

# ANÁLISE DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE SUSPENSÕES COM MICRO-AGLOMERANTE PARA EMPREGO EM INJEÇÕES ATRAVÉS DE RESULTADOS DE ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Marcos Fábio Porto de  
Aguiar  
[mfporto@geotec.coppe.ufrj.br](mailto:mfporto@geotec.coppe.ufrj.br)

## Resumo

O presente trabalho trata da determinação experimental das características reológicas de suspensões com micro-aglomerante para injeção em solos ou rochas, tendo em vista sua importância para o sucesso de uma operação de injeção. O material utilizado nos ensaios é o Dyckerhoff-Sohl-Feinst-Bindemittel-F, sendo observado como as características reológicas são alteradas, no decorrer do tempo por outros fatores como variações na execução da mistura. O material de estudo foi desenvolvido como alternativa para utilização em reforços e impermeabilização de solos, através de injeção na faixa granulométrica entre areia média e fina, com a vantagem de não ter influência prejudicial nas características da água subterrânea. O material pode também ser utilizado em fissuras ou fraturas em rochas e fissuras em peças de concreto.

*Palavras-chave:* injeção em solo e rocha, reologia, suspensão de micro-cimento, micro-aglomerante.

## Abstract

The present work treats of the experimental determination of the reology's characteristics of suspensions with micro-cement for injection in soils or rocks, considering that, it is an important factor for the success of an injection operation. The material used in the tests is Dyckerhoff-Sohl-Feinst-Bindemittel-F, being observed, as the reology's characteristics are altered, in elapsing of the time, for other factors, as variations in the execution of the mixture. The study material was developed as alternative for use in reinforcements and impermeabilization of soils, through injection in grain sizes among medium and fine sand, with the advantage of not having harmful influence in the characteristics of the underground water. The material can be used in fissures or fractures in rocks and fissures in concrete pieces.

*Keywords:* injection in soil and rock, reology, micro-cement suspension.

## 1 Introdução

O micro-aglomerante, também chamado de micro-cimento, foi desenvolvido como alternativa para utilização em reforços e impermeabilização de solos, preenchimentos de fraturas e fendas em rochas e rachaduras em concreto, podendo ser aplicado através de injeção na faixa de solo entre areia média e fina com a vantagem de não ter influência prejudicial nas características da água subterrânea.

Um importante fator para o sucesso de uma operação de injeção é a fluidez do material utilizado. O presente trabalho se ocupa com a determinação experimental das características reológicas de determinada suspensão com micro-aglomerante para injeção. O material é o Dyckerhoff-Sohl-Feinst-Bindemittel-F, sendo observado como as características de fluidez são alteradas por outros fatores.

## 2 Revisão bibliográfica

Nesse item, aborda-se, de acordo com os principais trabalhos publicados no assunto, os conceitos relacionados ao material, e necessários para o estudo do comportamento reológico de materiais em laboratório.

### 2.1 Injeção com micro-aglomerante

A injeção consiste na técnica de penetração sob pressão de um material fluido, através de um tubo de injeção introduzido em uma perfuração executada, em solo, rocha ou construção. Devido à sedimentação, filtração ou reações químicas atinge-se, de acordo com as características do material, o reforço ou impermeabilização do objeto injetado (Müller-Kirchenbauer, 1995 e Pregl, 1989).

As injeções são utilizadas com sucesso de diversas formas, como por exemplo: reforço em solos, impermeabilização de obras de terra, assim como preenchimento de fraturas em rochas e fissuras em obras de concreto. A seguir descrevem-se as principais aplicações das injeções (Donel, 1990 e Kutzner, 1991):

- i. Injeção em solos:
  - a. Reforço em solos:
    - Reforço da região nas proximidades de obras subterrâneas.
    - Aumento das dimensões de uma fundação para melhorar a resistência.
    - Melhoria de solo colapsivo.
    - Suporte de carga concentrada próxima de escavação.
    - Segurança contra carreamento de material arenoso sob solicitação hidráulica.
  - b. Impermeabilização em solos:
    - Impermeabilização de barragens e hidroelétricas.
    - Execução de piso ou parede impermeável em escavações com presença do lençol freático.
    - Segurança do piso da escavação contra ruptura hidráulica.
- ii. Injeção em rocha:
  - a. Reforço em rocha:
    - Melhoria das características mecânicas de áreas de apoio para fundações de obras diversas e paredes de barragens.
    - Reforço de áreas próximas a obras subterrâneas.
  - b. Impermeabilização em solos:
    - Diminuição da permeabilidade através do preenchimento de fissuras, rachaduras e fraturas.
- iii. Injeção em obras:

Fissuras em obras de concreto devem ser preenchidas sempre que o seu aparecimento por em risco a durabilidade e segurança da obra ou se afetar sua funcionalidade e utilização efetiva (Perbix, 1993).

O tipo e a composição dos materiais utilizados na injeção são escolhidos de acordo com as características de absorção da sub-superfície ou obra ou ainda do objetivo proposto. Normalmente é mais prático e econômico, se possível, escolher um material de injeção que preencha os vazios da massa a ser injetada de forma mais rápida, isto é, o mais grosso possível. A Tabela 1 mostra os materiais de injeção mais usados:

