

# JET GROUTING

## ÍNDICE

1. Definição
2. Norma
3. Sequência Executiva
4. Equipamentos
5. Equipe de trabalho
6. Adequabilidade dos maciços ao Jet Grouting
7. Resultados finais esperados
8. Boletim de execução dos serviços

## 1 DEFINIÇÃO

A técnica Jet Grouting é um tratamento para melhoria de solo que utiliza jatos de alta pressão e velocidade para hidraulicamente erodir, misturar e parcialmente substituir o maciço natural. Com um fluido cimentício visa criar um material em solo-cimento com resistências muito superiores e permeabilidades inferiores às do maciço natural. Essa técnica versátil, que se aplica a quaisquer granulometrias, é bastante

utilizada para impermeabilizar cutoff de barragens, tratamento de maciços de túneis, fundações e contenções. Na Figura 1 tem-se algumas aplicações desta técnica.

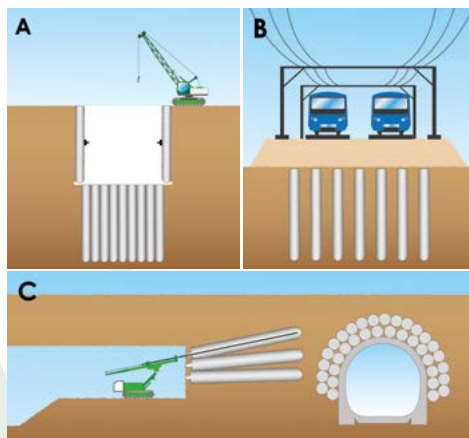


Figura 1 - Algumas aplicações típicas de jet-grouting. a) suporte de escavação e plug de vedação, b) fundação de aterros, c) pré-suporte de túneis (Croce et al, 2014)

Para que o produto final dessas aplicações seja alcançado, a Solotrat executa dois tipos de sistemas de Jet Grouting, o sistema monofluido e o sistema bifluido,

esquemáticamente representados na Figura 2.

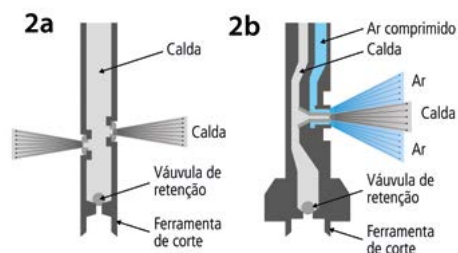


Figura 2 - Sistemas de jet-grouting. a) monofluido e b) bifluido (modificado - Croce et al, 2014)

O sistema monofluido (Figura 2a), comumente chamado de CCP (Cement Churning Pile), consiste, fundamentalmente, no bombeamento de calda de cimento a pressões altíssimas (de até 40 MPa), em que se obtém um jato de alta velocidade e turbulência (200 a 320 m/s), cuja força de impacto desagrega a estrutura do solo, promovendo a mistura e a homogeneização intensa deste material com a calda injetada, formando colunas cilíndricas de solo-cimento, entre 0,4 e 0,8 m de diâmetro. Tais cilindros são injetados usualmente secantes uns aos outros, de modo a formar uma estrutura única. Apesar de normalmente se obter colunas cilíndricas, com o avanço das técnicas de injeção e perfuração várias geometrias podem ser formadas, como, por exemplo, painéis.

O sistema bifluido (Figura 2b), comumente chamado de processo de Jet Grouting (JG ou JSG), por ser o mais utilizado, inovou ao utilizar ar comprimido (5 a 10 kPa) para o envolvimento do jato de calda. Este envelopamento da calda pelo ar possibilita um alcance maior do jato, pelo fato do ar comprimido propiciar um maior desenvolvimento hidráulico da calda de cimento injetada, diminuindo as perdas de

energia do processo, podendo tratar um maior volume do maciço. Neste sistema alcançam-se diâmetros de até 2 m, em solos moles.

## 2 NORMA

Não há norma da ABNT.

