

COLUNAS JET GROUTING

O presente trabalho vem apresentar metodologia básica a ser empregada na execução de colunas de solo cimento tipo “Jet Grouting”.

1. Sobre a tecnologia “jet-grouting”

Para o tratamento do solo com calda de cimento em área e profundidades conforme projeto serão executadas colunas de solo cimento tipo Jet Grouting. As colunas de solo-cimento são corpos cilíndricos executadas mediante injeção de calda de cimento em jatos de altíssima pressão, que desagregam o solo natural resultando em íntima mistura de solo e cimento, permitindo a reclassificação do maciço, aumentando significativamente os seus parâmetros de estabilidade.

O conceito fundamental da tecnologia “jet grouting” é o emprego da força de impacto do jato hidráulico para desagregar o solo. Nesta tecnologia, a pressão de bombeamento de calda de cimento, que é, inicialmente, energia de natureza potencial, transforma-se em energia cinética, injetando-se calda de cimento através de bicos laterais (geralmente orifícios de diâmetro compreendido entre 1,8 a 4 mm) à haste, com uma velocidade que atinge 200 - 320 m/s.

Combinando movimentos de rotação e de translação ascendente da haste com os bicos jateadores, são criadas formas cilíndricas de solo-cimento, cujo diâmetro e resistência é função da característica do terreno e do método de execução.

O método JSG (Jumbo Special Grout) ou JG (Jumbo Grout) - tubo duplo com emprego de ar comprimido, Nakanishi & Yahiro 1975 – utiliza-se duas hastes coaxiais: numa delas (a interna) injeta-se calda de cimento e na outra (envolvendo o jato de calda) o ar comprimido, obtendo-se desta forma colunas de diâmetros maiores do que aquelas obtidas sem o emprego de ar comprimido.

O método CCP (Cement Churning Pile) –haste singela, monotubo, Nakanishi, 1970, que historicamente, a letra C inicial desse método era atribuída à “chemical” devido ao uso de aglutinante químico. Neste método utiliza-se apenas uma haste de aço para jateamento da calda de cimento, sem o emprego de ar comprimido, formando, desta forma colunas de diâmetros menores. Pode-se usar neste processo, haste dupla, sem a utilização de ar.

O método CJG (Column Jet Grout) - tubo triplo, com emprego de ar comprimido, Yahiro, 1976 – utiliza-se três hastes coaxiais, e dois bicos jateadores: no superior, de menor diâmetro, injeta-se, a pressões elevadas, água envolvida por ar

comprimido e no inferior, de diâmetro menor, injeta-se calda de cimento a pressões relativamente mais baixas, obtendo-se colunas de grande diâmetro (até 3 m). Este processo, pelo elevado custo da bomba, é raramente empregado no Brasil.

2. Ensaios prévios de compatibilidade cimento / solo / água

Caso haja a ocorrência de argila orgânica ou terrenos com presença de contaminantes, dado o conhecimento de que para determinadas características físico químicas destas argilas ou terrenos o processo de pega e cura do cimento pode ser muito retardado ou inibido, deve-se promover uma amostragem desta argila e investigação em laboratório de suas características físico químicas e geotécnicas, e subsequente simulação do seu comportamento, quando misturado com calda de cimento.

As amostras do solo deverão ser extraídas com tubo tipo “Shelby”, Osterberg ou outro método de retirada devendo ser protegidas contra a perda de umidade, e transportadas ao laboratório.

Nos furos de amostragem, deverá ser realizada uma coleta da água do subsolo com amostrador apropriado dotado de válvulas de retenção, de forma a permitir a extração da água do furo sem a contaminação por água de lavagem de perfuração das camadas superiores. A coleta deverá ser feita em frascaria ou recipientes apropriados, seguindo estritamente as recomendações do laboratório que irá proceder às análises, observando-se os prazos máximos estipulados por este laboratório quando à validade da amostra.

Os ensaios indicativos de compatibilidade mínimos são os indicados na tabela abaixo, e realizados no mínimo em UMA amostra para cada tipo de ensaio.

Material	Especificação	Nº da Norma NBR
Solo	Acidez (Bauman Gully)	9252
Solo	Teor de Matéria Orgânica	13600
Solo	pH	-
Água do Subsolo	pH	9251
Mistura Solo - Cimento	Resistência à compressão - 7 dias	12025

	Resistência à compressão - 28 dias	12025
--	---------------------------------------	-------

Outros ensaios químicos complementares eventualmente podem ser necessários tais como Sulfato, Sulfeto, Cloreto, Carbono Orgânico Total, Capacidade de Troca Catiônica, etc.