**Tabela 1:** Tipos de materiais de injeção mais usados e seus campos de utilização (PREGL, 1989).

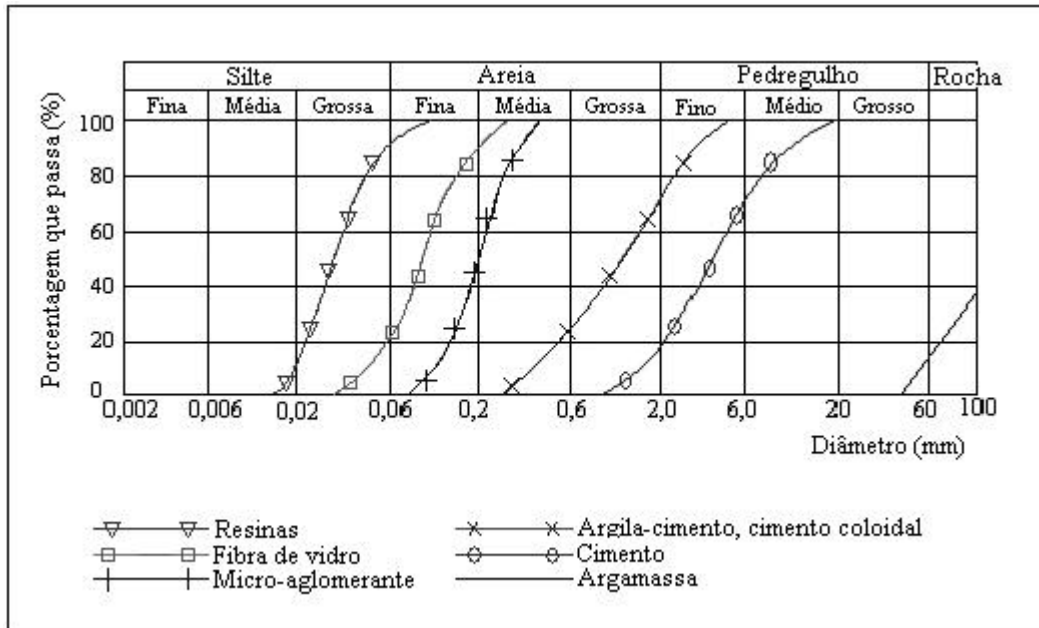
Tipo	Utilização
Soluções	Impermeabilização e reforço em areia fina e fissuras
Emulsões	Impermeabilização em areia fina e fissuras
Suspensões	Impermeabilização e reforço em areia grossa, pedregulho e fissuras
Argamassas	Impermeabilização e reforço em pedregulho e rachaduras

As suspensões e argamassas são compostas por água, cimento, areia até pedregulho e complementos de bentonita, argila, silte e pó de pedra. As emulsões podem ser de piche, betume, óleo ou resina. Com as soluções são executadas as injeções químicas, sendo utilizado silicatos e resinas orgânicas. Nas injeções químicas deve-se observar, por razões ambientais, se sua execução não irá contaminar o lençol freático.

Uma maior sensibilização da sociedade sobre os problemas ambientais da aplicação de injeções com materiais químicos para reforços e impermeabilizações de solos levou ao desenvolvimento de novos materiais de injeção.

O micro-aglomerante ou micro-cimento é um material muito fino que possui duas vantagens sobre as injeções químicas e injeções de cimento (TAUSCH E TEICHERT, 1990):

- i. A composição mineral que não polui o meio ambiente e o lençol freático.
- ii. A granulometria de suas partículas, que permite sua utilização em solos que os cimentos e demais aglomerantes não podem ser utilizados (ver Figura 1).



**Figura 1:** Faixas granulométricas limites para utilização de materiais de injeção (TAUSCH E TEICHERT, 1990).

## 2.2 Reologia

O estudo reológico de um material retrata seu comportamento de fluidez e deformação. O material pode ser gás, líquido ou sólido, sendo um sistema de materiais, a junção de vários componentes ou fases. A relação quantitativa entre tensão, deformação e tempo, pode ser expressa através das regras reológicas do material (DIN 1342, I e DIN 13342).

A viscosidade é uma característica de um sistema de materiais fluidos, que na deformação, desenvolve uma tensão dependente somente da sua velocidade. A tensão pode também ser considerada como causa da velocidade de deformação (DIN 1342, II). As características viscosas de um material são descritas, de acordo com as leis da reologia de materiais. Através de ensaios de laboratório obtém-se elementos que fornecem diretrizes para descrição dos aspectos reológicos dos materiais, como segue:

Curva de viscosidade: Representação gráfica da função de viscosidade cisalhante com a variação de velocidade ou tensão de cisalhamento. Para uma substância newtoniana, obtém-se uma reta paralela à abscissa. A curva de viscosidade é definida apenas em fluxo viscosimétrico.

- Curva de viscosidade aparente: Curva de viscosidade de uma substância não-newtoniana ou material plástico acima do limite de fluidez, onde a tensão de cisalhamento ou a variação de velocidade crescem, e são calculadas com a utilização de equações que somente são válidas para substâncias newtonianas. Em alguns casos conhecem-se métodos de cálculo ou gráficos para transformação em curva de viscosidade real.
- Limite de fluidez: A menor tensão de cisalhamento  $\tau_f$ , acima da qual um material plástico, reologicamente, se comporta como um fluido.
- Curva de fluidez: Representação gráfica da relação entre tensão de cisalhamento  $\tau$  e potencial cisalhante  $D$  para um fluxo em camadas de um fluido ou material plástico acima do limite de fluidez. As curvas de fluidez são definidas apenas para fluxo viscosimétrico.

- Curva de fluidez aparente: Na representação gráfica de curvas de fluidez, diferenciam-se estas entre real e aparente. Enquanto as curvas de fluidez real são determinadas a partir exclusivamente do comportamento do material, as curvas de fluidez aparente dependem ainda de parâmetros da aparelhagem de medição, como por exemplo, momento de rotação (Krieger e Maron, 1954).

### 2.2.1 Fluido

Os fluidos são materiais que se deformam continuamente quando submetido a um esforço tangencial. De acordo com o comportamento reológico, podem-se diferenciar os fluidos em dois grupos principais: os fluidos newtonianos e os fluidos não newtonianos.