## 3 SEQUÊNCIA EXECUTIVA

Na execução dos sistemas Jet Grouting há a perfuração do terreno por processo rotativo, usualmente com um tricône como ferramenta de corte e o emprego de injeção d'água sob baixa pressão como elemento de lavagem. Na extremidade inferior da haste de perfuração, mas antes do tricône, está instalado um hidromonitor, peça do tubo no qual estão alojados bicos de injeção. A calda de injeção, apesar de usualmente ser de cimento, pode ter adições de acordo com a necessidade da obra. A calda é preparada num conjunto misturador-agitador. Após a conclusão da perfuração até a profundidade requerida pelo projeto e posteriormente à vedação da saída de água da ferramenta cortante por meio de uma esfera de aço, inicia-se a fase de injeção. Recomenda-se para esta etapa bicos de 2,0 a 8,0 mm de diâmetro.

A coluna de solo-cimento é formada por



Figura 3 - Colunas escavadas - Aferição de diâmetro.

meio da subida da haste (Figura 4), a uma velocidade da ordem de 15 a 60 cm/min, que é função do número de rotações por minuto da haste, da distância entre níveis sucessivos de tratamento e do tempo de permanência do jato em cada um desses níveis. Esses parâmetros são adotados em função das características e propriedades geotécnicas

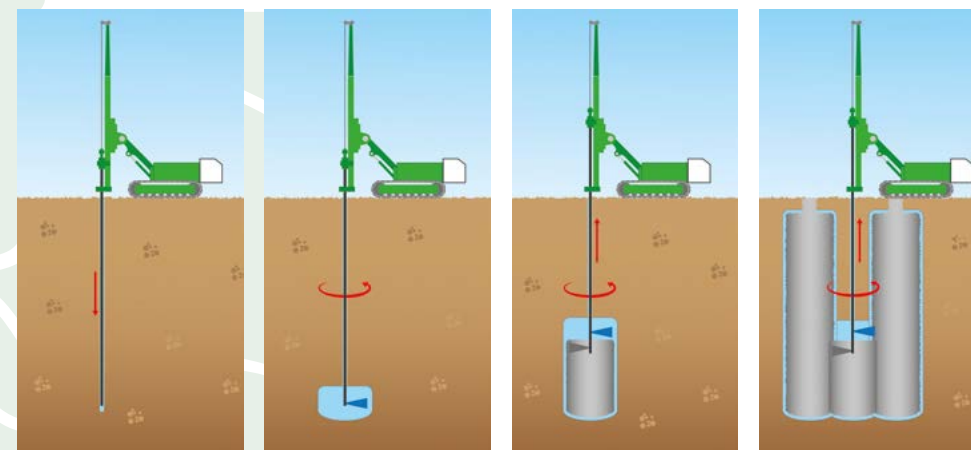


Figura 4- Sequência executiva de uma coluna (Hayward Baker, 2016)

do maciço a ser melhorado, bem como da razão de tratamento requerida pelo projeto (peso de cimento sobre peso de solo ou maciço e relação água/cimento, usualmente com a/c entre 0,5 e 1,3). Um fato que se procura melhorar na execução é a relação entre densidade e viscosidade da calda a injetar, buscando-se maximizar a densidade e minimizar a viscosidade, a fim de obter jatos de maior eficiência hidrodinâmica.

## 4 EQUIPAMENTOS

### 4.1 Perfuração

A perfuração é realizada por meio de ferramenta cortante abaixo do hidromonitor. Esta ferramenta de corte, chamada de tricône, usualmente é reforçada com widia (carboneto de tungstênio), a fim de facilitar o processo de perfuração.

Antes do tricône e do hidromonitor ficam as hastes metálicas, que são rosqueadas mecanicamente até chegar à cota de projeto necessária.

O conjunto de hastes, hidromonitor e tricône são acopladas ao cabeçote da Perfuratriz.