3. Parâmetros de injeção

Os parâmetros de injeção, tais como pressão, traço da calda, tempo de injeção, velocidade de rotação e translação da haste serão definidos após ensaios prévios de compatibilidade do solo com o cimento e aferidos em colunas testes pouco profundas onde serão verificadas características geométricas e mecânicas através de escavações para exposições das colunas aferição dos diâmetros resultantes e extração de corpos de prova para ensaios de resistência.

4. Atividades inerentes à execução dos serviços

As atividades inerentes à execução das colunas são basicamente as seguintes:

- a) Preparo do terreno com capacidade de suporte adequado aos equipamentos.**
- b) Locação topográfica.**
- c) Seqüência executiva**

A elaboração de uma seqüência executiva básica prévia que permita a execução contínua de colunas sem interrupções e sem que a perfuração e injeção de colunas não perturbem colunas recém injetadas.

- d) Sistema de condução e remoção do refluxo**

Esta atividade propicia as condições de mobilidade do equipamento dentro do canteiro, com limpeza da frente, e compreende a condução do refluxo por canaletas e acumulação provisória em bacias de contenção para posterior coleta e remoção até o bota fora ou reaproveitamento em outras frentes, além de coleta sistemática para ensaios de resistência a compressão.

e) Perfuração

A perfuração do terreno é feita pelo processo rotativo convencional com o emprego de água como elemento de lavagem. É empregada nesta fase, perfuratriz rotativa que apresente recurso de rotação da coluna entre 6 a 20 RPM.

A coluna empregada é constituída por hastes especiais, com capacidade para absorver até 900 kg/ cm² de pressão. Para estes solos sem matacões (solos homogêneos) recomenda-se as brocas tricônicas.

O hidromonitor é constituído por um cilindro vazado, com rosca API nas duas extremidades. Junto à extremidade inferior onde se acopla a broca de perfuração, existe um orifício de diâmetro entre 1,8 a 4,0 mm. O diâmetro do orifício é determinado em função da compacidade ou consistência do subsolo. No punho da broca de perfuração é usinado um assentamento de válvula esférica que tem por objetivo impedir a circulação da calda de cimento através da saída da broca, durante o processo de injeção.

f) Injeção de calda de cimento

A injeção da calda de cimento é executada através de orifícios de pequeno diâmetro no hidromonitor. A injeção tem início quando a perfuração atinge a profundidade desejada, instante em que se interrompe a injeção d'água e, conforme parâmetros pré estabelecidos, a calda de cimento é lançada através de orifícios de pequenos diâmetros alojados no corpo do hidromonitor em altíssima velocidade.

A calda de cimento normalmente tem traço a/c = 1,0 em peso e será ajustado após ensaios prévios de compatibilidade com o solo local e colunas testes.

g) Preparação da calda

A calda de cimento é preparada inicialmente num agitador de alta turbulência.

O fornecimento de água é importante. Por isso mesmo recomenda-se manter junto a cada misturador ao menos duas caixas de água de no mínimo 10.000 l, mesmo contando com o fornecimento de água contínuo pelas redes oficiais.

5. Controles executivos

Durante a execução são procedidos vários controles rotineiros de verticalidade, do diâmetro, e da resistência tanto da coluna quanto do refluxo, para que sejam atendidas todas as requisições estabelecidas pelo projeto.

Estes controles se referem a:

a) Perfuração

- Verificação da locação e cota do terreno superficial, anotando imediatamente no mapa do controle de execução.
- Verificação do posicionamento da haste e sua correta inclinação.
- Verificação do perfeito estacionamento e nivelamento da máquina, assegurando-se que não haverá nenhum deslocamento durante a execução dos serviços. Reiniciar os serviços se ocorrer qualquer problema.
- Verificação e anotação da profundidade de perfuração, através do comprimento das hastes utilizadas, bem como controle automático e escala graduada externa. Repetir essas mesmas operações com as profundidades de início e fim de injeção das colunas, e início e fim de trecho de eventual pré-ruptura.

b) Injeção

- Verificação e anotação do tempo gasto na perfuração, pré-ruptura e injeção da coluna. O controle do tempo deverá ser feito com cronômetro.
- Verificação e anotação da pressão na bomba injetora durante a execução da coluna JG, durante toda a fase de injeção, anotando eventuais variações de pressão.
- Verificação e anotação da velocidade de rotação da haste em rpm.
- Verificação e anotação do tempo de subida da haste (translação) em cada passo, com uso de cronômetro; controle do passo de injeção do equipamento.
- Verificação e anotação do traço da calda de água-cimento do misturador.
- Verificação e anotação do consumo real de calda de água-cimento na execução da coluna.
- Anotação do tipo e a marca do cimento utilizado.

c) Materiais

Os materiais constituintes das colunas deverão satisfazer às condições específicas na ABNT em ensaios prévios com Certificado de Conformidade.

d) Boletim de controle de execução

Estas informações e eventuais outras observadas durante a execução das colunas serão registradas em documento denominado Boletim de Controle de Perfuração e Injeção de Jet Grouting.

