radier.

4.1.1 Blocos

De acordo com Velloso e Lopes (1998, p. 212), bloco de fundação são “elementos de fundação de concreto simples, dimensionado de maneira que as tensões de tração nele produzidas possam ser resistidas pelo concreto, sem necessidade de armadura”. A figura a seguir (FIG. 1) representa formatos de tipos comuns de blocos de fundação, escalonado, tronco de cone, pedestal e cúbico:

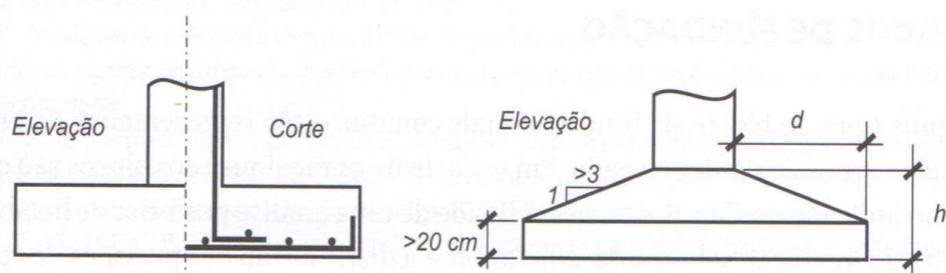
Figura 1- Blocos



4.1.2 Sapatas isoladas

Segundo Velloso e Lopes (1998), são elementos composto de concreto armado com altura menor que o bloco de fundação, empregando o uso de armadura para resistir aos esforços de tração. Podem ser executadas com altura constante ou variável (FIG. 2).

Figura 2 - Sapatas isoladas



Fonte: VELLOSO; LOPES, 2011, p.132

4.1.3 Radier

A norma NBR 6122 (ABNT, 2010) define radier como elemento de fundação que inclui parte ou todos os pilares da estrutura transferindo as cargas existentes ao

terreno. É um bloco de concreto armado que resiste aos esforços de compressão e momentos gerados pelos pilares (FIG. 3).

Figura 3 - Radier



Fonte: Votorantim Cimentos, 2017

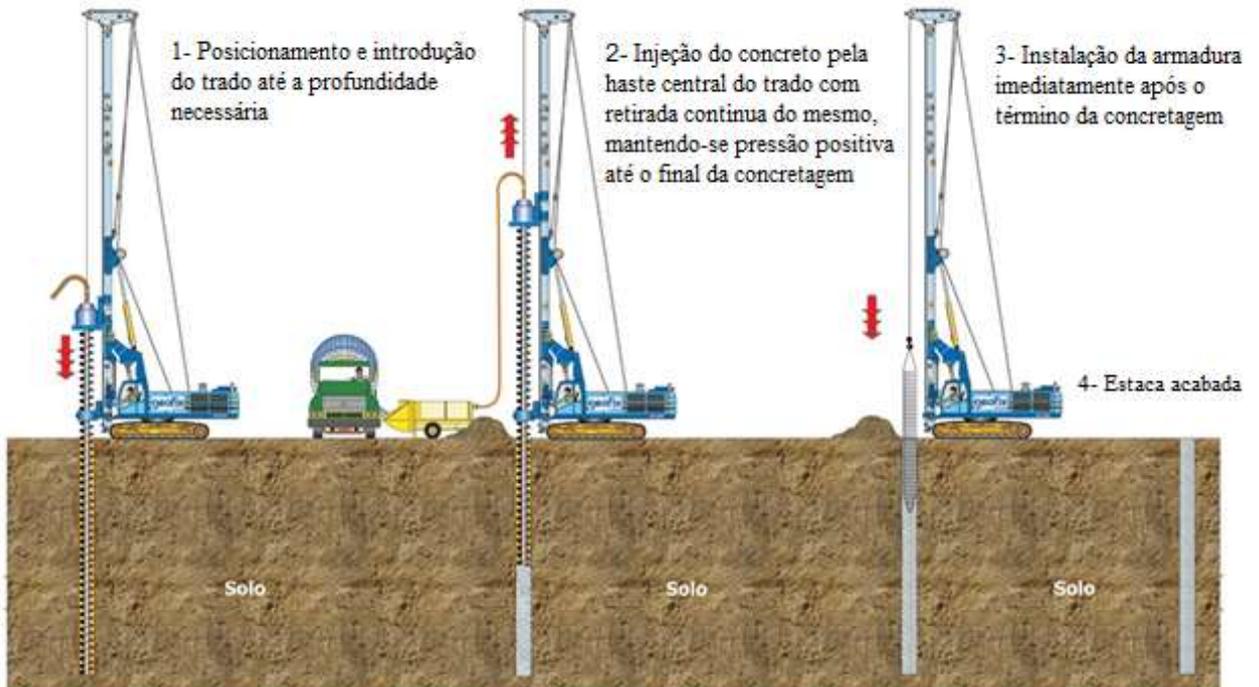
4.2 Fundações profundas

Segundo a norma NBR 6122 (ABNT, 2010, p. 2), define-se fundações profundas como “Elemento de fundação que transmite a carga ao terreno ou pela base (resistência de ponta) ou por sua superfície lateral (resistência ao fuste) ou por combinação das duas[...]”. Neste tipo de fundação incluem-se as estacas: hélice contínua, pré-moldada e raiz.

4.2.1 Estacas hélice contínua

São estacas de concreto moldada in loco (FIG. 4), executada através da introdução por rotação de um trado contínuo, constituído por uma hélice espiral desenvolvida em torno de uma haste central vazada que permite a infiltração do concreto sincronizado a sua retirada, após a concretagem da estaca é introduzido então à armação NBR 6122 (ABNT, 2010).

Figura 4 - Estaca hélice contínua



Fonte: Adaptado de Geofix Engenharia, 2018

Segundo Velloso e Lopes (2010, p. 232), “Estacas escavadas podem causar uma descompressão do terreno, que será maior ou menor; dependendo do tipo de suporte”. Este tipo de estaca pode ser executada sem suporte ou com auxílio de camisa metálica, com auxílio de fluido ou lama estabilizante.

4.2.2 Estacas pré-moldadas

Segundo a norma NBR 6122 (ABNT, 2010), este tipo de estaca é constituída de segmentos de concreto pré-moldado e introduzida no terreno por meio de cravação (FIG. 5), podendo ser utilizado métodos como: percussão no qual utiliza pilões de queda livre ou automáticos, prensagem onde utiliza macacos hidráulicos, e vibração que utiliza um martelo com garras para fixar a estaca.

Figura 5 - Execução de estaca por percussão



a) Torre guia

b) Estaca pré-moldada

Fonte: O autor, 2018

De acordo com Velloso e Lopes (2010), quando este tipo de estaca é cravado em solos granulares classificados com pouca ou mediana compactação, gera um aumento na compactação do solo, isso se dá na introdução da estaca no solo onde ocorre a diminuição do seu índice de vazios.

Ainda sobre as estacas cravadas, Velloso e Lopes (2010, p. 231) definem: “Estacas cravadas em solos argilosos saturados, devido à baixa permeabilidade desses solos, causam – num primeiro momento – um deslocamento do solo praticamente igual ao volume da estaca”.

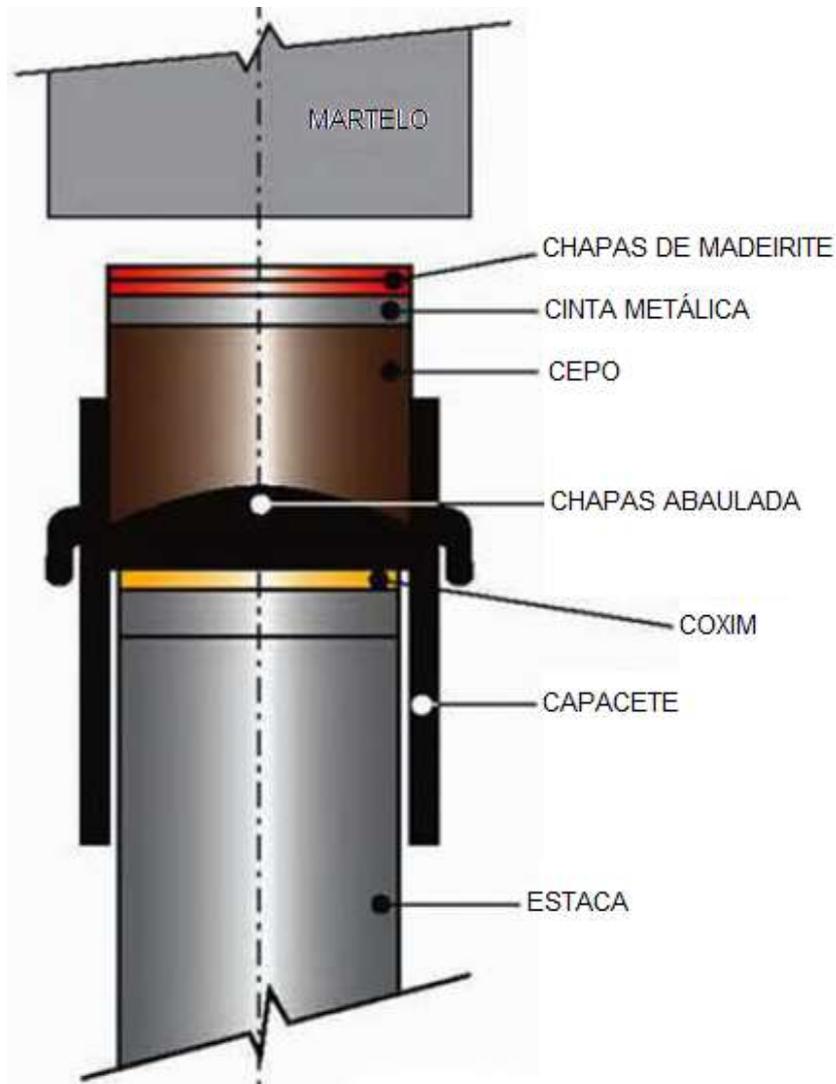
Segundo Dutra (2012), a cravação à percussão se dá pela ação de repetidos golpes provocados pela queda de um martelo ou pilão no topo da estaca pré-moldada, a energia de impacto gerada contra a peça vence a resistência do solo possibilitando a penetração da mesma.

Segundo a NBR 6122 (ABNT, 1996, p. 18), “O sistema de cravação deve ser dimensionado de modo a levar a estaca até a profundidade prevista para sua capacidade de carga, sem danificá-la”.

Ainda sobre a cravação das estacas, segundo Almeida (p. 50, 1985 apud DUTRA, p. 22, 2012), “[...] os danos que podem ocorrer nas estacas devido às tensões excessivas de cravação podem ser: esmagamento da cabeça; esmagamento da ponta da estaca; trincas transversais ou quebra da estaca”.

Os equipamentos e mão de obra necessária segundo ABEF (2012) para execução dos serviços são: bate-estaca, torre guia composta por martelo de queda, capacete para estaca, coxins e cepos (FIG. 6), guincho e máquina de solda, a mão de obra é composta por: engenheiro supervisor, operador, frente de máquina e soldador.

Figura 6 - Equipamentos de execução

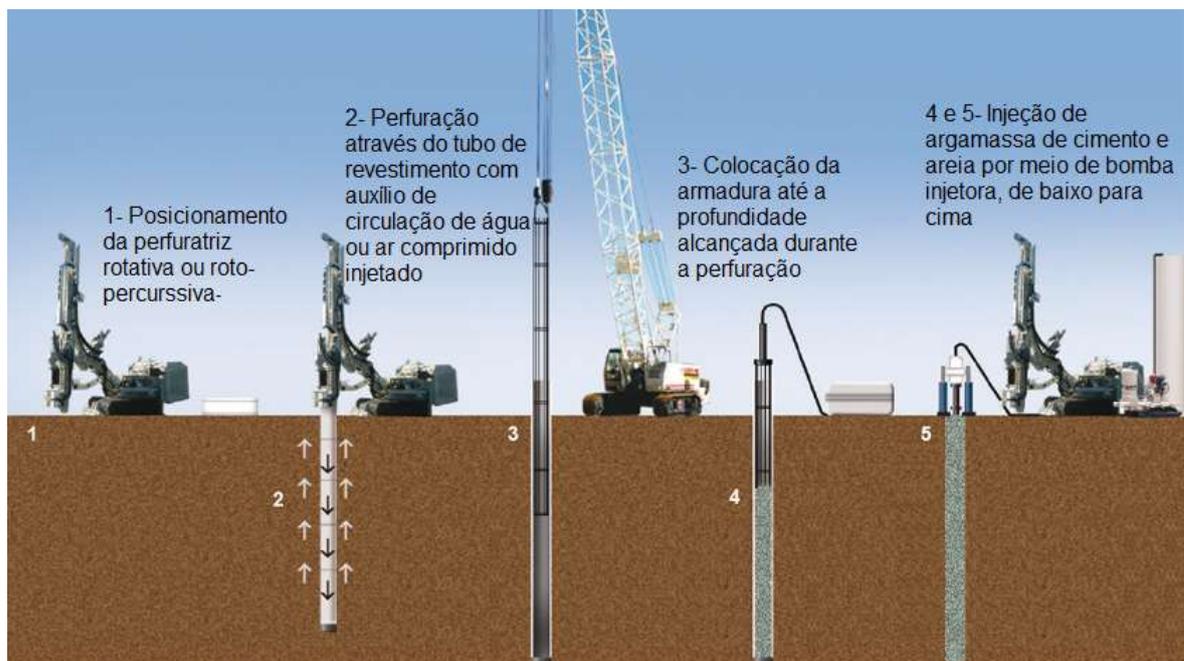


Fonte: Adaptado de: Gonçalves; Bernardes; Neves (2007 apud Dutra, 2012, p. 20)

4.2.3 Estaca raiz

Segundo ABEF (2012, p.175), “É uma estaca armada e concretada com argamassa de cimento e areia, moldada “in loco” executada através de perfuração rotativa ou roto-percussiva [...]”, a FIG. 7 exemplifica a execução de estaca do tipo raiz.

Figura 7 - Execução de fundação com estaca raiz



Fonte: Adaptado de Geofund Fundações Especiais, 2018

Pode-se ainda distinguir este tipo de estaca para aplicação em solo e em solo e rocha, segundo ABEF (2012), para trechos em rocha com presença de matacões este tipo de estaca é executada através da perfuração interna ao tubo de revestimento resultando na diminuição do diâmetro.

Segundo Velloso e Lopes (2010, p. 270), “[...] foram desenvolvidas, em sua origem para contenção de encostas, [...]. Posteriormente, foram utilizadas em reforços de fundação e, em seguida, como fundações normais”.

Segundo ABEF (2012), a perfuração se dá por meio da perfuratriz imergindo o tubo de revestimento com fluxo de água injetada no seu interior, para injeção da argamassa composta por cimento e areia é utilizado a bomba injetora e posicionado o tubo para injeção na profundidade do furo, o sentido da injeção começa de baixo para cima até que toda a água no interior do tubo revestido seja evacuada, o

procedimento de injeção só deve ser interrompido quando a argamassa em ascensão sair limpa.