#### a. Fluido newtoniano (viscoso puro)

O fluido que apresenta comportamento viscoso puro, quando sua viscosidade dinâmica é independente do potencial cisalhante  $D$ , isto é,  $h$  é constante, é denominado fluido newtoniano (ver Equação 1):

$$\eta = \tau / D \dots\dots\dots 1$$

Fluidos newtonianos são completamente caracterizados pela constante  $h$ , do material. A viscosidade dinâmica depende somente da pressão e temperatura durante a medição. Para essa classe de fluidos pertencem os óleos minerais, soluções, glicerina e água (ver Figura 2).

**Figura 2:** Diagrama do potencial cisalhante (a) e Desenvolvimento da viscosidade (b) de um fluido newtoniano (KÜHLING, 1990).

#### b. Fluido não newtoniano

Nessa classe de fluidos, encontram-se os quais, a viscosidade depende do potencial cisalhante e da duração da solitação cisalhante ou ambos os fatores.

A viscosidade desses fluidos não é constante. Os fluidos não-newtonianos não são caracterizados através da atribuição de valores de viscosidade e sim através de uma função de viscosidade,  $h = h(D(t, t_0))$  e  $t = h.D$ .

O tempo de início da solitação considera o desenvolvimento das características de fluidez com o tempo.

Caso a função de viscosidade seja dependente somente do potencial cisalhante, isto é,  $h = h(D(t, t_0))$ , considera-se como comportamento de fluidez não dependente do tempo. Fazem parte desse grupo os fluidos de estrutura viscosa, dilatantes e com limite de fluidez.

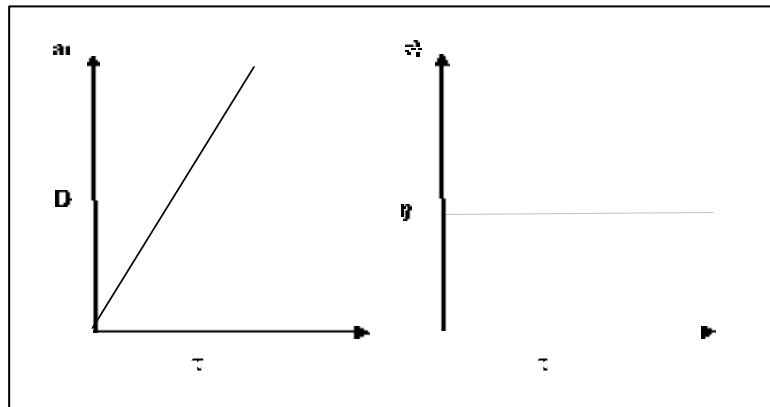
Quando a função de viscosidade é dependente, além do potencial cisalhante, da duração do cisalhamento, considera-se como comportamento de fluidez dependente do tempo. Fazem parte desse grupo os fluidos tixotrópicos, reopexos e viscoelásticos (MBONIMPA, 1993 E MÜLLER-KIRCHENBAUER, 1995).

#### • Fluido de estrutura viscosa

Fluidos de estrutura viscosa são materiais, os quais suas variações de viscosidade, em maiores valores de tensão de cisalhamento ou variação de velocidade, são menores que em valores mais baixos e a curva de viscosidade passa pela origem (Figura 3). A lei de fluidez para esses materiais segue a Equação 2 a seguir:

$$t = g.D^n \dots\dots\dots 2$$

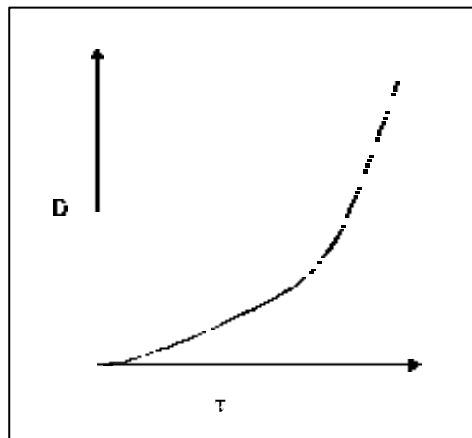
sendo:  $n$  = Coeficiente de estrutura e para fluido de estrutura viscosa ( $0 < n < 1$ ) (DIN 1342-I, KARLSTEDT, 1996 e MBONIMPA, 1993).



**Figura 3:** Curva de fluidez de material de estrutura viscosa (DIN 1342-I, KARLSTEDT, 1996 E MBONIMPA, 1993).

• **Fluido dilatante**

Os fluidos dilatantes são materiais, os quais suas variações de viscosidade, em maiores valores de tensão de cisalhamento ou variação de velocidade, são maiores, do que em valores mais baixos de tensão, e a curva de viscosidade passa pela origem (Figura 4). A lei de fluidez para esses materiais segue a equação 6 com  $n > 1$  (DIN 1342-I, KARLSTEDT, 1996 e MBONIMPA, 1993).



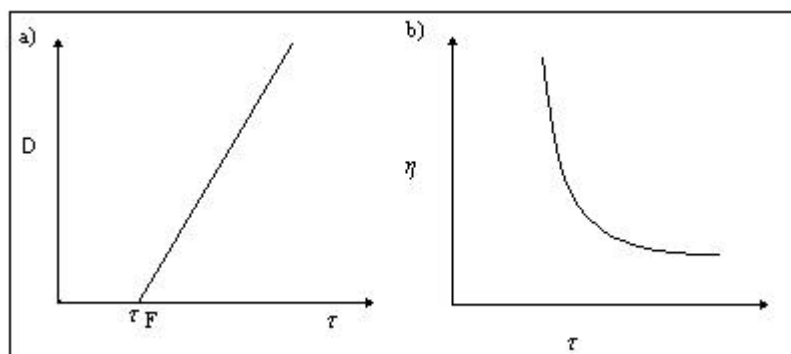
**Figura 4:** Curva de viscosidade em fluido dilatante (DIN 1342-I, KARLSTEDT, 1996 e MBONIMPA, 1993).