6. Resistência / controle tecnológico

A resistência das colunas é função do tipo do solo. Para tanto a avaliação da resistência da lama de refluxo é um parâmetro que normalmente atende. Eventualmente promove-se a extração e ruptura de corpos de prova.

A definição de um programa de controle tecnológico rotineiro durante a execução das colunas, parâmetros de amostragem e aceitabilidade, caso não estejam especificados em projetos, devem ser definidos em comum acordo com a fiscalização e especificações de projeto previamente ao início dos serviços.

Sugerimos para avaliação das características das colunas de solo-cimento “in situ” que se adotem os seguintes procedimentos de ensaios:

1. Resistência do refluxo de calda	- Conformidade com a resistência indicada no projeto, na frequência de 2 ensaios para cada 100m ³ teóricos de solo injetado ou fração, um à 7 dias e outro à 28 dias.
2. Avaliação da resistência “In Situ”	- Ensaio SPT na região injetada, para confirmação da impenetrabilidade à percussão, ou número de golpes resultante, na mesma frequência anterior. - Sondagem rotativa* e extração de testemunhos diâmetro ≥ 50 mm para ruptura em laboratório, na idade atual.

*Nota: Será feita somente se julgado necessário em função dos resultados do SPT. Deverá se utilizar barrilete duplo livre diâmetro HW para garantir integridade da amostra

7. Aspectos de projeto (Estimativa de diâmetro, propriedades e dosagens)

O diâmetro efetivo é obtido através da experiência de cada empresa executora, é função de características granulométricas do solo, resistência (spt), cimentação e parâmetros adotados para a execução.

Abaixo tabelas indicativas de diâmetros estimados em função da granulometria do terreno e para cada processo.

COLUNAS CCP

TIPO DE SOLO	SPT (Nº)	DIÂMETRO (cm)
AREIA COM PEDREGULHOS	-	50 ± 5
AREIA	< 4	80 ± 5
	4 a 10	70 ± 5
	10 a 20	60 ± 5
ARGILA	< 2	70 ± 5
	2 a 8	60 ± 5
	8 a 15	50 ± 5

COLUNAS JSG

TIPO DE SOLO	SPT (Nº)	DIÂMETRO (cm)
AREIA COM PEDREGULHOS	-	100 ± 10
AREIA	< 15	170 ± 10
	15 a 20	130 ± 10
	20 a 40	110 ± 10
ARGILA	< 2	160 ± 10
	2 a 10	130 ± 10
	10 a 20	120 ± 10

As propriedades típicas do jet grouting, em valores indicativos para etapa de projeto inicial, que deverão ser confirmados em fase adiantada dos estudos, são apresentadas abaixo:

AGLUTINANTE	TIPO DE SOLO		RESISTENCIA À COMPRESSÃO (qu MPa)	COESÃO (C) r=C/qu
CIMENTO PORTLAND	SOLO INORGÂNICO	AREIA	2,5 – 6,0	0,19
		SILTE	2,0 – 4,5	0,25
		ARGILA	1,5 – 3,5	0,30
	SOLO ORGÂNICO	TURFA E ARGILA ORGÂNICA	0,5 – 2,5	-

Outros parâmetros, do tipo adesão e tração na flexão, recomenda-se a adoção de 1/3 e 2/3 da coesão respectivamente, para o módulo de deformação $E_{50} \approx 100 \times qu$.

A experiência brasileira mostra que o ângulo de atrito do solo tratado é praticamente invariável, da ordem de 32° , sugerindo adotar o mesmo valor do solo "in natura". Para o coeficiente de permeabilidade valores entre 10^{-8} e 10^{-9} m/s.

A resistencia do jet grouting à compressão simples das colunas varia de acordo com o aglutinante, tipo de solo e tempo de cura. Portanto a dosagem apresentada a seguir é indicativa e para aglutinante do tipo cimento Portland.

TIPO DE SOLO		CONSUMO DE CIMENTO (kg/m ³)
SOLO INORGÂNICO	AREIA	250 – 450
	SILTE	300 – 500
	ARGILA	350 – 600
SOLO ORGÂNICO	TURFA E ARGILA ORGÂNICA	> 600(*)

(*) NECESSIDADE DE ENSAIOS ESPECIAIS DE COMPATIBILIDADE DO SOLO-CIMENTO

8. Referências bibliográficas

- ABEF, Associação Brasileira de Engenharia de Fundações - Manual de Especificações de Produtos e Procedimentos – Engenharia de Fundações e Geotecnia – 3ª Ed. Ver. E ampl. – São Paulo: Pini, 2004.
- Vários Autores, Fundações: teoria e prática. – 2ª Ed. – São Paulo: Pini, 1998.
- Relatórios técnicos de obras executadas