A mão de obra necessários para a execução desta técnica de acordo com ABEF (2012, p. 191) é composta por: “Engenheiro supervisor; Encarregado geral de serviços; Operador de perfuratriz; Injetador; Auxiliares gerais; e Armador (quando o cliente não fornecer armação pronta)”, os equipamentos utilizados segundo ABEF (2012, p. 176-177) são:

- a) Perfuratrizes rotativas hidráulicas, mecânicas ou a ar comprimido [...];
 - b) Conjunto misturador de argamassa[...];
 - c) Bomba de injeção de argamassa [...];
 - d) Compressor de ar [...];
 - e) Bomba d'água [...];
 - f) Conjunto extrator [...];
 - g) Reservatórios para acumulação de água [...] e
 - h) Conjunto gerador [...].
- ABEF (2012, p. 176-177)

5 PROPRIEDADE DO SOLO

De acordo com Pinto (1998, p. 51), “Os solos são constituídos de partículas com água (ou outro líquido) e ar nos espaços intermediários. As partículas, de maneira geral, se encontram livres para se deslocar entre si”. Ainda quanto a sua constituição, de acordo com a NBR 6502 (ABNT, 1995), o solo pode conter ou não matéria orgânica.

Na constituição mineralógica, Pinto (1998, p. 52) define que “Os solos são formados a partir da desagregação de rochas por ações físicas e químicas. As partículas resultantes dependem da composição da rocha matriz”.

Quanto à estrutura do solo, Das (2011) define como uma combinação geométrica das partículas entre si, estrutura esta que pode ser influenciada por fatores como: o formato das partículas do solo, tamanho, composição mineralógica e a composição da água presente no solo.

A NBR 7250 (ABNT, 1982) define os tipos de solo como: solos grosso, finos e orgânico, os solos grossos são aqueles que são visíveis a olho nu como a areia e pedregulhos, já os finos não são visíveis devido a suas dimensões exemplo deste tipo de solo são as argilas e os siltes, e os solos orgânicos são aqueles que é encontrado em sua composição uma quantidade considerável de matéria orgânica, é um tipo de solo que tem a característica de cores escuras como preto e cinza.

De acordo com Vargas (1977), uma das propriedades que reflete no comportamento do solo é a coesão, o autor a descreve como a resistência em que uma parcela da argila é emprestada ao solo, possibilitando este a capacidade de se conservar coeso, a partir disso o solo pode ter a forma de torrões ou blocos e pode ser cortado em várias formas se mantendo sem se fragmentar, já os solos não coesos tem a característica de se desfazerem, esfarelar facilmente quando cortados ou escavados, exemplos destes estão as areias e pedregulhos.

6 JET GROUTING

De acordo com Abramento, Koshima e Zirlis (1998, p. 641), “O conceito fundamental do *jet grouting* é o uso da força de impacto do jato hidráulico para desagregar o solo”.

Segundo Koshima (2016), foram criados pelos japoneses a partir dos anos 70 vários métodos de aplicação da técnica, nesta mesma época o conhecimento da técnica foi levada para os italianos que estudaram a aplicação da mesma para a estabilização da Torre de Pisa, já no Brasil, a técnica foi introduzida em 1980 e dispersa para os demais países do continente americano.

Sobre o surgimento da técnica, segundo Sousa (2011), surgiu pela necessidade de criar uma técnica nova que possibilitasse realizar várias geometrias, sem o uso de vibração na execução, para tratamento do solo com baixas qualidades mecânicas, permeável ou heterogêneo, houve a necessidade também de se ter uma técnica em que atendesse áreas urbanas com alto índice de habitação onde deve haver controle quanto a perturbações no momento de execução.

6.1 Técnica de fundação *jet grouting*

Segundo Carletto (2009), *Jet Grouting* é definido como uma técnica de tratamento do solo a qual através do jateamento a alta velocidade de uma calda composta por água e cimento forma-se no interior do maciço colunas sólidas ou corpos de solo-cimento impermeáveis com formato similar a um corpo cilíndrico, a formação da coluna de *jet grouting* é executada através de bicos com diâmetro de 2 a 4 mm localizados na extremidade das hastes empregada para o tipo da técnica escolhida, para retirar as hastes é utilizado movimento rotacional com velocidade contínua erguendo-as em direção à superfície.

Através do jateamento acontece a desagregação do solo que de acordo com Koshima (2016, p. 692), “Ocorre, deste modo, uma mistura íntima entre a calda de cimento e o solo desagregado, transformando maciço terroso de baixas propriedades geotécnicas em maciço melhorado e tratado”. De acordo com Koshima (2016), utilizando uma haste de perfuração com diâmetro entre 7 a 10 cm é possível obter corpos cilíndricos com diâmetros entre 0,4 a 2,0 m.

Segundo Koshima (2016) a técnica pode ser efetuada em qualquer tipo de solo, sem limitações de granulometria, origem geológica ou presença de água, pode ser executada em todas as direções de vertical até horizontal para tratamento dos solos fracos.

Entre as principais vantagens da utilização da técnica de *jet grouting* destacam-se segundo Marques (2008):

- Aplicação a uma série de solos a começar do cascalho até argilas, podendo ser executado também em rochas de baixa resistência;
- Viabiliza o tratamento do solo em cotas abaixo do nível freático;
- A técnica é executada com equipamentos de pequeno porte, possibilitando realizar os trabalhos em espaços pequenos;
- Possibilita atingir diferentes geometrias;
- A execução da técnica não produz vibrações e causa baixo nível de ruído.

Entre as desvantagens destacam-se segundo Guerra (2009, p. 23):

- Inexistência de um método de medição das dimensões reais da coluna;
- O controlo deficiente da saída de refluxo (mistura de água com partículas finas de solo e algum cimento que sai pela extremidade superior do furo durante a execução da coluna);
- A realização de colunas verticais está limitada a profundidades não superiores a 15-20 m;
- Dificuldade de remoção e manejo do material rejeitado (refluxo);
- A resistência máxima é obtida vários dias após a execução, o que se pode tornar um problema para alguns tipos de aplicação, contudo, pode ser minimizado com aceleradores de presa. (GUERRA, 2009, p. 23)

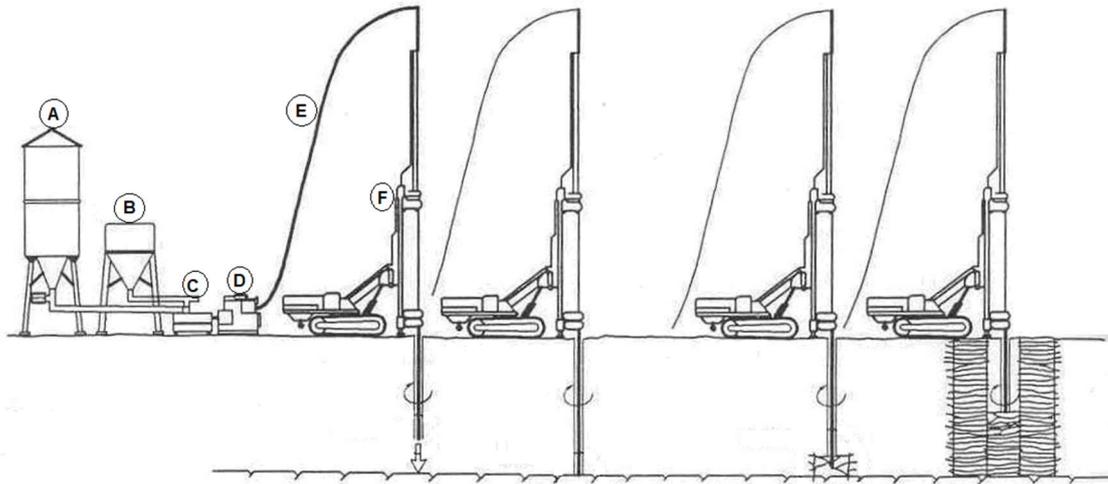
6.2 Equipamento

Conforme Guerra (2009), os equipamentos para a execução da técnica consiste basicamente em (FIG. 8):

- A. Reservatório de água;
- B. Silo de cimento;
- C. Misturador;
- D. Bomba de injeção;

- E. Mangueiras flexíveis;
- F. Máquina de perfuração giratória.

Figura 8 - Equipamento *Jet Grouting*



Fonte: Adaptado de Guerra, 2009, p. 14

Após a definição adequada de um dos sistemas de *jet grouting* a ser executado, pode-se necessitar de um compressor para a execução da técnica.

De acordo com Ribeiro (2010), a mistura dos insumos inicia com a disposição da água no misturador, logo após inclui o cimento armazenado no silo, daí então faz-se a mistura destes dois componentes para preparar a injeção da calda no misturador que viabiliza a produção constante evitando interrupções na execução de injeção, depois da produção da calda ela é bombeada até o equipamento de injeção para que se inicie então a execução da coluna em *jet grouting*. A bomba de alta pressão (FIG. 9) encaminha a calda de cimento até a perfuratriz através de tubos.

Figura 9 - Conjunto moto-bomba, misturador e agitador



Fonte: VI SBPMCH (2008)

Segundo Abramento, Koshima e Zirlis (1998), a pressão de bombeamento transforma-se de energia potencial para energia cinética permitindo o jateamento do líquido (FIG 10) através dos bicos laterais à haste, bicos estes com diâmetros de 1,8 a 5mm, o líquido é jateado com velocidade que pode atingir de 200 a 320 m/s, o jato é executado com movimentos sincronizados de rotação e translação entre a haste e os bicos possibilitando criar formas de colunas que vão de cilíndricas a lamelares.

Figura 10 - Jateamento do líquido



Fonte: Egezemin, 2018

6.3 Procedimento de execução

Segundo Ribeiro (2010), para a escolha do processo executivo da técnica *Jet Grouting*, deve ser analisado as condições do local para execução, profundidade do solo que será beneficiado, condições para recolher o refluxo gerado pela técnica e o nível freático do local. De acordo com Rodrigues (2009), existem três etapas fundamentais no processo de execução da técnica, o corte, a mistura solo/cimento e a cimentação, em fase de corte é utilizado jatos de ar/água com alta pressão e velocidade no sentido horizontal possibilitando a desagregação das partículas do solo, passando para a mistura do solo com o cimento, é feita a aglutinação da calda de cimento com o solo através da rotação da vara, tornando assim o solo mais resistente, a cimentação acontece quando a aglutinação ganha consistência, é neste momento em que o solo vai se fortalecendo enquanto vai se tornando sólido.

O processo construtivo (FIG. 11) inicia na furação, logo após executa a injeção da calda e por fim, a selagem da coluna. De acordo com Ribeiro (2010), estas etapas seguem determinados passos de execução, começando pela furação, a sonda é posicionada nivelada com o eixo da vara simultâneo com o da coluna, a vara é inserida no solo e dá-se início a furação através dos jatos de água/ar, sendo executado até a profundidade de projeto.

Figura 11 - Etapas do processo construtivo

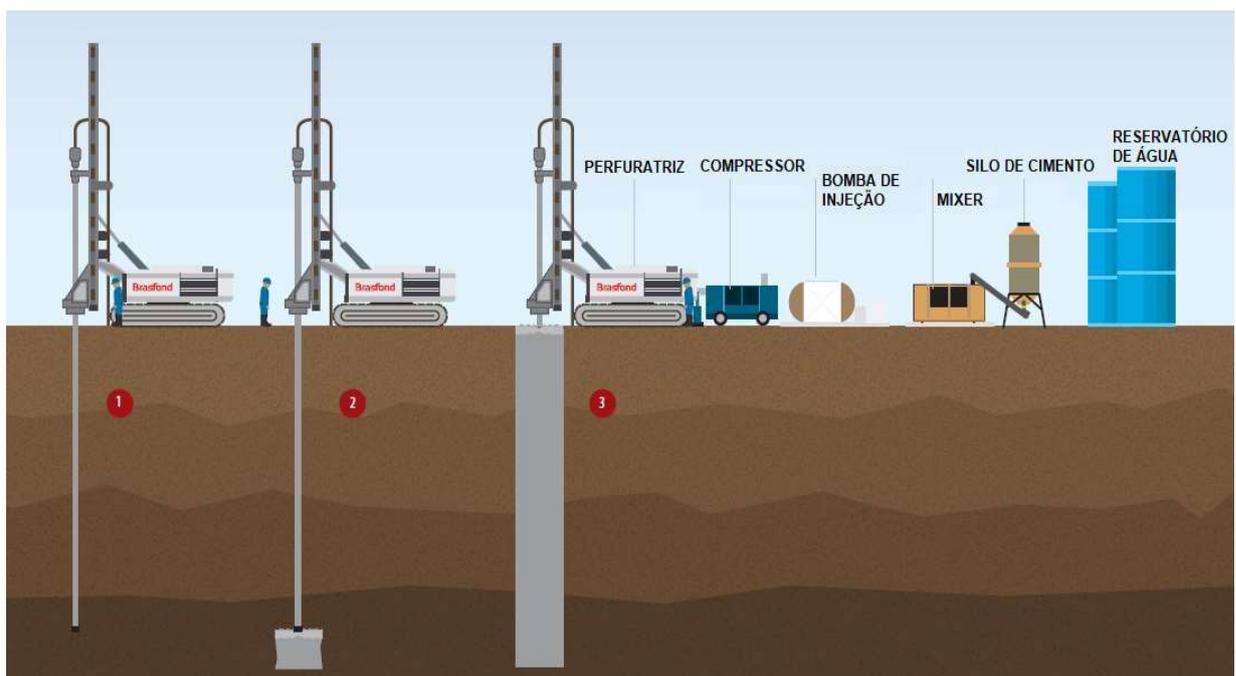
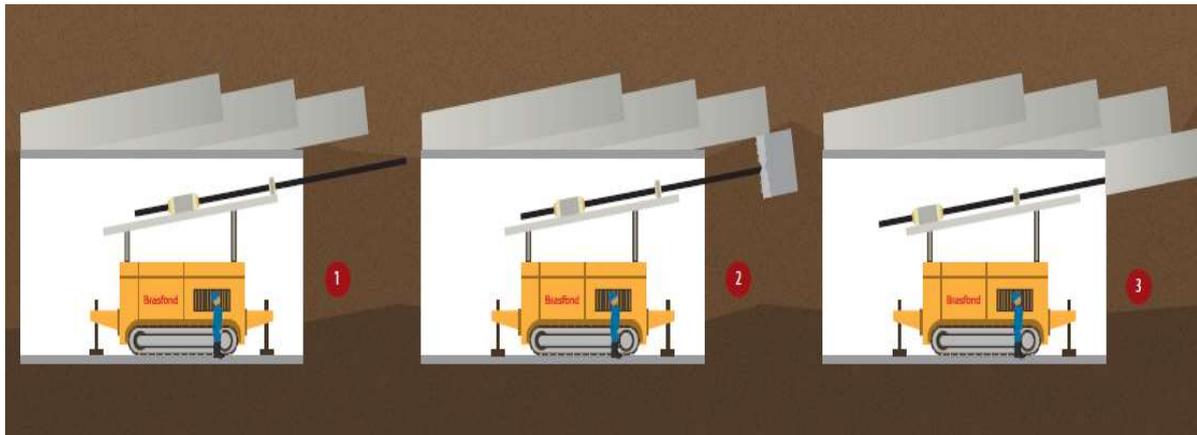


Figura 11 - Etapas do processo construtivo



Fonte: Adaptado de Catálogo Brasfond, 2015, p. 80

Terminada esta etapa, de acordo com Ribeiro (2010), a válvula de água é fechada para então iniciar a injeção de calda de cimento através dos bicos de injeção localizados na vara, é nesta fase que executa então o tratamento do solo, ao finalizar a injeção de calda, o furo executado na primeira etapa é selado. Vale ressaltar que o tipo de furação pode ser com água/ar, calda/ar/água, e somente a calda de cimento, isso depende do sistema adotado para a execução da técnica.