• **Fluido de Bingham**

Fluidos de Bingham são materiais, que demonstram um comportamento de fluido newtoniano, após ultrapassarem um limite de fluidez (Figura 5). Essa classe de materiais segue a equação:

$$\tau = \tau_f + \eta D \dots\dots\dots 3$$

Fazem parte dessa classe de materiais as gorduras e óleos (MÜLLER-KIRCHENBAUER, 1995).



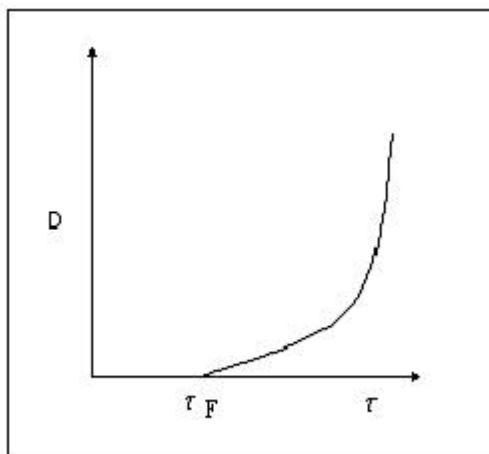
**Figura 5:** Curva de fluidez (a) e curva de viscosidade (b) de um fluido de Bingham (DIN 13342).

• **Fluido de estrutura viscosa com limite de fluidez**

Fluidos de estrutura viscosa com limite de fluidez, como o nome sugere, são materiais que, após uma tensão de cisalhamento  $t_F$ , comportam-se como fluido de estrutura viscosa (ver Figura 6). O comportamento de fluidez destes materiais segue a equação 4:

$$\tau = \tau_f + \eta D^n \dots\dots\dots 4$$

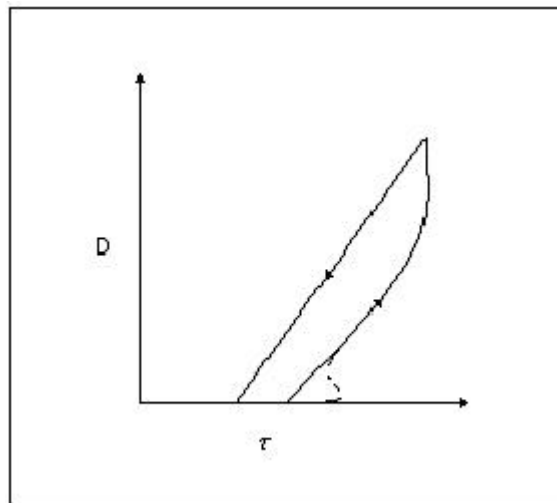
Freqüentemente utilizados como materiais de injeção, pertencem este grupo as suspensões, como por exemplo, suspensões de cimento e argila (MÜLLER-KIRCHENBAUER, 1995).



**Figura 6:** Curva de fluidez de fluidos de estrutura viscosa com limite de fluidez (MÜLLER-KIRCHENBAUER, 1995).

• **Fluido tixotrópico**

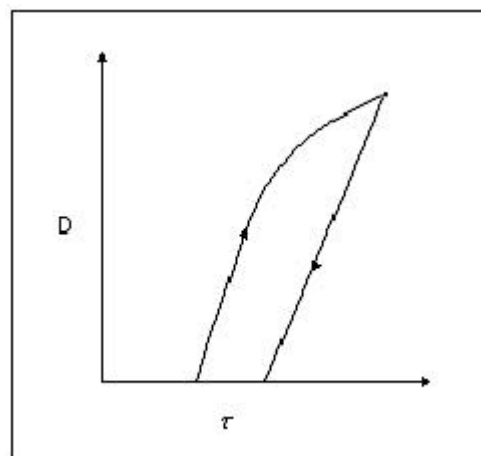
A tixotropia é a característica de um material de apresentar variações reversíveis na sua viscosidade devido a solicitações mecânicas. Quando o material sofre solicitação mecânica contínua, sua viscosidade diminui e quando a solicitação pára, a viscosidade do material volta a aumentar. A curva de fluidez de um material tixotrópico apresenta histerese (DIN 1342-I, DIN 13342 e MÜLLER-KIRCHENBAUER, 1995), conforme a Figura 7.



**Figura 7:** Curva com histerese de um material tixotrópico com limite de fluidez (MÜLLER-KIRCHENBAUER, 1995).

• **Fluido reopéxico**

A reopexia é a característica de um material de apresentar variações reversíveis na sua viscosidade devido a solicitações mecânicas. Quando o material sofre solicitação mecânica contínua, sua viscosidade aumenta e quando a solicitação para, a viscosidade do material volta a diminuir. Como observado na Figura 8, a curva de fluidez de um material reopéxico apresenta histerese (DIN 1342-I e DIN 13342).



**Figura 8:** Curva de fluidez de um material reopéxico (DIN 1342-I e DIN 13342).

• **Fluido visco-elástico**

Materiais que apresentam, ao mesmo tempo, comportamento viscoso e mudança de forma. São materiais que apresentam deformabilidade.

### 3 Experimentos

Os ensaios compreenderam a utilização de diversos fatores água-cimento, métodos de mistura (ver Figura 9), variando-se o tempo, a velocidade de mistura e o tipo de misturador ou de dispersor (S50KR-G45M e R50, ver figuras 10 e 11) e também os estados que a suspensão foi mantida durante a mistura, agitação contínua ou com intervalo (ver Figura 12), sempre se levando em consideração a variação de temperatura.

Para pesquisar os diferentes índices específicos, assim como a fluidez da suspensão, são utilizados vários métodos como o ensaio padrão, o “Kasometer” (Figura 13) e o viscosímetro de rotação coaxial (Figura 14). O ensaio padrão é composto

pela determinação da densidade da suspensão com a balança “spullüinggs-Waage” (Figura 15), limite de fluidez com o funil de “Marsh” (Figura 16) e o ensaio de esferas (Figura 17), a estabilidade à sedimentação com a bureta padrão (Figura 18) e a filtração com o filtro compressor (Figura 19).