### 4.2 Injeção

A injeção é feita a altíssimas pressões, necessitando de equipamentos coerentes com as altas solicitações. Utiliza-se os seguintes componentes:

- Silo de cimento;
- Conjunto misturador e agitador de calda de cimento de alta turbulência;
- Bomba de injeção de calda de cimento capaz de pressões de até 450 kg/cm<sup>2</sup>,
- Compressor de ar com capacidade mínima de vazão de 750 pcm e pressão mínima de 6 kg/cm<sup>2</sup>;
- Bomba d'água acionada por motor capaz de promover a limpeza dos detritos da perfuração;



F) Reservatórios para armazenagem de água, com capacidade para perfuração contínua de, pelo menos, uma coluna de Jet Grouting;

G) Conjunto de gerador, para eventual indisponibilidade de energia elétrica no local onde são executados os serviços.

**5 EQUIPE DE TRABALHO**

**5.1 Encarregado geral de serviços**

A) Verifica: condições para entrada e movimentação de equipamentos no canteiro da obra; descarregamento de equipamentos, utensílios e ferramentas; instalação da central de injeção e implantação geral da obra;

B) Verifica programação de execução (sequência executiva) de acordo com características da obra e necessidades do cliente;

C) Coordena o DDS (diálogo diário de segurança) antes do início das atividades de cada dia e instrui em relação à segurança durante a execução dos serviços;

D) Orienta em relação à verificação do número da coluna, sua verticalidade e instalação do equipamento;

E) Orienta em relação aos procedimentos e acompanhamento da perfuração e injeção;

F) Verifica condições de drenagem superficial e retirada do material escavado da obra, de maneira que permita livre trânsito aos equipamentos e pessoal;

G) Obtém, do responsável pela obra, liberação formal da(s) coluna(s) a ser(em) executada(s), no tocante à sua locação e cotas, à medida que os trabalhos são desenvolvidos;

H) Mantém contato em campo com representante do cliente, em relação às solicitações e providências para continuidade normal da obra;

I) Aprova boletim elaborado pelo operador de perfuratriz e pelo injetador.

**5.2 Operador de perfuratriz**

A) Movimenta o equipamento de acordo com a sequência executiva;

B) Instala o equipamento no furo, observando locação e inclinação;

C) Verifica quantidade e tamanho das hastes colocadas, para acompanhar a profundidade perfurada;

D) Detecta mudanças de camadas do solo à medida que a perfuração avança;

E) Detecta eventuais perdas d'água durante a perfuração;

F) Elabora registro dos dados de perfuração para inclusão no boletim;

G) Orienta os auxiliares de perfuração quanto à utilização do ferramental necessário.

**5.3 Injetador**

A) Prepara a calda de acordo com o traço, a fim de atender as especificações de projeto;

B) Bombeia calda de cimento;

C) Elabora o boletim de injeção.

**5.4 Auxiliar geral**

Auxilia os especialistas nas atividades principais.

**6 ADEQUABILIDADE DOS MACIÇOS AO JET GROUTING**

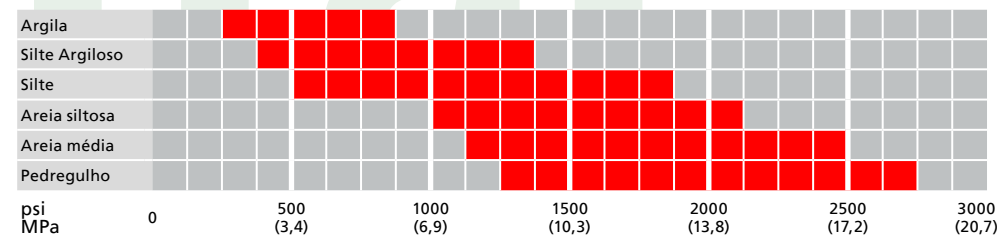
Como esta é uma técnica baseada na erosão, a erodibilidade do solo tem papel fundamental na previsão da geometria, qualidade e produção das colunas. Solos não-coesivos são tipicamente mais erodíveis pelo Jet Grouting que solos coesivos. Já maciços rochosos geram colunas de diâmetro inferior às de solos. Apesar da ampla aplicação da tecnologia, não se recomenda a utilização da técnica de Jet Grouting em argilas rijas, argilas muito consolidadas, solos cimentados ou maciços

rochosos poucos fraturados.