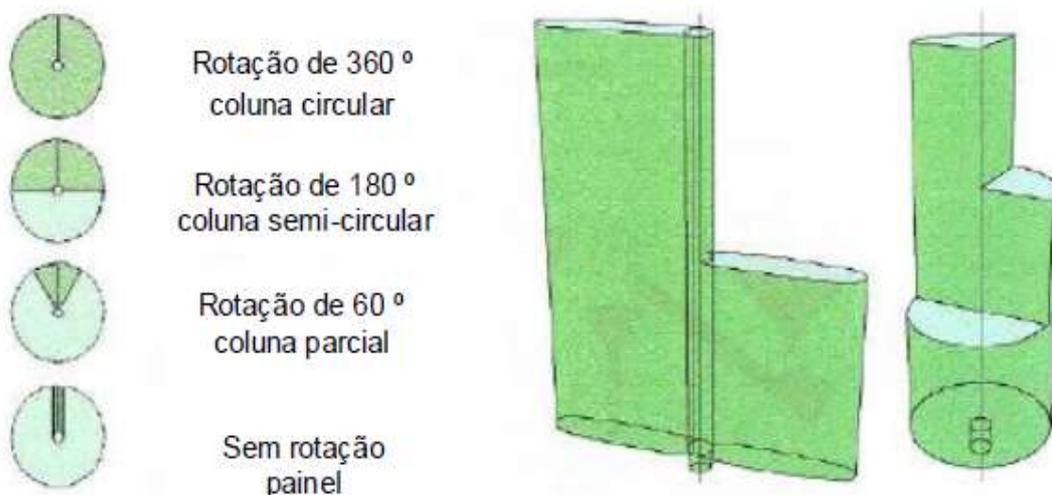
Tratando de aspectos para elaboração de projeto com esta tecnologia, precisa-se de uma investigação geotécnica detalhada do subsolo onde segundo Koshima (2016) deve conter informações sobre o perfil geotécnico descrevendo as camadas que necessitam de tratamento, indicação da resistência destas através do SPT que o método mais usual para investigação do solo, nível d'água e regime hidro geológico, definição de solo coesivo ou não coesivo e as características físicas do solo que são determinadas por ensaios de: granulometria, limite de liquidez e plasticidade, umidade e peso específico.

Segundo Abramento, Koshima e Zirlis, há solos especiais que podem trazer imprevistos na execução desta técnica, são os solos turfosos ou argilas orgânicas com presença de ácidos com baixo valor de pH, os cascalhos, seixos e blocos com grandes vazios e com fluxo d'água intersticial que podem impedir a estabilização da calda de cimento.

Se tratando da geometria obtida na execução do *jet grouting*, segundo Koshima (2016, p. 698), "O diâmetro efetivo não é um valor que é determinável através de equação algébrica. É calcado, até o momento, em experiência semiempírica de cada empresa executora do serviço especializado".

Pode-se obter várias geometrias de colunas com a técnica de *jet grouting* (FIG. 12), as mais utilizadas são: circular, semi-circular e parcial que segundo Rodrigues (2009), vai depender da velocidade de rotação e de elevação da vara, elevando a vara com rotação de 360° forma-se uma coluna circular, sendo elevada com 180° de rotação obtém o formato da metade de uma coluna circular.

Figura 12 - Formas das colunas de *jet grouting*



Fonte: Rodrigues, 2009, p. 45.

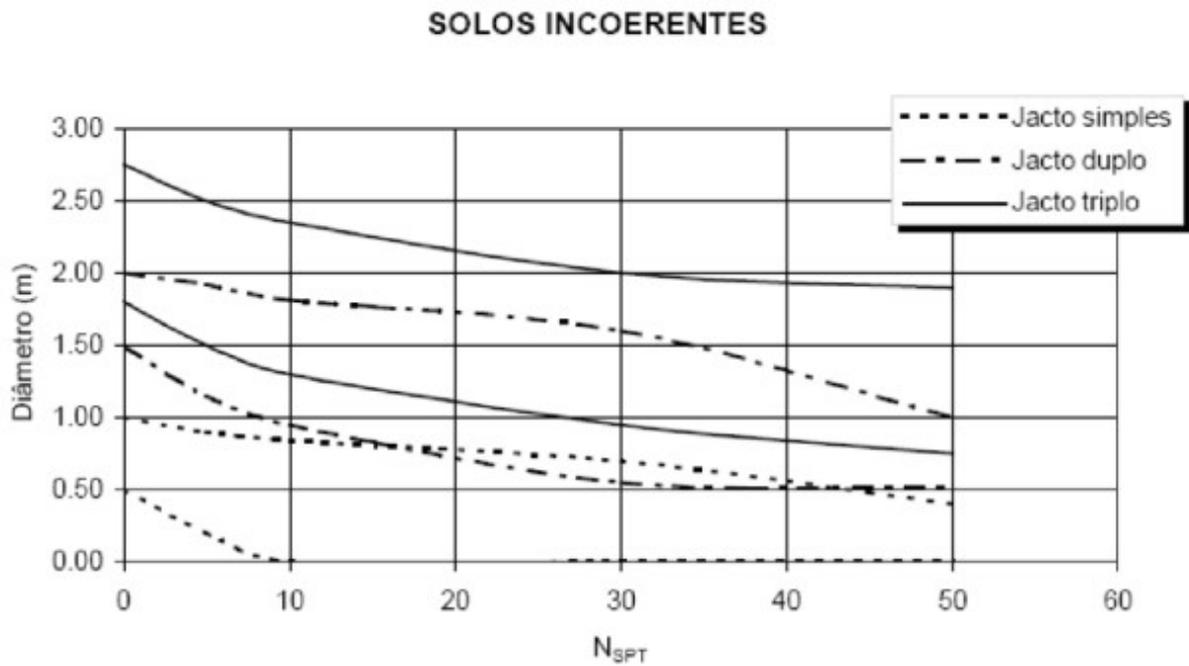
De acordo com Sousa (2011), diversos autores desenvolveram gráficos com informações adquiridas em execuções da prática relacionando o diâmetro das colunas com os critérios de procedimentos da técnica *jet grouting*. Segundo Sousa (2011, p. 23), “[...] os factores que influenciam o diâmetro das colunas são: o sistema de *jet grouting*; as características do solo; a energia aplicada na desagregação do terreno.”

A principal incógnita na utilização desta técnica para o dimensionamento do diâmetro da coluna é a interferência do tipo de solo, visto que, é preciso desagregar o solo com a ação do jato que deverá ser eficiente para tal ação.

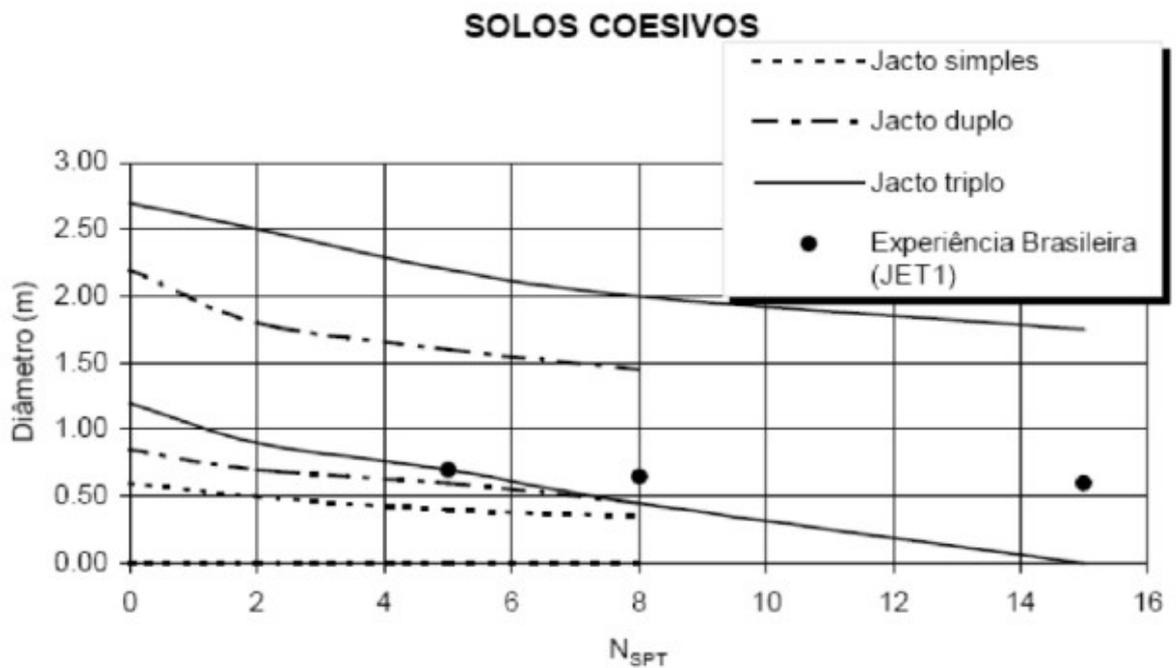
No que diz respeito sobre o diâmetro das colunas, Carreto (2000 apud SOUSA, 2011) embasado em estudos relata que, o diâmetro executado em solos não coeso é superior ao executado em solos coeso sendo o mesmo valor de SPT aplicado para qualquer sistema utilizado (Jet 1, Jet 2, Jet 3), o diâmetro de colunas executadas com o Jet 1 em solos coesos e não coesos alcança uma dimensão inferior quando comparado ao Jet 2 e se alcança maiores diâmetros com o Jet 3. Os gráficos (FIG.

13) abaixo representam limites máximos e mínimos do diâmetro das colunas de acordo com valores de NSPT:

Figura 13 - Limites máximos e mínimos de diâmetro



a) Solos incoerentes



b) Solos coesivos

Fonte: Carreto (1999 apud Sousa, 2011, p. 24)

Se tratando da resistência das colunas, Abramento, Koshima e Zirlis (2016, p. 700) esclarecem, “Sabe-se que no *jet grouting* a resistência à compressão simples das colunas varia de acordo com o tipo de substância consolidante, tipo de solo e tempo de cura”.

O QUADRO 1 mostra uma dosagem típica recomendativa para a execução do *jet grouting*, porém os valores devem ser ajustados em cada obra, no quadro a dosagem foi registrada para uma experiência da aplicação da técnica no Brasil.

Quadro 1 - Dosagem típica para *jet grouting*

EXPERIÊNCIA	BRASILEIRA (m ³ de solo tratado)	
SUBSTÂNCIA CONSOLIDANTE TIPO DE SOLO	CIMENTO (KN) (1)	A / C
AREIA	2,5 – 4,5	0,8 / 1 a 1,5 / 1
SILTE	3,0 – 5,0	0,8 / 1 a 1,2 / 1
ARGILA	3,5 – 6,0	0,8 / 1 a 1,2 / 1
TURFAS E ARGILAS ORGÂNICAS	5,0 – 8,0 + aditivos (2)	0,8 / 1 a 1 / 1

Fonte: Adaptado de Koshima (1998, p. 650)

Para a experiência Brasileira, Koshima (1998, p. 650) fez as seguintes anotações:

- (1) Comumente se usa o cimento Portland normal (CP-32), entretanto, dependendo da característica da obra e do local, pode-se usar o tipo ARI (Alta Resistência Inicial), AF (Alto Forno) ou PZ (Pozolânico).
- (2) Caso constate a presença de substâncias contaminante ou alto teor de acidez deve-se utilizar aditivos específicos para permitir a reação normal do solo com o cimento. (KOSHIMA 1998, p. 650)

Segundo Sousa (2011), simultâneo a execução da técnica é necessário efetuar um controle de qualidade no desenvolver das etapas e uma certificação da técnica executada pela mão de obra, para que os parâmetros do dimensionamento descritos no projeto sejam cuidadosamente seguidos e validados evitando uma execução falha.

Segundo Sousa (2011, p. 34), “O controle de execução da técnica é efectuado através dos registros automáticos dos parâmetros de injeção [...]. No entanto nem todos os equipamentos apresentam esse equipamento [...]”.

Sousa (2011) descreve que através do *software* (FIG. 14) instalado no equipamento pode ser observado: a velocidade, pressão e profundidade de furação; a quantidade de cimento já consumida durante a execução; a pressão de injeção e a velocidade de subida e rotação da vara.

Figura 14 - Equipamento de registro dos parâmetros de injeção



Fonte: Sousa, 2011, p. 34.

Em relação ao processamento de refluxo (FIG. 15), Koshima (1998) sugere duas formas de disposição do material, a primeira é a execução de valas de rejeito onde o material de refluxo se torne mais consistente e seja transportado por caminhão basculante, outra forma seria acumular o material de refluxo em um tanque, diluí-lo com água e bombeá-lo para ser conduzido em estado líquido por um caminhão tanque, as duas opções de destinação do material de refluxo requer um bota fora apropriado para disposição.

Figura 15 - Refluxo durante a injeção

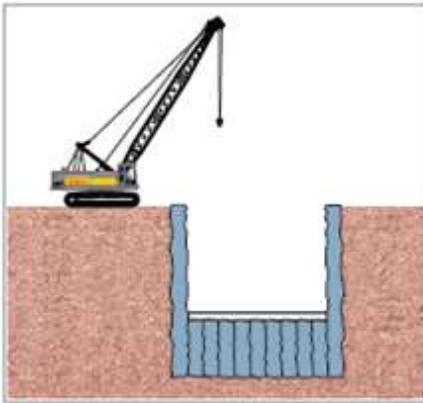


Fonte: Rodrigues, 2009, p. 56.

6.4 Campo de aplicação

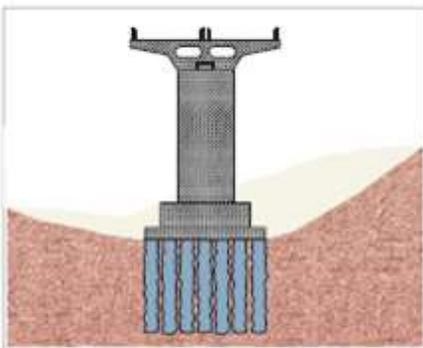
De acordo com Koshima (2016), esta técnica pode ser executada em obras civis de várias maneiras, dependendo do objetivo de cada tratamento a sua aplicação será feita de formas diferentes, a aplicação desta técnica em camadas de solo tem a função de melhoria das baixas propriedades deste. Koshima (2016, p. 697) cita algumas aplicações da técnica como: “[...] suporte de carga como elemento estrutural (armada ou não); consolidação de maciço; impermeabilização; contenção de cortes e aterros etc.”. É uma técnica versátil, podendo ser executada em obras civis como (FIG. 16):

Figura 16 - Exemplo de obras com uso do *jet grouting*



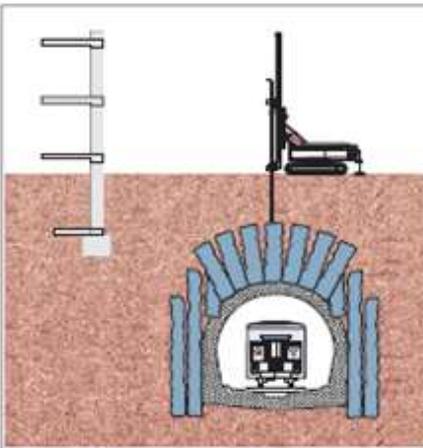
Diafragmas com paredes impermeáveis

Com o sistema jet grouting torna-se possível a execução de paredes impermeáveis em terrenos nos quais a escavação das paredes diafragma torna-se difícil pela presença de grandes matações ou de obstáculos de natureza variada.