O limite de fluidez é determinado com o “Kasometer” e as curvas de fluidez e viscosidade com o viscosímetro de rotação cilíndrico tipo “Cuette”. As condições ambientais necessárias, assim como os efeitos indesejados foram levadas em consideração na execução dos ensaios (AGUIAR 1997).



**Figura 9:** Misturador ULTRA-TURRAX T50 com medidor de rotação e equipamento de dispersão (AGUIAR, 1997).



**Figura 10:** Equipamento de dispersão S50KR-G45M (AGUIAR, 1997).



**Figura 11:** Equipamento de dispersão de onda R50 (AGUIAR, 1997).





**Figura 12:** Agitador RW 20 com hélice (AGUIAR, 1997).



**Figura 13:** Vista do ensaio “Kasumeter” (AGUIAR, 1997).



**Figura 14:** Vista do viscosímetro de rotação (AGUIAR, 1997).



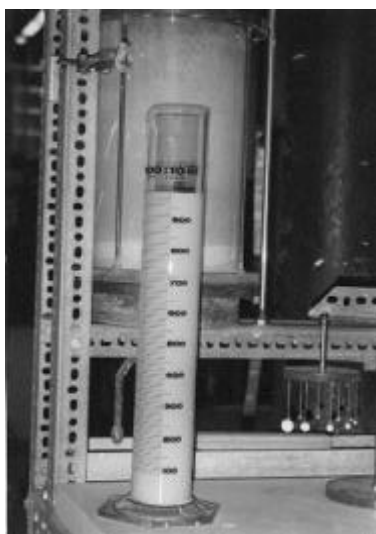
**Figura 15:** Vista da balança (AGUIAR, 1997).



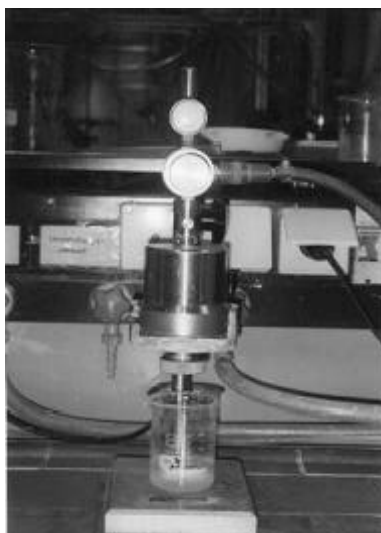
**Figura 16:** Vista do funil de “Marsh” (AGUIAR, 1997).



**Figura 17:** Vista do aparelho do ensaio de esfera (AGUIAR, 1997).



**Figura 18:** Vista do ensaio de sedimentação do a bureta padrão (AGUIAR, 1997).



**Figura 19:** Vista do filtro (AGUIAR, 1997).

#### **4 Resultados obtidos**

De acordo com AGUIAR (1997), apresentam-se a seguir os resultados obtidos dos ensaios, considerando os aspectos reológicos da suspensão estudada.

##### **4.1 Desenvolvimento dos índices específicos da suspensão com o tempo**

A partir do momento imediatamente após a mistura são medidos os índices da suspensão, com micro-aglomerante, com intervalos de 1 (uma) hora e durante 4 (quatro) horas. Observou-se:

- i. A densidade continua constante com o tempo, sendo maior para menor valor de fator água-cimento (Figura 20).

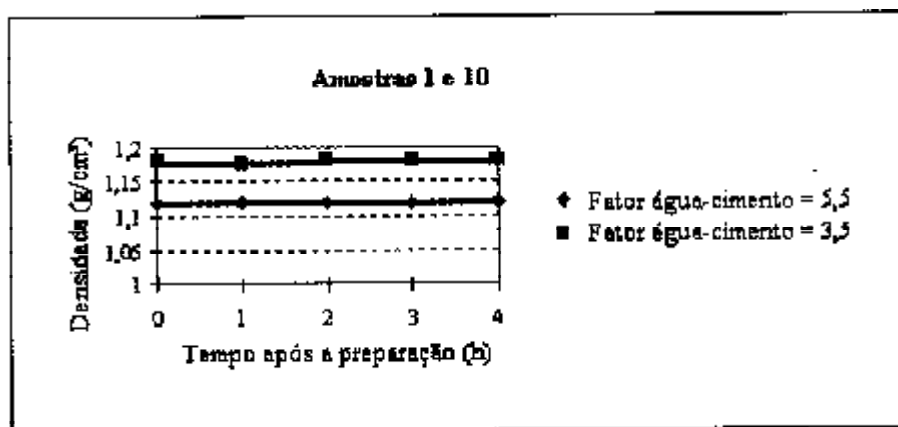


Figura 20: Desenvolvimento da densidade com o tempo para diferentes valores de fator água-cimento (AGUIAR, 1997).

- ii. A estabilidade à sedimentação foi determinada através da massa precipitada e em todo o tempo do ensaio não foi observada sedimentação.
- iii. O limite de fluidez, que foi determinado com o “Kasometer”, cresce levemente (Figura 21), observando-se maiores valores para menores fatores água-cimento, já com o viscosímetro de rotação, observou-se que na primeira hora ocorre variação ficando depois relativamente constante (Figura 22).