O projeto de colunas JG deve especificar os parâmetros a serem adotados. Por meio da execução de colunas de teste, estes parâmetros serão aferidos, através da escavação e verificação in loco das colunas. Desta forma se testa se o diâmetro da coluna formada resultará adequado ao projeto e se o efeito sobre as características a serem melhoradas é o esperado. O tamanho dos bicos de injeção, a densidade e viscosidade da calda, a pressão de injeção, a velocidade de ascensão da haste e a velocidade de rotação da haste são componentes controlados nas colunas teste e na obra, fato de fundamental importância no sucesso de aplicação desta técnica. Pelo fato do processo executivo se basear na erosão por fluidos em regime turbulento, a previsão teórica do processo de Jet Grouting é complexa. Já a previsão das características hidráulico-mecânicas do maciço condicionado é feita pela experiência de obras passadas e verificadas in situ, com destaque para os ensaios de perda d'água e de resistência à compressão uniaxial.

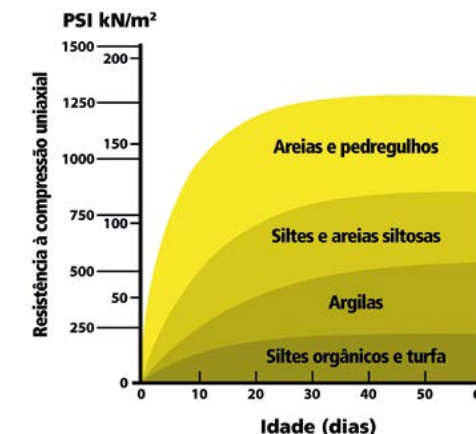
**7 RESULTADOS FINAIS ESPERADOS**

Nas Figuras 5 e 6 e na Tabela 1 parâmetros necessários de performance das colunas Jet Grouting são observados. Como se pode observar por esses dados, o intervalo de variação das colunas Jet Grouting é grande, justificando a verificação in situ dessas



**Figura 5 – Intervalo de resistências de colunas convencionais de Jet Grouting de acordo com o tipo de solo (modificado – Warner, 2004)**

propriedades. Comumente em obras de condicionamento de maciços, envolvendo o uso de colunas Jet Grouting, é feita a análise probabilística das resistências e de permeabilidades do produto final.



**Figura 6 – Resistências à compressão ao longo do tempo de colunas Jet Grouting (modificado – Hayward Baker, 2016)**

Tipo de Solo	Resistência à compressão (MPa)	Diâmetro das colunas (m)
Areias e pedregulhos	3,5 - 14	0,9 – 1,8
Argilas (SPT<30)	1 – 7	0,7 – 1,5

**Tabela 1– Propriedades típicas das colunas**

8 BOLETIM DE EXECUÇÃO DOS SERVIÇOS



**Solotrat**

**Boletim de Execução de Jet Grouting**

Obra:  
 Cliente:  
 Coluna:

Local:  
 Carga:  
 Inclinação:

**PERFURAÇÃO**

Data: Profundidade (m):  
 Tipo de Haste: Ø Tricone:  
 Hora início: Hora término:

Profundidade		Total (m)	Descrição do solo	OBS:
de	à			

**INJEÇÃO**

Data: Bicos Ejetores (mm):  
 Hora início: Hora término:  
 Traço A/C: Ø coluna:

**COMPONENTES DE OPERAÇÃO**

Tempo (s): Avango (cm): Rotação:

Profundidade		Consumo Cimento (sc)	Consumo médio Cimento (sc/m)	Pressão Injeção (kg/cm <sup>2</sup> )	OBS:
de	à				

\_\_\_\_\_ visto OPERADOR

\_\_\_\_\_ visto INJETADOR

\_\_\_\_\_ visto ENCARREGADO