Blocos de Fundação

Utilizado para a formação de blocos de terreno consolidado em condições de receber ou transmitir cargas de fundação.



Estabilização preventiva do solo para escavação de túneis

Em caso de solos de baixa capacidade portante, o tratamento permite a estabilização da abóbada, invertos do túnel, antes da escavação. Pode ser executado a partir da superfície ou dentro do túnel, em alternância com a escavação (CCPH).

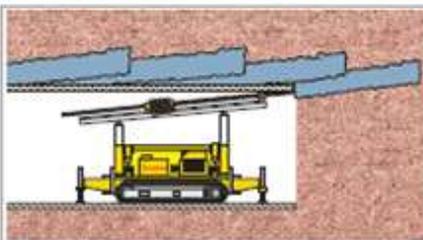
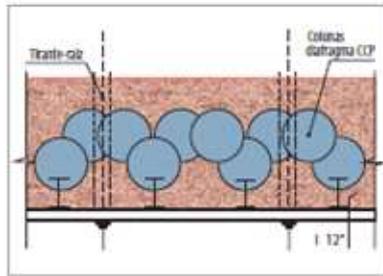
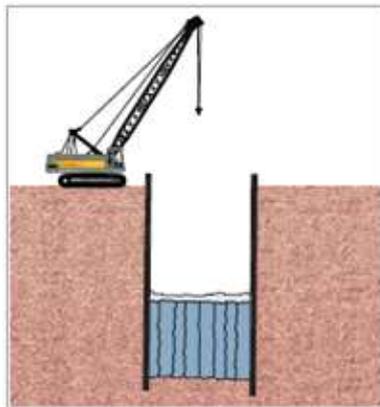


Figura 16 - Exemplo de obras com uso do *jet grouting*



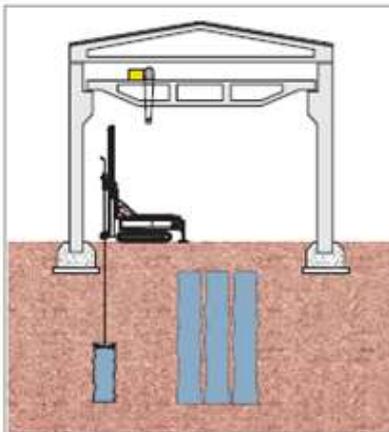
Sistemas Estruturais "Mistos"

Execução de cortina de jet grouting englobando perfis metálicos, para fins de escavação de poços e valas em estabelecimento industrial.



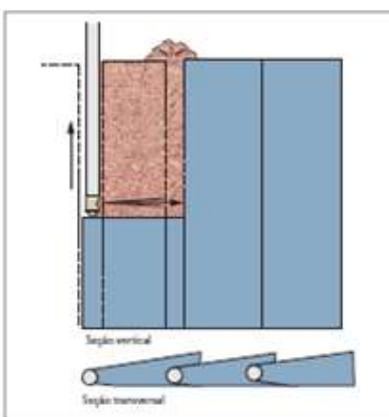
Tampões de fundo de escavações

O sistema permite executar tampão de fundo de uma escavação, tratando preliminarmente uma zona de terreno em profundidade. Esta solução garante a estabilidade do fundo durante escavação em presença de lençol freático, neutralizando os eventuais efeitos da sub-pressão (sifonamento).



Reforço de pisos industriais

No reforço de pisos industriais, sujeitos a grandes cargas que provocam recalques e deformações indesejáveis, e que constituem apoio direto para o piso, o tratamento de jet grouting produz consolidação do terreno entre as colunas.



Painel Jetting

Esta tecnologia permite a realização de painéis impermeáveis, para isolamento de estruturas, escavações e da água do terreno. O método executivo consiste em aplicar o jato de calda de cimento unidirecionalmente, sem rotação das hastes, regulando adequadamente os parâmetros de injeção.

6.5 Sistemas de *jet grouting*

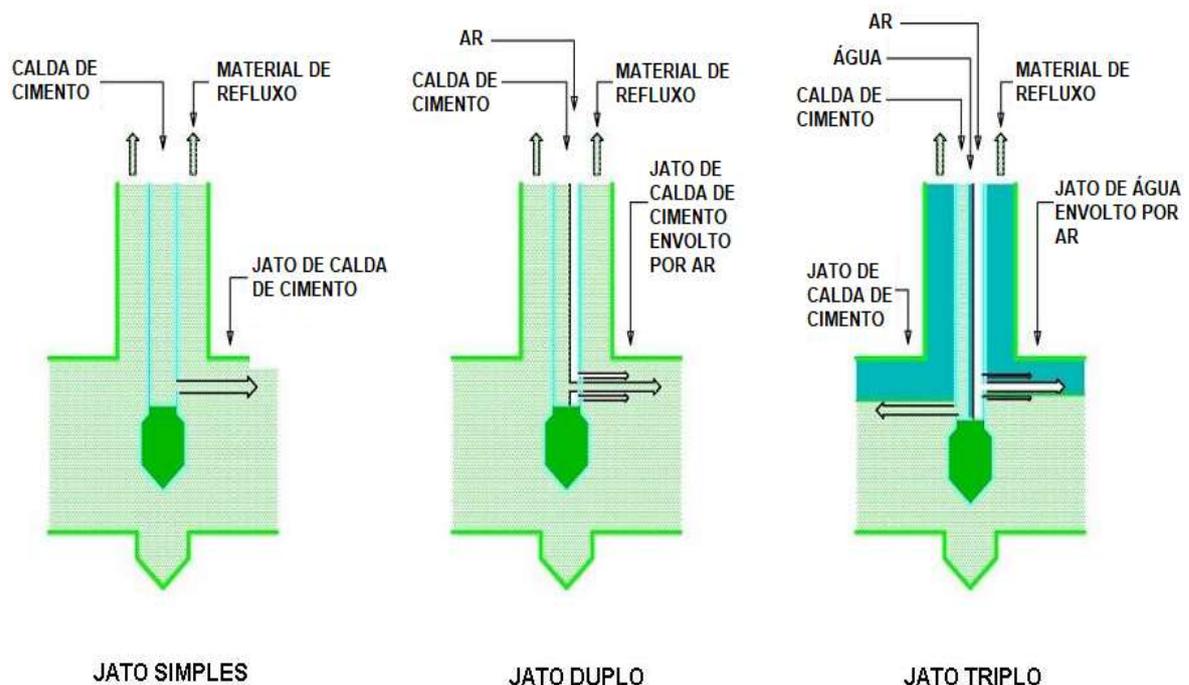
A evolução da técnica desenvolveu três sistemas de *jet grouting* que segundo Rodrigues (2009, p. 29):

[...] proporcionam bons resultados geotécnicos, pelo que a seleção do mais apropriado é função das características do terreno, do objectivo da intervenção e das características físicas do solo a melhorar, do prazo de execução da obra e, também, dos custos associados. (RODRIGUES, 2009, p. 29)

O tipo de solo e as especificações mecânicas solicitadas pelo projeto determina o sistema mais apropriado para a execução das colunas de *jet grouting*. Para executar o corte do solo e a mistura do material injetado, o jateamento feito pelos sistemas é composto pela calda de cimento, água e/ou ar, estes sistemas são classificados em (FIG. 17):

- Sistema de Jato Simples ou Jet 1;
- Sistema de Jato Duplo ou Jet 2 e;
- Sistema de Jato Triplo ou Jet 3.

Figura 17 - Sistemas de jateamento



Fonte: Adaptado de Berger (2010 apud D' Oliveira 2010, p. 34)

De acordo com Carletto (2009, p. 8), os sistemas são diferenciados pelo potencial em desagregar o solo, “[...] o qual aumenta quando se utiliza o sistema bifluido ao invés do monofluido, ou o trifluido ao invés do bifluido”. Segundo Carletto (2009), entre os três sistemas de jateamento, pode-se obter maior diâmetro de coluna com o sistema trifluido, porém é uma das técnicas pouco utilizada por sua maior complexidade.

Quanto à profundidade que os sistemas podem atingir Rodrigues (2009, p. 33) cita, “O jet simples pode atingir 20 m, o jet duplo 25 m, o jet triplo 40 m [...]”.

Segundo Koshima (2016, p. 694), “A grande variação entre os métodos está no uso ou não do ar comprimido concomitantemente com o jateamento do solo [...]”. O QUADRO 2 apresenta as principais diferenças entre os sistemas:

Quadro 2 - Comparativo entre os métodos

ITEM	CCP (JET1)	JSG OU JG (JET2)	CJG (JET3)
Ø COLUNA (m) (1)	$0,4 \leq \varnothing \leq 0,8$	$0,8 \leq \varnothing \leq 1,8$	$0,8 \leq \varnothing \leq 2,0$
Ø HASTE (mm)	75	75	100
Nº HASTE CONCÊNTRICA	1 (simples/mono)	2 (dupla)	3 (tripla)
CONSUMO CIMENTO (2)	1,25 a 2,5 KN/m ³ (3)	3,00 – 5,00 KN/m ³	3,00 – 5,00 KN/m ³
VAZÃO DE CALDA (m ³ /s)	$\geq 5 \times 10^{-4}$	$\geq 1 \times 10^{-3}$	$\geq 1,2 \times 10^{-3}$ (água) $\geq 2,2 \times 10^{-3}$ (calda)
PRESSÃO DE BOMBEAMENTO (MPa)	20 – 45	25 - 45	40 – 60 (água) 2 – 8 (calda)
CONJUNTO MOTO-BOMBA	1	1	2 (água + calda)
COMPRESSOR DE AR	-	1:0,7MPa :0,16m ³ /s/Bico	1:0,7MPa :0,33m ³ /s
PRODUÇÃO (Metro col./Turno/Equipamento)	40 – 80	20 - 50	10 - 30

Fonte: Adaptado de Koshima (2016, p. 695)

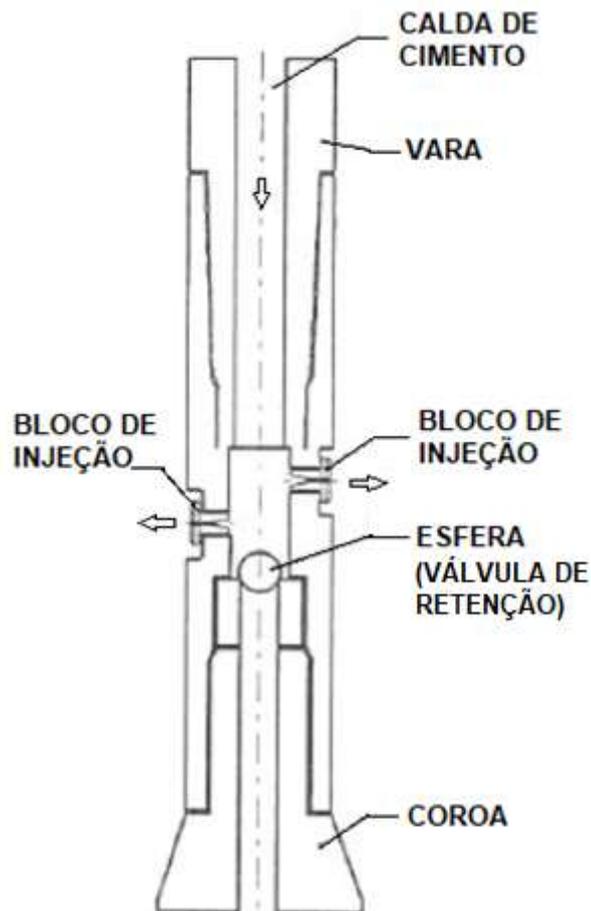
Koshima (2016, p. 695) sobre as anotações no QUADRO 02 descreve:

1. As faixas de diâmetro são as usuais, baseadas em critérios técnico-econômicos, porém executivamente é possível obter valores superiores.
2. Por volume de solo tratado (varia em função do tipo de problema).
3. Por metro linear de coluna. (KOSHIMA, 2016, p. 695)

6.5.1 Sistema de jato simples (Jet 1)

Segundo Koshima (2016), o sistema é designado como CCP - *Cement Churning Pile*, conhecido por jato simples ou Jet 1 por utilizar apenas uma haste onde é bombeada a água a baixa pressão, passando para a calda de cimento no momento de jateamento. De acordo com Sousa (2011), é o sistema mais simples caracterizado por meio de como a calda é introduzida no solo a pressões elevadas, saindo por bocais localizados na parte inferior da vara (FIG. 18 e 19) com velocidade em aproximadamente 200m/s.

Figura 18 - Detalhamento parte inferior da vara jet 1



Fonte: Adaptado de Carreto (1999 apud Guerra 2009, p. 18)

Figura 19 - Jato simples



Fonte: Adaptado de Rodrigues (2009, p. 31)

No Jet1, a calda ao ser injetada no solo com movimento rotacional da vara proporciona a erosão entre as partículas ocorrendo a aglutinação criando assim a mistura solo-cimento. Segundo Gonçalves (2009), neste sistema faz uso de um ou mais jatos horizontais para aplicação da calda de cimento, o Jet1 é restringido quanto aos valores de SPT, para solos coesivos pode ser aplicado a valores inferior entre 5 a 10 golpes, para solos não coesivos pode ser executado para valores inferior a 20 golpes, está restrição é devido a resistência dos solos mais consistentes à aplicação do jato, se esta técnica for aplicada a solos que não se enquadram aos limites de restrição, na etapa de executar os cortes do solo o esforço energético será excessivo consequentemente terá pouca eficiência na execução.

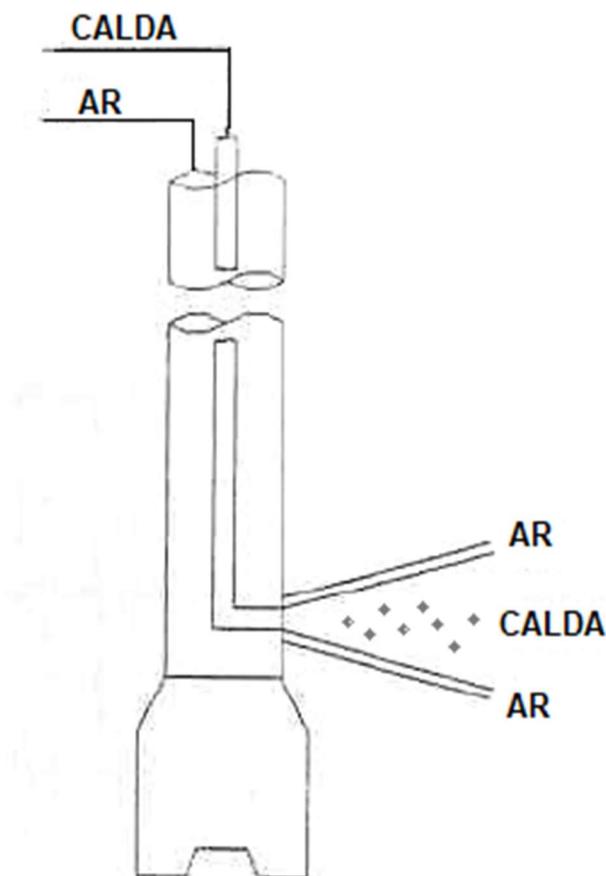
Como comparado no QUADRO 02 (vide p. 40), é um método com valores de diâmetro e pressões de bombeamento inferior aos demais sistemas, por isso, segundo Koshima (2016, p. 696) “É um processo aplicado principalmente em serviços de natureza mais delicada, utilizando, em geral, uma vazão de jateamento e um impacto menor”.