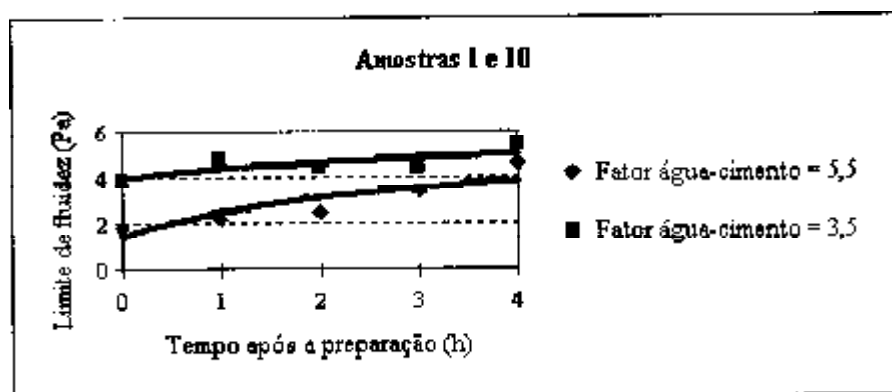


Figura 21: Desenvolvimento do limite de fluidez, medido com o “Kasometer”, com o tempo para diferentes valores de fator água-cimento (AGUIAR, 1997).

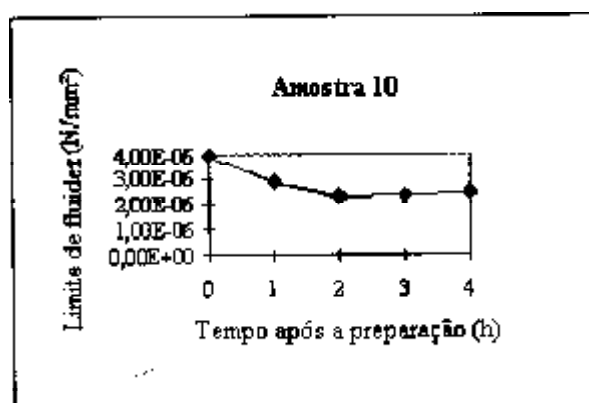


Figura 22: Desenvolvimento do limite de fluidez, medido com o viscosímetro de rotação, com o tempo para fator água-cimento = 3,5 (AGUIAR, 1997).

iv. O tempo de escoamento, obtido com o funil de “Marsh”, cresce levemente com o tempo e mostra maiores valores para menores fatores água-cimento (ver Figura 23).

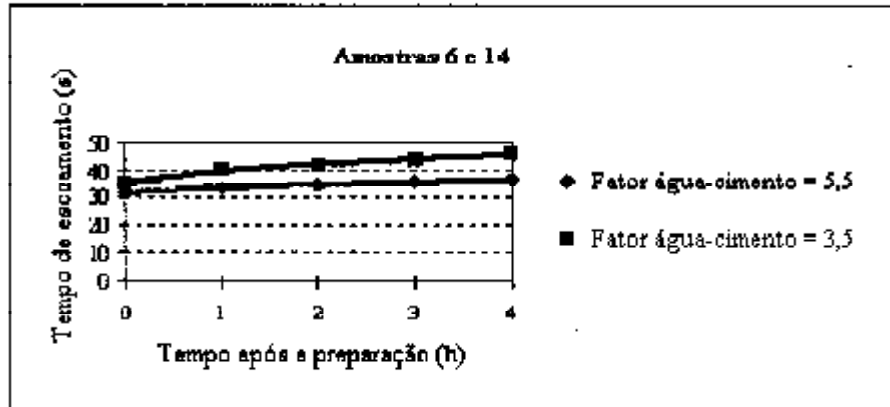


Figura 23: Desenvolvimento do tempo de escoamento, medido com o funil de “Marsh”, com o tempo para diferentes fatores água-cimento (AGUIAR, 1997).

v. A viscosidade plástica cresceu não ocorrendo grandes diferenças devido a mudança dos fatores de influência (ver Figura 24).

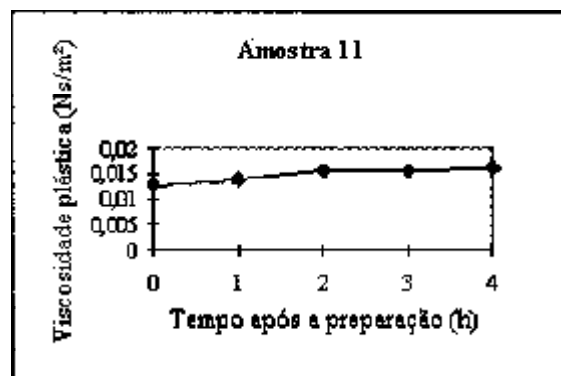


Figura 24: Desenvolvimento da viscosidade plástica, medida com o viscosímetro de rotação, com o tempo para fator água-cimento = 3,5 (AGUIAR, 1997).

vi. A temperatura da suspensão não demonstrou uma tendência clara com o tempo.

#### 4.2 Curvas aparentes de fluidez e viscosidade determinadas com o viscosímetro de rotação

Levando-se em consideração as condições ambientais necessárias e possíveis perturbações, como o efeito de aquecimento, que foram monitorados, foram realizados os ensaios com o viscosímetro de rotação. As suspensões com micro-aglomerante puderam ser consideradas como substâncias de “Bingham” e não demonstram características tixotrópicas. As curvas aparentes de fluidez e viscosidade foram determinadas e, através destas, foram calculadas o limite de fluidez e a viscosidade plástica (ver figuras 25 e 26).