6.5.2 Sistema de jato duplo (Jet 2)

De acordo com Koshima (2016), este sistema é nomeado como JSG ou JG - Jumbo Special Grout ou *Jumbo Grout*, neste método utiliza-se duas hastes de aço coaxiais de onde vem o conhecido nome Jet 2. Segundo D'Oliveira (2010), o jato duplo se difere do simples pelo jateamento da calda ser envolvida por ar (FIG. 20 e 21) o que proporciona maior desagregação no solo e maior alcance do jato. Sobre a execução da técnica de *jet grouting* com este sistema, Koshima (2016, p. 696) descreve que:

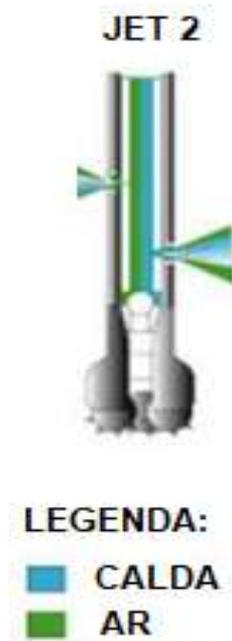
Na fase de jateamento a alta pressão, a calda de cimento passa pelo tubo interno e o ar comprimido, ligado a um compressor, passa pelo tubo externo e na saída do bico ocorre o envolvimento do jato de calda por ar comprimido, aumentando sensivelmente o seu alcance. Em fase de perfuração a água passa pelo tubo interno e o ar é mantido em baixa vazão para evitar seu entupimento. (KOSHIMA, 2016, p.696)

Figura 20 - Detalhamento parte inferior da vara jet 2



Fonte: Adaptado de Carreto (1999 apud Guerra 2009, p. 18)

Figura 21 - Jato duplo



Fonte: Adaptado de Rodrigues (2009, p. 31)

Na fase inicial deve-se obter cuidado quanto à perfuração que de acordo com D'Oliveira (2010, p. 36), "Além da injeção de água para perfuração pela haste interna, no espaço anelar entre as hastes coaxiais deve sempre haver fluxo de ar comprimido em vazão suficiente para que não ocorram obstruções".

Ao contrário do sistema simples, o Jet 2 com maior capacidade de desagregação, não têm restrições quanto a sua utilização em todos os tipos de solos, porém, segundo CARRETO (2000 apud D' OLIVEIRA, 2010, p. 36), "[...] a aplicação deste sistema de jateamento não é comumente usada em solos coesivos com valores de NSPT superiores a 10 golpes", de acordo com Carreto (2000 apud RIBEIRO, 2010) a técnica é usada também em solos incoerentes com NSPT inferiores a 50 golpes.

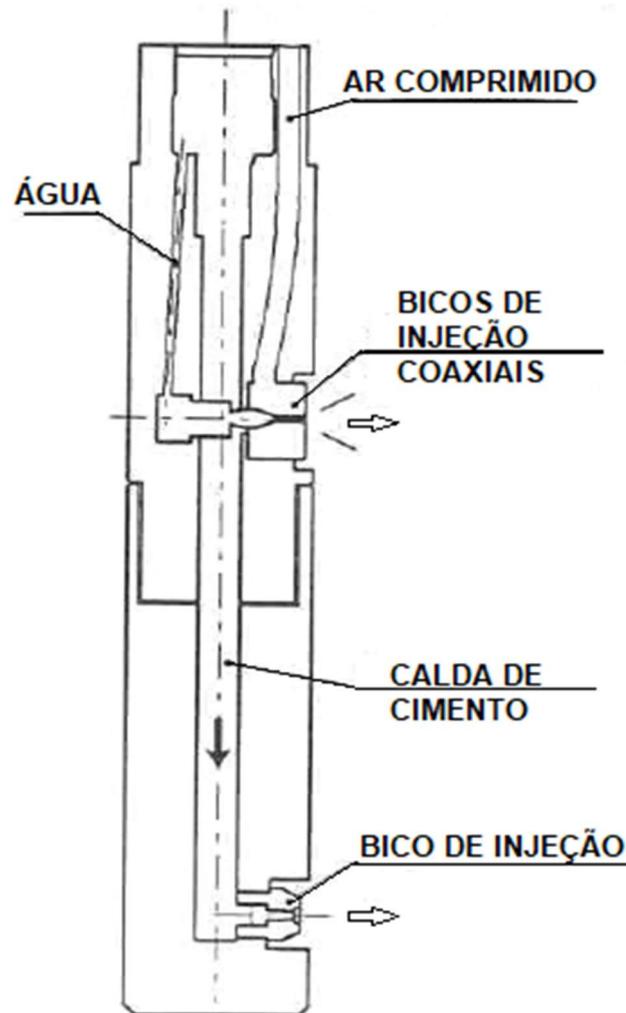
6.5.3 Sistema de jato triplo (Jet 3)

Denominado CJG - *Column Jet Grout* é um sistema onde utiliza jatos de água, ar e calda, é conhecido também como Jet 3 por utilizar três hastes de aço também coaxiais (FIG 22 e 23) que de acordo com Koshima (2016), para este método o jateamento é feito por dois níveis de bicos sincronizados no hidro monitor, para a execução da pre-ruptura do terreno o bico superior utiliza água bombeada a alta pressão envolvida a ar comprimido para o jateamento, já o bico inferior realiza o

preenchimento com a calda de cimento do volume desagregado pelo bico superior sem utilização de ar e com alta capacidade de impacto. Segundo Koshima (2016, p. 696):

[...] o alcance do jato inferior, em material já desagregado deverá ser maior em relação ao jato superior para evitar mau preenchimento. Este método exige a presença de dois conjuntos moto-bombas e um equipamento perforante de maior porte que os 2 métodos anteriores, devido ao diâmetro maior da haste. (KOSHIMA, 2016, p. 696)

Figura 22 - Detalhamento parte inferior da vara jet 3



Fonte: Adaptado de Carreto (1999 apud Guerra 2009, p. 18)

Figura 23 - Jato triplo



Fonte: Adaptado de Rodrigues (2009, p. 31)

De acordo com D'Oliveira (2010, p. 36), "O jato de ar que envolve o jato de água aumenta o poder desagregador e ainda provoca a emulsão da mistura água-solo desagregado, reduzindo a sua densidade e facilitando a sua saída para o exterior".

Segundo Rodrigues (2009), este sistema é utilizado em qualquer tipo de solo, tem sido adotado em solos coesivos com NSPT abaixo de 15 golpes e em solos não coeso com NSPT inferior a 50 golpes.

6.6 Execution of Special Geotechnical Works - Jet Grouting

Execução de trabalhos geotécnicos especiais - *Jet Grouting*, é uma norma Europeia EN 12716:2001 aprovada em 16 de abril de 2001 pelo CEN - *European Committee for Standardization* - Comitê Europeu de Normalização. A norma estabelece definições dos métodos e materiais utilizados no tratamento do solo, é aplicável à execução, teste e monitoramento de trabalhos de *jet grouting*.

A norma estabelece que, antes de dar início as atividades de projeto ou execução, deve ser determinado:

- Descrição do perfil do solo e suas propriedades geotécnicas;

- Condições hidrogeológicas;
- Condições de estruturas adjacentes, enterrados e acessos;
- Requerimentos ambientais;
- Deformação das estruturas a serem sustentadas ou em estruturas adjacentes.

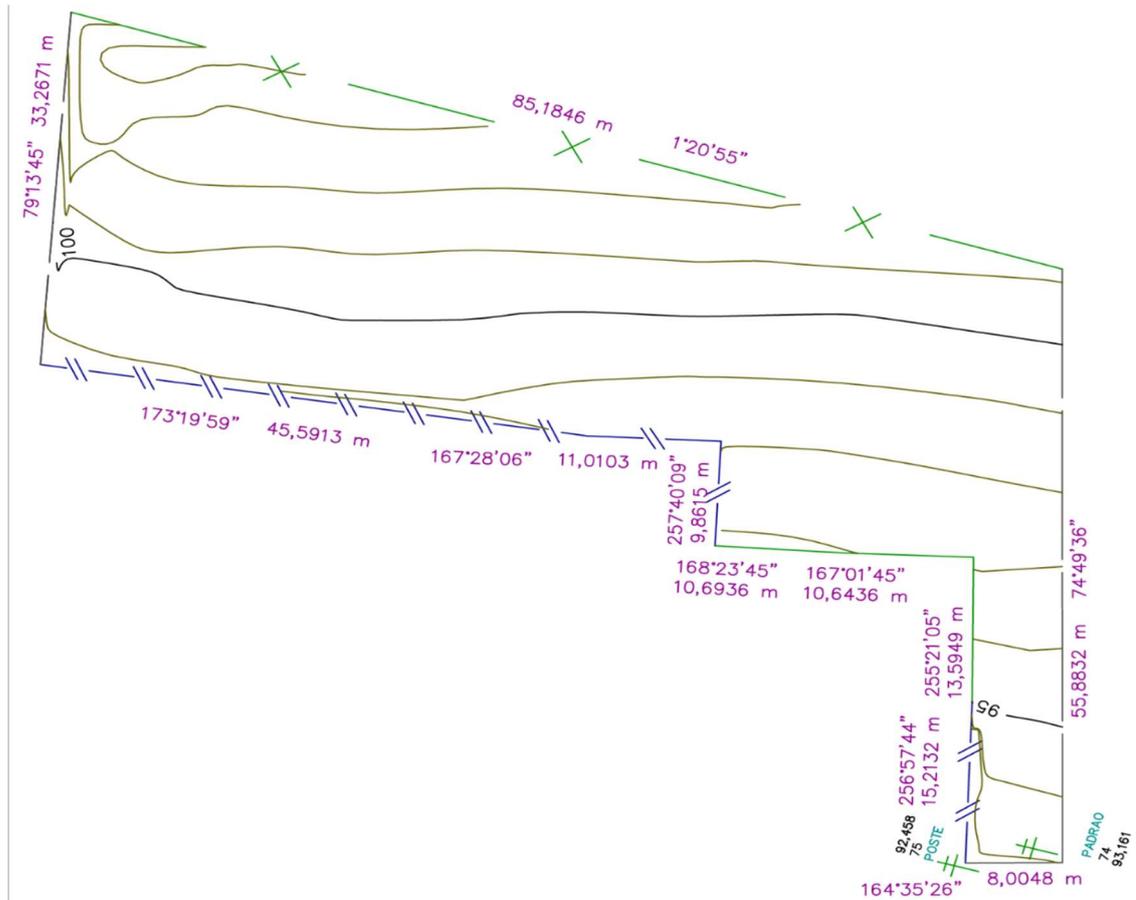
Dentre as recomendações das atividades de projeto e execução de *jet grouting*, a norma preconiza que seja feito:

- Avaliação da viabilidade da execução do projeto;
- Seleção de um dos sistemas de *jet grouting*;
- Definição das dimensões, localização e orientação dos elementos a serem executados;
- Instrução sobre a sequência do trabalho;
- Acompanhamento da execução incluindo os requisitos de qualidade;
- Monitorar os efeitos do *jet grouting* nas estruturas adjacentes.

7 MATERIAL E MÉTODO

O desenvolvimento do presente trabalho foi realizado através do estudo de caso em uma obra de edifício multifamiliar, localizada na cidade de Formiga – MG, a área onde está localizada a edificação é de 2.624,20 m² (FIG. 24).

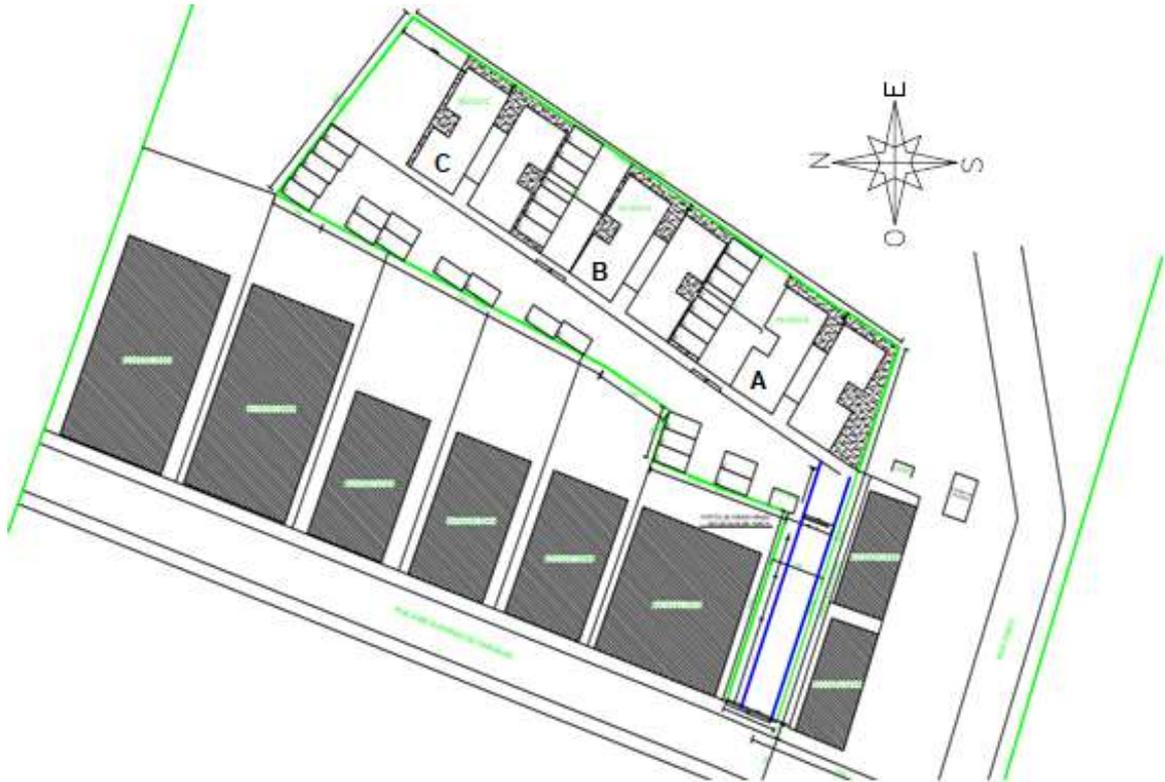
Figura 24 - Levantamento Planialtimétrico



Fonte: Adaptado arquivo da Empresa PMMX Engenharia Ltda, 2018

A obra se resume na edificação de um condomínio nomeado “Residencial Portal da Vila” composto por três edifícios multifamiliar, sendo distinguidos por blocos “A”, “B” e “C” (FIG. 25), os edifícios “B” e “C” com 4 pavimentos obtendo uma área total construída de 1.980 m², e o edifício “A” com garagem no térreo mais três pavimentos totalizando uma área construída de 1.006,70 m², todos os blocos são compostos por 4 apartamentos em cada pavimento.

Figura 25 - Localização blocos



Fonte: Adaptado arquivo da Empresa PMMX Engenharia Ltda, 2018

A edificação foi executada com alvenaria estrutural, não necessitando de vigas e pilares na estrutura, sendo esta formada apenas por paredes e lajes, a fundação executada é do tipo pré-moldada de concreto armado, cravada no solo por meio do equipamento de percussão denominado bate-estaca.

7.1 Coleta de dados

O estudo de caso foi realizado com os dados da edificação do bloco C (FIG. 26), sobre o qual foi retirado no projeto de locação das estacas a carga da edificação que totalizou em 844.4 toneladas ou 8.275,12 KN , a ser recebida pela fundação e transferida ao solo, foi coletado do relatório de sondagem do subsolo os resultados da classificação do material encontrado no local, nível d'água, sequência de camadas, o grau de compactidade e consistência dos solos (ANEXO A).

Figura 26 - Bloco C



Fonte: O autor, 2018

Para a cravação das estacas pré-moldada necessita de mão de obra qualificada, na obra o efetivo para a execução foi composto por: um engenheiro, dois auxiliares de engenharia, um operador e um frente de máquina que auxiliava o operador na cravação da estaca, os serviços foram contratados de uma empresa especializada localizada em Belo Horizonte.

Com os dados obtidos sobre a edificação unido ao conhecimento adquirido através de empresas e engenheiros que executam a técnica *jet grouting*, teses e outros trabalhos realizados sobre, e também com o conhecimento de métodos de dimensionamento de fundações, será aplicado a técnica citada como fundação da edificação do bloco C.

Através do método de Decourt-Quaresma foi realizado o dimensionamento deste tipo de fundação utilizando os resultados obtidos pelo relatório de sondagem do furo 05 onde localiza o bloco C (ANEXO B), logo após, foi comparado a técnica de fundação executada na obra citada com a técnica de *jet grouting* a ser dimensionada neste trabalho.

Foi analisado o custo de ambas as técnicas, tendo como fonte o valor empregado pela empresa na execução das estacas pré-moldadas e o SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), para aproximar um valor de execução da fundação injetada a alta pressão *jet grouting*, tendo como referência os custos e serviços da fundação tipo estaca raiz, ambas são providas do mesmo dimensionamento e tem em comum procedimentos e equipamentos de execução.

A estaca raiz será utilizada como referência por não haver no SINAPI e TCPO (Tabelas de Composições de Preços para Orçamento) referência dos serviços e valores de execução da técnica apresentada neste trabalho. A composição da estaca raiz no SINAPI descreve serviços de montagem de armadura transversal e longitudinal, a técnica em estudo é do tipo não armada por isso, os serviços e valores de armação da estaca raiz foram retirados da composição a ser apresentada.

Para comparação por unidade de estaca, entre os valores da técnica em *jet grouting* e cravada, foi retirado o preço de mobilização e desmobilização da proposta (ANEXO C) para as estacas pré-moldada, visto que, não foi encontrado o valor do mesmo item para estacas injetadas. Foi comparado também a quantidade de estacas dimensionadas entre as duas técnicas para a mesma edificação.

7.2 SPT - Standart Penetration Test

O furo 05 (ANEXO B) foi executado utilizando um barrilete, foi extraído as amostras de metro em metro executando assim o ensaio de penetração, o número de golpes executados para penetração do barrilete foi anotado para determinação da consistência e compacidade dos solos, sendo estes classificados como solos coesivos ou não coesivos, foi utilizado um peso de 65 kg com altura de queda de 75 cm para penetração do barrilete.

As estacas cravadas executadas alcançaram uma profundidade de 7 a 8 metros, obtendo um número de golpes de 20 a 34, classificando a camada de 20 a 30 com boa resistência a penetração e maior que 30 golpes solo com ótima resistência, a predominância do tipo de solo é de silte arenoso medianamente compacto a compacto, a classificação do solo encontrado se integra a classe de solos não coesivos. O nível d'água não foi encontrado até a profundidade de 12,45 metros.

7.3 Decourt - Quaresma

Pelo método direto de Decourt-Quaresma, através dos valores de N do ensaio de SPT foi avaliado a capacidade de carga das estacas, por este método foi considerado a resistência por atrito lateral e de ponta da estaca, de acordo com as notas de aula da disciplina de Fundações ministrada pelo Professor Tiago Novais tem-se as fórmulas 1, 2, 3, 4 e 5 para o cálculo da capacidade de carga das estacas:

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (1)$$

Onde:

Q_u – carga de ruptura

Q_s – carga resistida pelo atrito lateral

Q_p – carga resistida pela ponta na ruptura

$$Q_p = q_p \times A_p \quad (2)$$

Onde:

q_p - tensão de ruptura de ponta

A_p - área da ponta da estaca

$$q_p = K \times N_{spt} \quad (3)$$

Onde:

K - coeficiente em função do solo

N_{spt} - média do spt da profundidade de projeto, um spt acima e abaixo

$$Q_s = q_s \times A_s \quad (4)$$

Onde:

q_s – atrito lateral unitário

A_s - área lateral da estaca por metro de profundidade

$$q_s = 10 \times \left(\frac{N_{spt}}{3} + 1 \right) \quad (5)$$

Onde:

Nspt - número de spt por profundidade

Quadro 3 - Valores do coeficiente K em função do solo

PARÂMETROS		
TIPO DE SOLO	K (kN/m²) ESTACAS EM GERAL	K (Kn/m²) ESTACAS ESCAVADAS
AREIA	400	200
SILTE ARENOSO (solo residual)	250	140
SILTE ARGILOSO (solo residual)	200	120
ARGILA	120	100

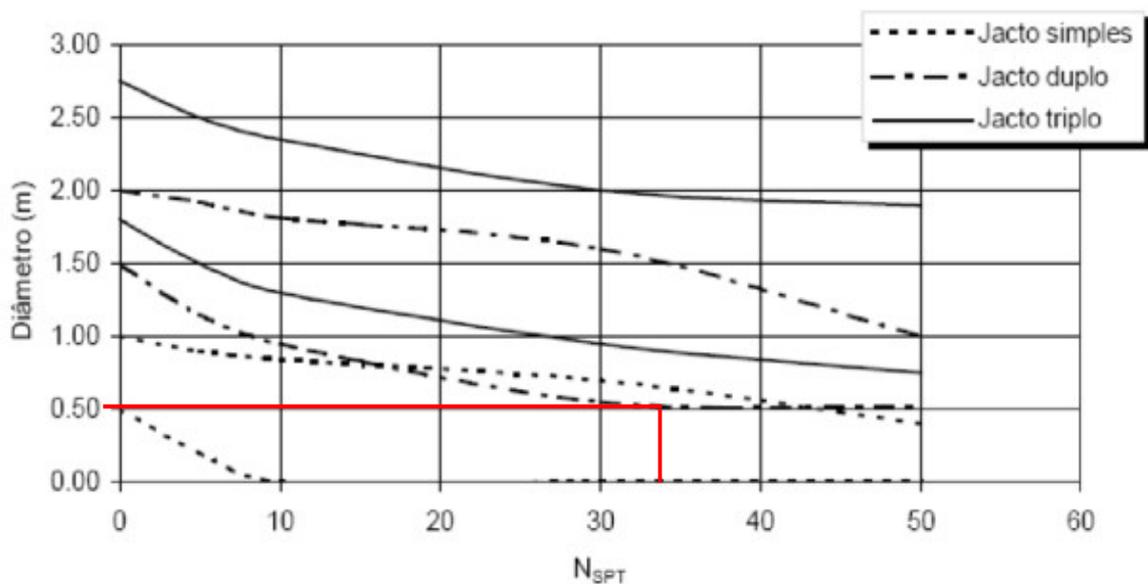
Fonte: Adaptado de Décourt; Albiero; Cintra (1998, p. 275)

8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

8.1 Diâmetro

Para definir o diâmetro da estaca em *jet grouting* foi consultado o gráfico da FIG. 27 para solos não coesivos, onde foi identificado 33 golpes registrado no SPT do furo 05, analisando então a coluna dos diâmetros, a dimensão a ser executada é de 0,50 metros até a profundidade de 8 metros conforme leitura do SPT.

Figura 27 - Diâmetro para solos não coesivos



Fonte: Adaptado de Carreto (2000 apud Sousa, 2011, p. 24)

O sistema de *jet grouting* a ser executado segundo o resultado do gráfico da FIG. 28 é o sistema de jato duplo, que é um dos mais usuais entre as três técnicas, por atender solos não coesivos com NSPT menor que 50 golpes e ser mais econômico e menos complexo do que o sistema de jato triplo.

8.2 Dimensionamento do número de estacas

Na execução das estacas para o bloco C foram cravadas o total de 54 estacas pré-moldadas, com profundidade de 7 a 8 metros e diâmetro variando de 17 a 20 cm com fck de 25 e 35 MPa respectivamente.

O dimensionamento das estacas em *jet grouting* foi feito com o auxílio do *Software Excel* em planilha com o método do Decourt-Quaresma, conforme QUADRO 4, para os cálculos foram inseridos o número de SPT do furo 05, o tipo de solo encontrado nas camadas e a profundidade da estaca de 8 metros encontrado através da leitura do SPT, o resultado da carga de ruptura gerado através dos parâmetros do método foi de 2.225,48 KN sem aplicação do coeficiente de segurança e de 1.112,74 KN com coeficiente de segurança igual a 2,0.

Quadro 4 - Memória de cálculo para carga de ruptura

Coeficiente de Segurança: 2,0			DÉCOURT – QUARESMA			
Z (m)	NSPT	SOLO	K (kN/m ²) ESTACAS EM GERAL	qs (kN/m ²)	As (m)	Qs (kN)
1	8	ARGILA ARENOSA	120	36,67	1,57	57,57
2	7	SILTE ARENOSO	250	33,33	1,57	52,33
3	10	SILTE ARENOSO	250	43,33	1,57	68,03
4	14	SILTE ARENOSO	250	56,67	1,57	88,97
5	15	SILTE ARENOSO	250	60,00	1,57	94,20
6	14	SILTE ARENOSO	250	56,67	1,57	88,97
7	19	SILTE ARENOSO	250	73,33	1,57	115,13
8	33	SILTE ARENOSO	250	120,00	1,57	188,40
9	38	SILTE ARENOSO	250	136,67	1,57	214,57

Fonte: O autor, 2018

Quadro 5 - Resultados carga de ruptura

Ap (m ²)	qp (kN/m ²)	Qp (kN)	Qu (kN)	Q/CS (kN)
0,20	7500	1471,88	2225,48	1112,74

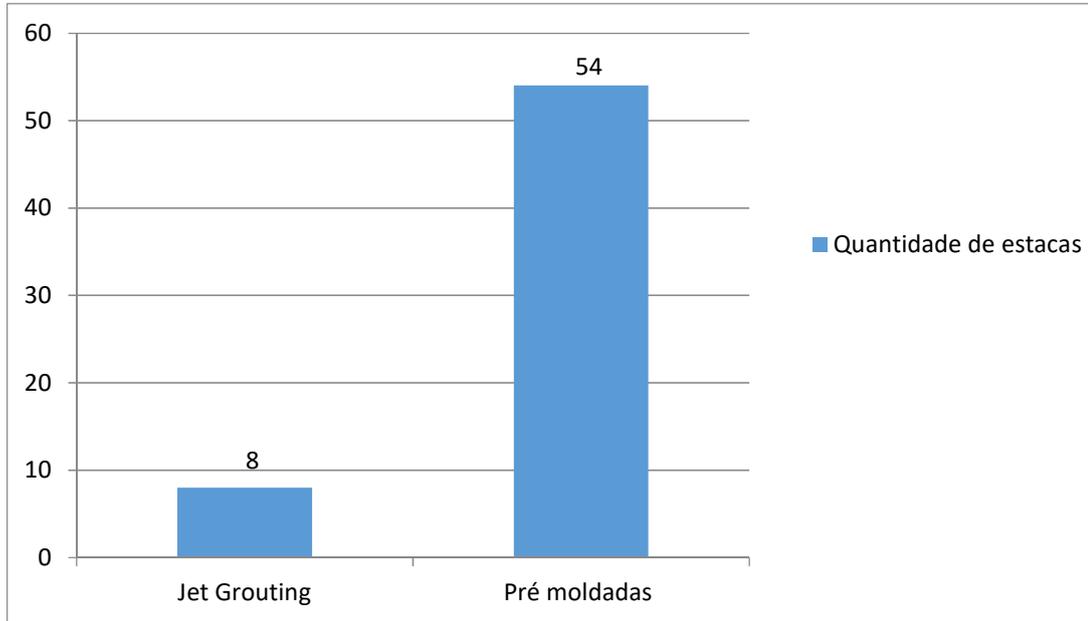
Fonte: O autor, 2018

Para encontrar o número de estacas em *jet grouting* a ser executado na edificação da obra, foi feito a divisão da carga total de 8.275,12 KN que será recebida na fundação, pela carga de ruptura de 2.225,48 KN e de 1.112,74 KN encontradas por meio dos cálculos feitos em planilha.

O resultado para a carga de ruptura sem coeficiente de segurança foi de 3,7 estacas, ou seja, 4 estacas de 8 metros de profundidade para receber toda a carga e distribuí-la ao solo, para a carga com coeficiente o número de estacas foi de 7,4, ou seja, 8 estacas.

Comparando a quantidade de estacas cravadas e em *jet grouting* encontradas depois do dimensionamento, o GRAF. 01 apresenta os seguintes resultados:

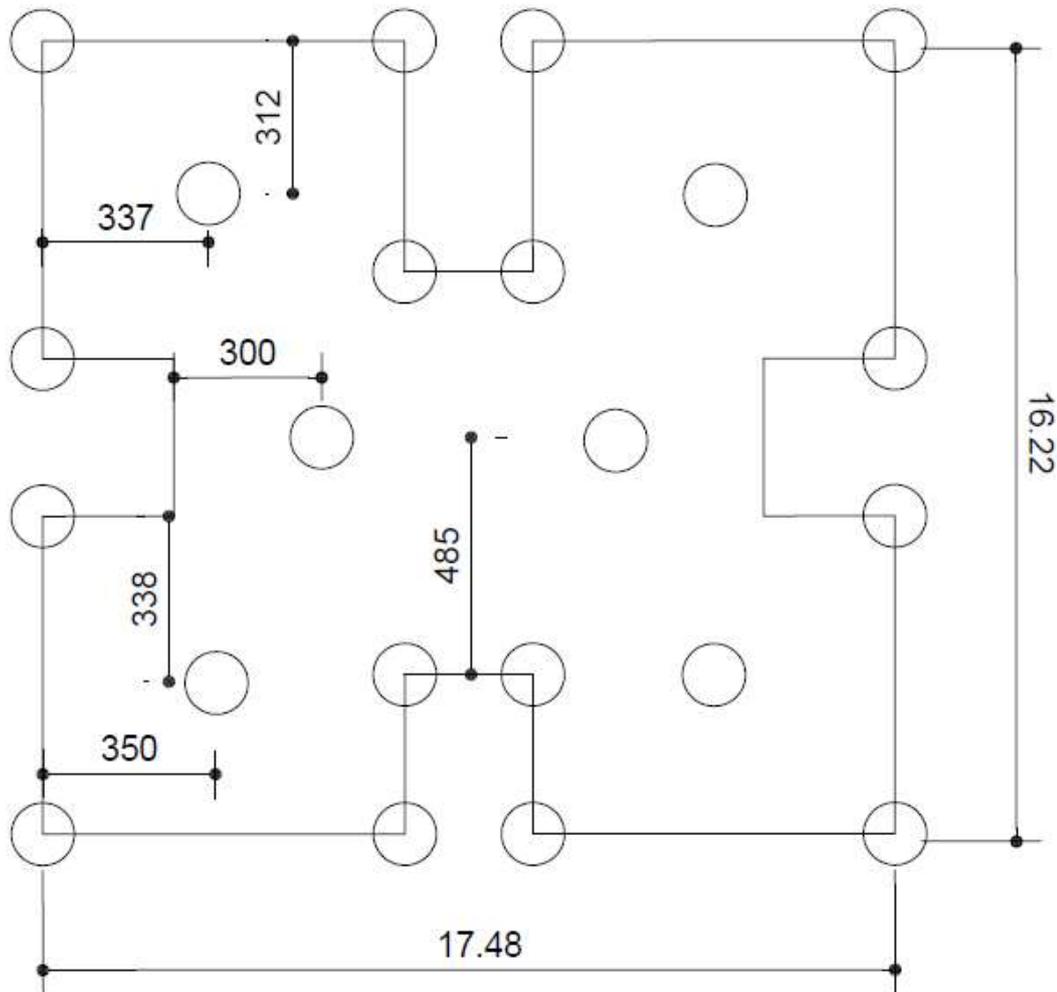
Gráfico 1 - Quantidade de estacas para execução



Fonte: O autor (2018)

Mesmo com o número de 8 estacas obtido e ilustrado, o gráfico acima evidencia a necessidade do acréscimo de estacas para a técnica *jet grouting* em virtude da geometria da obra. Considerando importante haver estacas posicionadas em cada vértice do polígono que compreende a projeção da obra e não deixando vãos maiores que 5 metros, observa-se a necessidade de 22 estacas conforme pode ser analisado na FIG. 28.