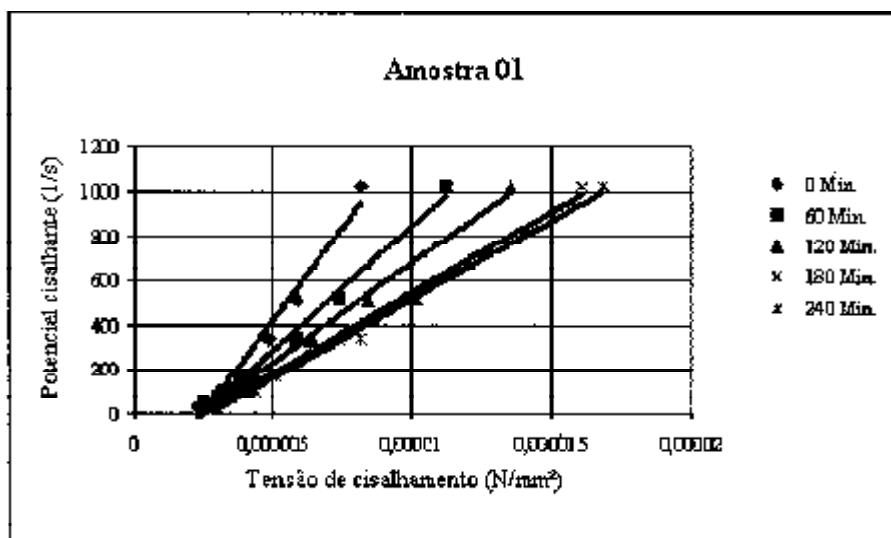


Figura 25: Curva de fluidiz aparente da suspensão em diferentes tempos após a preparação (AGUIAR, 1997).

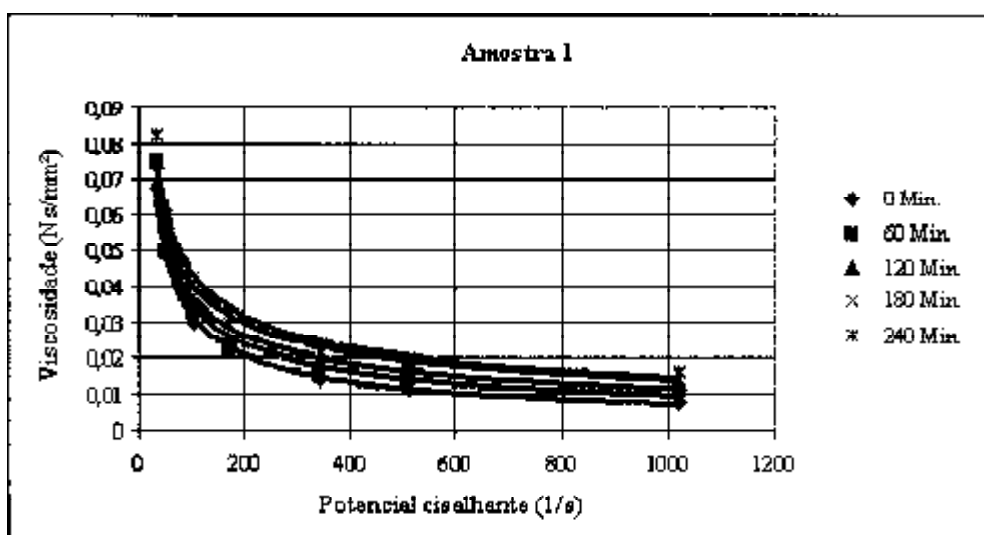


Figura 26: Curva de viscosidade aparente da suspensão em diferentes tempos após a preparação (AGUIAR, 1997).

#### 4.3 Diferentes métodos para determinação do limite de fluidiz e tempo de escoamento

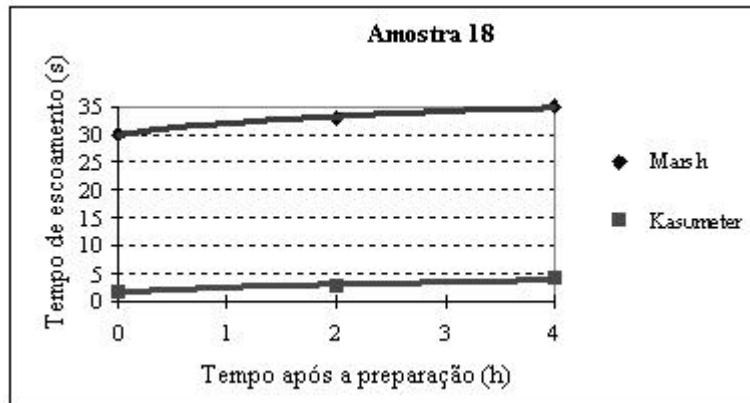
O limite de fluidiz foi determinado como o ensaio das esferas, o “kasometer” e o viscosímetro de rotação.

O método das esferas não mostrou modificações nas suspensões no decorrer dos ensaios com o passar do tempo.

Os resultados dos limites de fluidiz medidos com o “Kasometer” e o viscosímetro de rotação mostraram comportamentos diferentes, como mostram as figuras 21 e 22.

O tempo de escoamento é uma função da densidade, do limite de fluidiz e da viscosidade, e por isso, é aconselhável sua utilização apenas para verificar rapidamente se as características da suspensão se modificaram a um valor inicial.

O desenvolvimento relativo ao tempo do índice encontrado com o “Kasometer” e do tempo de escoamento, também relativo ao tempo, determinado com o funil de “Masch” mostram tendências semelhantes, como mostra a Figura 27.



**Figura 27:** Desenvolvimento do tempo de escoamento, com o funil de “Marsh”, e do limite de fluidez, com o “Kasometer”, no decorrer do tempo após a mistura da suspensão (AGUIAR, 1997).

#### 4.4 Fatores de influência

Na mistura das suspensões com micro-aglomerante foram utilizados tempos de mistura com 5 e 3 minutos, velocidade dos misturadores de 5000 e 7000 rpm e dois misturadores diferentes, sendo, o S 50KR-G45M e o misturador de onda R50.

Os índices específicos das suspensões, assim como fluidez destas, foram medidos e comparados, verificando-se que estas modificações não provocam alterações consideráveis.

A maneira como a suspensão foi mantida durante a mistura (mistura contínua ou com intervalo) não exerceu influência considerável na substância ensaiada e somente no desenvolvimento da viscosidade plástica com relação ao tempo, observou-se diferença demonstrada com a superposição dos gráficos.

O fator água-aglomerante da suspensão influi claramente em quase todas as suas características, como observado nas figuras 20, 21 e 23. Com o crescimento do fator água-aglomerante, decresceram a densidade, a estabilidade à filtração, o limite de fluidez, tempo de escoamento e viscosidade plástica. A estabilidade à sedimentação e a temperatura da suspensão não se alteram com a modificação do fator água-aglomerante.

#### 5. Conclusões

Baseado nos dados obtidos chegou-se às seguintes conclusões:

- Enquanto que o limite de fluidez e o tempo de escoamento cresceram lentamente com o tempo, a densidade da mistura permaneceu constante, sendo, em todos os casos, maior quanto menor for o fator água-cimento;
- A viscosidade plástica também cresceu com o tempo, mas ao contrário do limite de fluidez, densidade e tempo de escoamento, não com o fator água cimento;
- As suspensões com micro-aglomerante, poderam ser consideradas como substâncias de “Bingham” e não demonstram características tixotrópicas;
- Os resultados de limites de fluidez obtidos pelos métodos do viscosímetro de rotação e do “Kasometer” apresentaram comportamentos diferentes;
- O desenvolvimento relativo ao tempo do índice encontrado com o “Kasometer” e do tempo de escoamento, também relativo ao tempo, determinado com o funil de “Masch” mostram tendências semelhantes;
- A maneira como a suspensão foi mantida durante a mistura, contínua ou com intervalo, não exerceu influência na substância ensaiada, somente no desenvolvimento da viscosidade plástica com relação ao tempo;
- O decréscimo do fator água-aglomerante da suspensão refletiu-se em um aumento da maioria das características estudadas (densidade, a estabilidade à filtração, o limite de fluidez, tempo de escoamento e viscosidade plástica) .

## 6 Agradecimentos

O autor agradece ao Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico (DDAD - Deutsche Akademische Austauschdienst), pelo apoio financeiro no desenvolvimento desta pesquisa.

Aos professores do curso de pós-graduação em geotecnia e infraestrutura da Universidade de Hannover, Victor Rizkallah e Müller-Kirchenbauer, pela orientação dos trabalhos.

Ao então doutorando em engenharia civil da Universidade de Hannover, Mamert Mbonimpa, pela colaboração na execução dos ensaios.

À Gabriele Hampel, pela revisão do texto original em alemão e à Giane Porto pelo apoio fraterno.

## Referências

AGUIAR, M. F. P. *Experimentelle untersuchungen zum fliebverhalten von feinstbindemittel-injektionssuspensionen, wissenschaftliche abschlußarbeit zur erlangung des akademischen grades*. Magister des bauingenieurwesens für geotechnik und infrastruktur. Thesis (M. Ing.), Universität Hannover, Hannover, 1997.

DIN 1342, Teil 1. Viskosität; rheologische begriffe. Hamburg: Deutsches Institut für Normung e.V., 1983.

DIN 1342, Teil 2. Viskosität; newtonsche flüssigkeiten. Hamburg: Deutsches Institut für Normung e.V., 1986.

DIN 13 342. Nicht-newtonsche flüssigkeiten; begriffe, stoffgesetze. Hamburg: Deutsches Institut für Normung e.V., 1976.

DONEL, M. *Bodeninjektionstechnik*. Essen: Verlag Glückauf, 1990.

EBERT, F. *Strömung nicht-Newtonscher Medien*. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg, 1980.

KARLSTEDT, A. *Rheologisches verhalten neuartiger injektionsmaterialen auf basis von organo-silanen unter zugabe von inerten füllstoffen*. Diplomarbeit am Institut für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau. Universität Hannover, 1996.

KRIEGER, I. M.; MARON, S. H. Direct determination of the flow curves of non-newtonian fluids: standardized treatment of viscometrie data. *Journal of Applied Physics*, v. 25, n. 1, p. 104-112, 1954.

KÜHLING, G. Feinstzement-microfeine hydraulische bindemittel. *Zeitschrift Tiefbau, Ingenieurbau, Strassenbau*, 1990. v. 11, s. 782-784.

KUTZNER, C. *Injektionen im baugrund*. Stuttgart: F. Enke Verlag, 1991.

MBONIMPA, M. *Untersuchungen zum fließverhalten von ton-zement-und feinstbindemittelsuspensionen*. Abschlußarbeit des Postgraduertenstudium Bauingenieurwesen. Universität Hannover, Hannover, 1993.

MÜLLER-KIRCHENBAUER, H. *Injektionstechnik*. Vorlesungsskript, Institut für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau der Universität Hannover, Hannover, 1995.

PERBIX, W. Anwendung von injektionen mit feinstbindemitteln. *Felsbau-Zeitschrift*, v. 36, s. 298-300, 1993.

PREGL, O. *Handbuch der geotechnik*. Wien: Universität für Bodenkultur, 1989. Schutz und Abdichtung von Grundbauwerken, Dichtungswände, Gesteinsinjektionen und Gesteinsanker.

TAUSCH, N.; TEICHERT, H. Injektionen mit feinstbindemitteln-zum eindringverhalten von suspensionen mit mikrodrur in lockergesteine. 5. In: CHRISTIAN-VEDER-KOLLOQUIUM-NEUE ENTWICKLUNGEN IN DER BAUGRUNDVERBESSERUNG, 5., 1990, Graz. *Tagungsband...* Graz, 1990. v. 4.

## SOBRE O AUTOR

### Marcos Fábio Porto de Aguiar

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará em 1993. Mestre em Geotecnia e Infra-estrutura pela Universidade de Hannover – Alemanha, em 1997. Professor do Curso de Engenharia Civil da Fundação de Ensino e Pesquisa de Itajubá (UNIVERSITAS) em Itajubá – MG, durante o ano de 2003. Atualmente é doutorando em Geotecnia do Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ e professor do curso superior de Vias e Transportes do Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará - CEFET.