Figura 28 - Locação das estacas em *jet grouting*



Fonte: Adaptado projeto da Empresa PMMX Engenharia Ltda, 2018

Com o novo comparativo entre o número de estacas, ainda não é possível afirmar a viabilidade da solução *jet grouting* quando comparada com a solução da estaca raiz, uma vez que torna-se necessária a análise do custo de implantação.

8.3 Análise de custo direto

Consultando o SINAP (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) e utilizando do *Software Excel*, foi descrito em planilha a composição de custos e serviços para a execução de estaca injetada do tipo raiz, com diâmetro de 45cm.

O valor unitário total calculado para a execução da estaca injetada sem armadura foi de R\$ 245,74 (duzentos e quarenta e cinco reais e setenta e quatro

centavos) conforme QUADRO 6, o valor para oito estacas seria de R\$ 1.965,92 ((mil novecentos e sessenta e cinco reais e noventa e dois centavos) e para vinte e duas estacas seria de R\$ 5.406,28 (cinco mil quatrocentos e seis reais e vinte e oito centavos):

Quadro 6- Composição de custos estaca injetada

(Continua)

Estaca Raiz: Diâmetro de 45 CM - Comprimento de até 10 M (sem presença de rocha)				
Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário	Preço total
Tubo PVC, soldável, DN 50MM, para água fria (NBR 5648)	m	0,0083	9,170	0,076
Tarifa "A" entre 0 e 20m ³ fornecimento d'água	m ³	0,333	9,830	3,273
Tubo de revestimento, em aço, corpo Schedule 40, ponteira Schedule 80, rosqueável e segmentado para perfuração, diâmetro 14" (40mm)	m	0,0002	2.832,400	0,566
Servente com encargos complementares	h	1,316	12,290	16,174
Bomba triplex para injeção de nata de cimento, vazão máxima de 100 litros/minuto, pressão máxima de 70 BAR- CHP diurno	CHP	0,036	13,140	0,473
Bomba triplex para injeção de nata de cimento, vazão máxima de 100 litros/minuto, pressão máxima de 70 BAR- CHI diurno	CHI	0,403	4,280	1,725
Bomba centrífuga monoestágio com motor elétrico monofásico, potência 15 H, diâmetro do rotor 173 MM, HM/Q = 30 MCA/90M3/H A 45 MCA/55M3H- CHP diurno	CHP	0,125	6,100	0,763
Bomba centrífuga monoestágio com motor elétrico monofásico, potência 15 H, diâmetro do rotor 173 MM, HM/Q = 30 MCA/90M3/H A 45 MCA/55M3H- CHI diurno	CHI	0,164	0,610	0,100
Argamassa traço 1:1,65 (Cimento e areia média), FCK 20 MPA, preparo mecânico com misturador duplo horizontal de alta turbulência	m ³	0,301	429,180	129,183
Serviços técnicos especializados para acompanhamento de execução de fundações profundas e estruturas de contenção	h	0,439	110,660	48,580

Quadro 7- Composição de custos estaca injetada

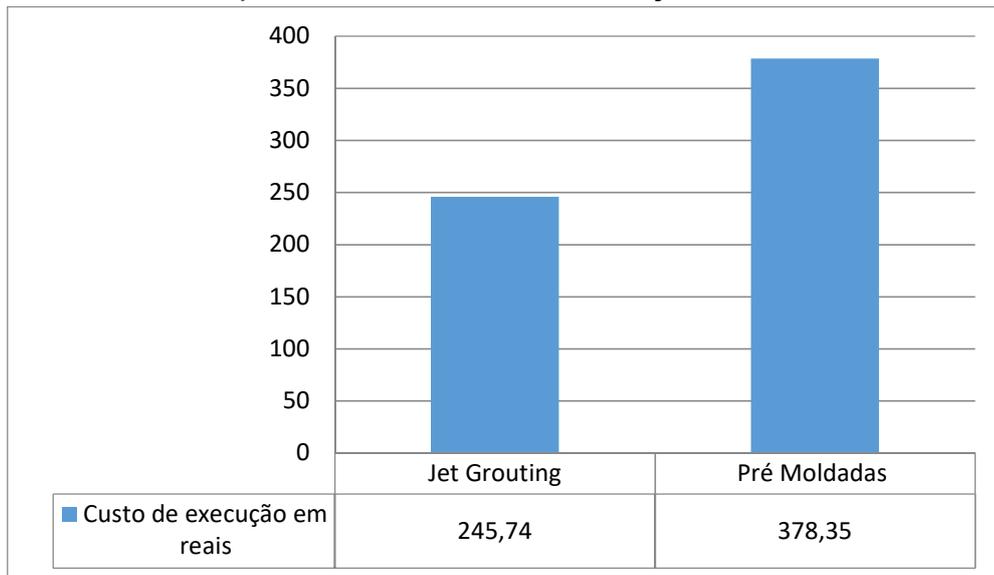
(Conclusão)

Estaca Raiz: Diâmetro de 45 CM - Comprimento de até 10 M (sem presença de rocha)				
Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário	Preço total
Perfuratriz rotativa sobre esteira, torque máximo 2500 KGM, potência 110 HP, motor diesel - CHI diurno	CHI	0,214	56,150	12,016
Perfuratriz rotativa sobre esteira, torque máximo 2500 KGM, potência 110 HP, motor diesel - CHP diurno	CHP	0,225	145,520	32,742
Compressor de AR, vazão de 10 PCM, reservatório 100L, pressão de trabalho entre 6,9 e 9,7 BAR Potência 2HP, tensão 110/220 V - CHI diurno	CHI	0,408	0,110	0,045
Compressor de AR, vazão de 10 PCM, reservatório 100L, pressão de trabalho entre 6,9 e 9,7 BAR Potência 2HP, tensão 110/220 V - CHI diurno	CHP	0,031	0,860	0,027
VALOR TOTAL				R\$ 245,74

Fonte: Adaptado do SINAP (2017, p. 1030 - 1032)

Foi aplicado um valor total estimado de 22.231,00 (vinte e dois mil duzentos e trinta e um reais) para a execução das estacas pré-moldadas, conforme proposta (ANEXO C). Após retirado o valor de mobilização e desmobilização, a proposta passa a ter o valor total de R\$20.431,00 (vinte mil quatrocentos e trinta e um reais) e o valor unitário em R\$378,35 (trezentos e setenta e oito reais e trinta e cinco centavos), o GRAF. 2 certifica que, a execução das estacas em *jet grouting* seria viável economicamente devido a quantidade porém, seria de relação custo benefício ruim.

Gráfico 2 - Comparativo de valores de execução unitário



Fonte: O autor (2018)

Apesar da viabilidade evidenciada pelo custo, ressalta-se que a referida técnica não possui ampla aplicação em obras convencionais em virtude da oferta por este tipo de serviço na região, sendo necessário contratar os serviços em regiões como São Paulo e Rio de Janeiro.

8.4 Logística dos equipamentos

Para a execução das estacas pré-moldadas o equipamento bate estaca transitava no interior do gabarito do bloco C, e o gerador de energia nas proximidades do bloco para caso de queda ou interrupção do abastecimento de energia.

Os equipamentos necessários para a execução do *jet grouting*: bomba de injeção, misturador, silo de cimento e reservatório de água serão instalados próximo ao bloco C com área suficiente e sem obstruções para a o abastecimento da perfuratriz, a qual poderá se locomover no interior do gabarito do bloco C sem obstruções.

A descarga de cimento e abastecimento de água para a confecção da nata cimentícia será feito através de caminhões até o local de descarga e armazenamento dos materiais, o refluxo do material injetado será recolhido também por caminhões tanque, conforme croqui do ANEXO D.

8.5 Análise comparativa de estacas

Os sistemas de *jet grouting* não induz alívio de tensão no solo o que corresponde a deslocamentos, e que faria necessário proteger as construções vizinhas.

Comparando a estaca pré-moldada com a estaca injetada temos que, ambas necessitam de mão de obra qualificada, o que torna a técnica injetada desfavorável para a região da edificação, já a estaca cravada oferece um número maior de empresas especializadas até a região de Belo Horizonte.

Característica das estacas cravadas é o alto ruído e abalos nas edificações vizinhas que pode vir a gerar danos nas estruturas das mesmas, contrário às cravadas, a injetada não produz abalos e emite baixa incidência de ruído.

Para o efetivo na execução das técnicas, a cravada tem o número de funcionários reduzido em comparação com a injetada, sendo a primeira necessitando de 4 funcionários e a segundo de no mínimo 7.

Quanto ao transporte, o tamanho da peça pré-moldada pode dificultar e encarecer a mobilização, já a estaca injetada não necessita da mobilização de peças por ser executada “in loco”.

Na execução das técnicas, uma desvantagem do *jet grouting* é o refluxo do material na saída do furo, que deve ser direcionado a uma vala até que seja recolhido por caminhão, a estaca cravada não gera este tipo de resíduo, sendo executada de maneira com que se tenha a menor geração de resíduos.

Uma das vantagens da estaca pré-moldada é a fabricação sob medida, já a estaca injetada não possui um método de medição das dimensões reais o que dificulta o controle de qualidade deste tipo de técnica.

Se tratando de geometria, a estaca cravada pode ser fabricada no formato: quadrada, circular, hexagonal, podendo ser executada somente na vertical, quanto a estaca injetada tem como formas de execução: lamelares, circular, semicircular em diferentes direções, horizontal até vertical.

9 CONCLUSÃO

A investigação do solo muitas vezes não é feita e não é dada atenção às características do terreno, para a escolha do tipo de fundação o ensaio de SPT se torna indispensável e determinante para o dimensionamento correto das estruturas e conseqüentemente a redução de custos.

No comparativo entre as estacas pré-molda e as estacas em *jet grouting*, observa-se que somente no quesito mão de obra ambas necessitam que sejam especializadas para a execução, para os demais itens é evidenciado as diferenças entre as duas técnicas, diferenças estas que precisam ser analisadas para atender cada caso específico.

A execução da técnica de fundação do tipo injetada se torna viável sobre o custo a ser empregado para a execução da pré-moldada, porém, não há empresas na região que execute fundações em *jet grouting* ou que qualifique a mão de obra, portanto, a procura por empresas em localidades distantes elevaria o custo para a execução da técnica em estudo, o que inviabilizaria a implantação da mesma para a obra (objeto de estudo).

REFERÊNCIAS

ABEF - Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia. **Manual de execução de fundações e geotecnia: práticas recomendadas**. São Paulo: PINI 2012. 499p.

ABRAMENTO, M.; KOSHIMA, A.; ZIRLIS, A. C. Reforço do terreno. In: Nápoles Neto, A. D. F. et al. **Fundações: Teoria e Prática**. 2. ed. São Paulo, SP: Pini, 1998, cap. 18, p. 641 - 690

ALMEIDA, H. R. **Monitoração de estacas e o problema de tensões de cravação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). 1985. Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

ALMEIDA, H. R. **Monitoração de estacas e o problema de tensões de cravação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1985 apud DUTRA, L. H. A. Estacas pré-fabricadas de concreto: avaliação do reforço para tensões geradas na cravação. Trabalho de Diplomação para obtenção do título de Engenheiro Civil, Porto Alegre, Brasil, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de Fundações. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: Rochas e Solos. Rio de Janeiro, 1995. Disponível: < <https://www.scribd.com/doc/30915157/NBR-06502-1995-Rochas-e-Solos>>. Acesso em: 30 mar. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7250**: Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos. Rio de Janeiro, 1982.

BERGER, B. **Jet grouting**: Catálogo Bilfinger Berger Foundation. Disponível em: <[http://www.spezialtiefbau.bilfingerberger.de/C1257130005050D5/vwContentByKey/N276DL83645GPEREN/\\$FILE/Jet%20Grouting.pdf](http://www.spezialtiefbau.bilfingerberger.de/C1257130005050D5/vwContentByKey/N276DL83645GPEREN/$FILE/Jet%20Grouting.pdf)>. Acesso em: 5 jun. 2018.

BERGER, B. **Jet grouting - Catálogo Bilfinger Berger Foundation**, 2010.

Disponível:

[http://www.spezialtiefbau.bilfingerberger.de/C1257130005050D5/vwContentByKey/N276DL83645GPEREN/\\$FILE/Jet%20Grouting.pdf](http://www.spezialtiefbau.bilfingerberger.de/C1257130005050D5/vwContentByKey/N276DL83645GPEREN/$FILE/Jet%20Grouting.pdf). Acesso em: 5 jun. 2018 apud D'OLIVEIRA, R. C. D. Avaliação do desempenho de Jet Grouting para reforço de estrutura portuária. Mestrado em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2010

CARLETTO, Marcos Francisco Wosgrau. **Jet Grouting (Sistema Monofluido): Um método teórico simplificado para a previsão do diâmetro das colunas/M.F.W.** Carletto São Paulo, 2009. 114 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

CARRETO, J.R. Jet Grouting: **A Problemática do Dimensionamento e do Controle de Qualidade**. Dissertação (Mestrado). 1999. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

CARRETO, J.R. **Jet Grouting - Uma Técnica em Desenvolvimento**. Porto, Portugal: VII Congresso Nacional de Geotecnia, 2000 apud D'OLIVEIRA, R. C. D. Avaliação do desempenho de Jet Grouting para reforço de estrutura portuária. Mestrado em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2010.

CARRETO, J.R. Jet Grouting. **A Problemática do Dimensionamento e do Controle de Qualidade**. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, 1999 apud GUERRA, G. M. T. Contenção com Paredes Autoportantes de Jet Grouting em Escavações Cilíndricas. Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Porto, Portugal, 2009.

CARRETO, J.. Jet Grouting. **Uma Técnica em Desenvolvimento**. VII Congresso Nacional de Geotecnia. Congresso Nacional de Geotecnia, Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2000 apud RIBEIRO, A. L. S. Técnica de tratamento de solos - Jet Grouting Acompanhamento de um caso real de estudo - Cais de Santa Apolónia e Jardim do Tabaco. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Lisboa, Portugal, 2010.

CARRETO, J.R. Jet Grouting. **A Problemática do Dimensionamento e do Controle de Qualidade**. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, 1999 apud SOUSA, L. R. S. Aterros sobre solos moles reforçados com colunas de Jet Grouting e plataformas de transferência de carga em betão armado. Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Porto, Portugal, 2011.

CARRETO, J.R. **Jet Grouting- Uma Técnica em Desenvolvimento**. VII Congresso Nacional de Geotecnia. Congresso Nacional de Geotecnia, Porto, Portugal, 2000 apud SOUSA, L. R. S. Aterros sobre solos moles reforçados com colunas de Jet Grouting e plataformas de transferência de carga em betão armado. Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Porto, Portugal, 2011.

CATÁLOGO BRASFOND. **Jet Groutin**. Disponível em: <<https://we.tl/EsOPZvVcH6>>. Acesso em: 21 fev. 2018.

DAS, Brajam M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. 7. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 610p.

DÉCOURT, L; ALBIERO, J.H.; CINTRA, J.C. A. Estacas. In: Nápoles Nto, A. D. F et al. **Fundações: Teoria e Prática**. 2 ed. São Paulo, SP: Pini, 1998.

DUTRA, Luis Henrique Antunes. **Estacas pré-fabricadas de concreto: avaliação do reforço para tensões geradas na cravação**. 2012. 56 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2012.

EGEZEMİN. Disponível em: <<http://www.egezemin.com/makina-parki-zemin-guclendirme>>. Acesso em: 21 out. 2018.

GEOFIX ENGENHARIA. **Estaca Hélice Contínua**. Disponível: <<http://geofix.com.br/servico-ehc.php>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

GEOFUND FUNDAÇÕES ESPECIAIS. **Estacas Raiz**. Disponível: <<http://geofund.com.br/?p=237>>. Acesso em: 18 mar. 2018

GONÇALVES, C; BERNARDES, G. P.; NEVES, L. F. S. **Estacas Pré-Fabricadas de Concreto: teoria e prática**. São Paulo, 2007 apud DUTRA, L. H. A. Estacas pré-fabricadas de concreto: avaliação do reforço para tensões geradas na cravação. Trabalho de Diplomação para obtenção do título de Engenheiro Civil, Porto Alegre, Brasil, 2012.

GONÇALVES, José Miguel Ribeiro. **Reforço de solos de fundação com colunas de Jet-Grouting e plataformas de transferência de carga em betão armado**. 2008. 130 p. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil). 2008/2009. 130 p. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.
GONÇALVES, C; BERNARDES, G. P.; NEVES, L. F. S. **Estacas Pré-Fabricadas de Concreto: teoria e prática**. São Paulo: [s. n.], 2007.

GUERRA, G. M. T. **Contenção com Paredes Autoportantes de Jet Grouting em Escavações Cilíndricas**. Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Porto, Portugal, 2009.

KOSHIMA, Akira. Tratamento de Solo. In: FACOLCONI, Frederico; CORRÊA, Celso N.; ORLANDO, Celso et al. (Ed.). **Fundações: teoria e prática**. 3 ed. São Paulo: Pini, 2016. p.692.

KOSHIMA, A; MELLO, L. G. F. S.; FILHO, M. V. R.; ALMEIDA, M. S. S.; FILHO, P. P. G. Tratamento de solo. In: et al. **Fundações: Teoria e Prática – 3. ed.-** São Paulo, SP. Pini 2016, cap. 17, p. 685 - 802.

MARQUES, Daniela Alexandra Oliveira. **Reforço de solos de fundação com colunas de Jet Grouting encabeçadas por geossintéticos**. 2008. 131 p..Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil). Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.

MELLO, L. G. F. S. et al. Tratamento de Solo. In: Nápoles Neto, A. D. F. et al. **Fundações: Teoria e Prática**. 3ª. ed. São Paulo, SP: Pini, 2016, cap. 17, p. 685 – 802.

MICHAELIS. **Michaelis**: Moderno dicionário da língua portuguesa. Disponível: <<http://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/funda%C3%A7%C3%A3o/>>. Acesso em: 17 mar. 2018

PINTO, C. S. Propriedade dos solos. In: Nápoles Neto, A. D. F. et al. **Fundações: Teoria e Prática**. 2ª ed. São Paulo, SP: Pini, 1998. p. 51 - 118.

RIBEIRO, A. L. S. **Técnica de tratamento de solos - Jet Grouting**
Acompanhamento de um caso real de estudo - Cais de Santa Apolónia e Jardim do Tabaco. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Lisboa, Portugal, 2010.

RODRIGUES, Daniel Filipe Neves. **Jet Grouting - Controlo de Qualidade em Terrenos do Miocénico de Lisboa**. 2009. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geológica - Geotecnia). Universidade Nova de Lisboa Faculdade de Ciências e Tecnologia. Lisboa, 2009.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTO E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL - SINAPI. PCI.81701 - Custos e composições sintético. Versão: 00 Vigência: 07/2018.

SOUSA, L. R. S. **Aterros sobre solos moles reforçados com colunas de Jet Grouting e plataformas de transferência de carga em betão armado.** Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Porto, Portugal, 2011.

TABELAS DE COMPOSIÇÕES DE PREÇOS PARA ORÇAMENTO - TCPO. 13ª ed. São Paulo: Pini, 2010.

VARGAS, Milton. **Introdução à mecânica dos solos.** São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, Ed. Da Universidade de São Paulo, 1977. 509 p.

VI SBPMCH – Novidades do uso do Jet Grouting nas barragens. 2008, Belo Horizonte. **Anais...** NovaTecnica Consolidações e Construções S/A, 2008. 108 p.

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações:** Critérios de Projeto – Investigação do Subsolo – Fundações Superficiais. 2.ed. São Paulo: Oficina de textos, 2011. 225p.

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações:** Fundações Profundas. São Paulo: Oficina de textos, 2010. 569p.

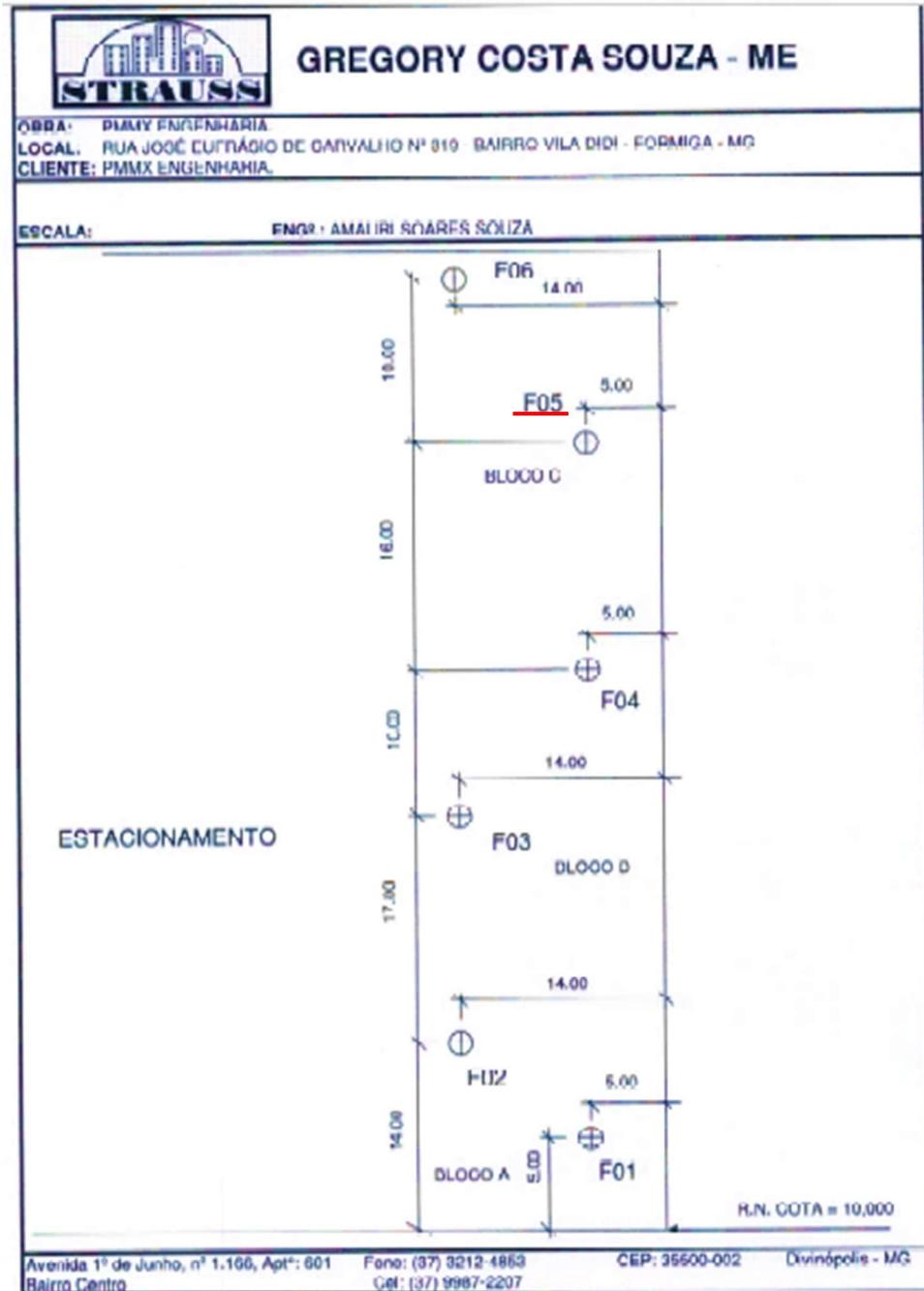
VELLOSO, D.; LOPES, F. R. Concepção de obras de fundações. In: Nápoles Neto, A. D. F. et al. **Fundações:** Teoria e Prática. 2 ed. São Paulo, SP: Pini, 1998. p. 211 - 225.

VOTORANTIM CIMENTOS. **Radier.** 2017. Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/radier-de-concreto-armado-e-opcao-competitiva-para-fundacoes-diretas/>>. Acesso em:23 maio 2018

ANEXO A - Relatório de sondagem SPT

GREGORY COSTA SOUZA - ME		STRAUSS																																		
Obra: PMMX ENGENHARIA.			RESPONSÁVEL TÉCNICO: AMARIL DOS REIS SOUZA CREA 031167																																	
Local: RUA JOSÉ EUFRÁSIO DE GARVALHO Nº 310 BLOCO C - B. VILA DIDI - FORMIGA - MG																																				
Escala: 1 : 100	Data de execução: Início: 24/10/16 - Término: 25/10/16	Ref.: 85/1.423/16	Furo nº: F05																																	
Revestimento (Diâmetro = 63,5mm): TRADO ASPIRAL			Cota: 10.182																																	
Cota em relação ao R.N. Nível d'água (m)	Amostra	Profundidade da camada (m)	Penetração: (golpes / 30 cm)				Revestimento ϕ 76,2 mm	Amostrador $\left\{ \begin{array}{l} \phi 34,9 \text{ mm} \\ \phi 50,8 \text{ mm} \end{array} \right.$																												
			Nº de Golpes		Classificação do Material																															
			1ª e 2ª	2ª e 3ª	10	20	30	40																												
	1	2.60	07	08					ARGILA ARENOSA, MEDIA DE COR VARIADA. (MARRON).																											
	2		07	07																																
	3		08	10																																
	4	4.20	13	14									SILTE ARENOSO, POLICO COMPACTO A MEDIANAMENTE COMPACTO DE COR VARIADA. (BRANCO C/ ROSA).																							
	5		14	15																																
	6	6.70	13	14													SILTE ARENOSO, MEDIANAMENTE COMPACTO DE COR VARIADA. (BRANCO C/ ROSA).																			
	7		15	19																																
	8	8.20	30	33																	SILTE ARENOSO, MEDIANAMENTE COMPACTO A COMPACTO, DE COR VARIADA. (BRANCO C/ ROSA).															
	9		36	38																																
	10	10.50	44	47																					SILTE ARENOSO, COMPACTO A MUITO COMPACTO DE COR VARIADA. (BRANCO C/ ROSA).											
	11		46	49																																
	12	12.45	53	55																									SILTE ARENOSO, MUITO COMPACTO DE COR VARIADA. (BRANCO C/ ROSA).							
	13		40/10																														LIMITE DO FURO 12,45 m.			
	14																																			
	15																																			
	16																																			
	17																																			
	18																																			
	19																																			
Profundidade do nível d'água: Inicial: NÃO ENCONTRADO. Final: NÃO ENCONTRADO.		Amostrador: Diam. Inter.: 34,9mm Diam. Exter.: 50,8mm		Martelo 65Kg Queda = 75cm		Folha: 05		Engenheiro:																												
								Data: 26/10/16																												

ANEXO B - Localização do furo 05



ANEXO C – Proposta para cravação de estacas pré-moldada



Contagem – MG – CEP: 32071-159

CNPJ: 09438856/0001-18

Fone: (31) 3352-4655 – 3353 – 5058

batesonda@uoi.com.br

skype batesonda

Contagem 14, de Março de 2017.

017/17

PROPOSTA PARA CRAVAÇÃO

DE ESTACAS ATT: PAULO MAIA – XAVIER ENGENHARIA.

REF: FORNECIMENTO E CRAVAÇÃO DE PRÉ-FABRICADAS.

Prezado.

Conforme solicitado, apresentamos nossa proposta para cravação de estacas tipo pré-fabricadas para obra em Formiga - MG.

1 – PREÇOS POR BLOCO.

1.1 Mobilização e desmobilização (un)	R\$: 1.800,00
1.2 Cravação de estacas (52un x 7 metros x R\$: 24,00)	R\$: 9.100,00
1.3 Fornecimento e transporte de estacas (69un x 7 metros)	R\$: 11.331,00

Valor total estimado	R\$: 22.231,00
----------------------	----------------

Obs. Para os demais blocos desconsiderar o valor da mobilização.

2 – PRAZOS:

2.1 – Início imediato.

3 – CONDIÇÕES DE PAGAMENTO:

3.1- Mobilização a vista.

3.2- Cravação e emendas medição de 15 dias com pagamento 15 dias apos a medição.

4 – RESPONSABILIDADES:

DA BATE E SONDA:

4.1 - Fornecer bate estacas com capacidade para cravar as estacas especificadas.

4.2 - Todos os encargos relativos aos seus funcionários;

4.3 - Executar os serviços segundo as normas técnicas.

DA CONTRATANTE:

4.4 - Apresentar o terreno plano livre de obstáculo para execução dos serviços.

4.5 - Fornecer energia elétrica 220 trifásica para cravação ou gerador trifasico de 50 kva.

4.6 - Fornecer vestiário e banheiro para os funcionários.

4.7 - Hospedagem e alimentação do pessoal.


BATE E SONDA SONDAGENS E BATE ESTACAS LTDA.
CLEVER DE OLIVEIRA
(31) 3352-4655
(31) 8464-4094

ANEXO D - Croqui da locação de materiais e equipamentos

