



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL – REI**  
**CAMPUS ALTO PARAÓPEBA**

David Melgaço Souza Silva  
Maicon de Ávila Fernandes

***PLANILHA AUTOMATIZADA PARA ENSAIOS***  
***DE SPT E PMT***

OURO BRANCO - MG  
AGOSTO – 2017



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL – REI  
CAMPUS ALTO PARAPEBA**

David Melgaço Souza Silva  
Maicon de Ávila Fernandes

# ***PLANILHA AUTOMATIZADA PARA ENSAIOS DE SPT E PMT***

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Civil – Ênfase em Estruturas Metálicas, da Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Alto Paraopeba, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

**Orientador:** Prof. Me. Tales Moreira de Oliveira

OURO BRANCO - MG  
AGOSTO – 2017

David Melgaço Souza Silva  
Maicon de Ávila Fernandes

# ***PLANILHA AUTOMATIZADA PARA ENSAIOS DE SPT E PMT***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de São João del-Rei, como parte dos requisitos para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

## **BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Me. Tales Moreira de Oliveira – UFSJ  
(Orientador)

---

Prof. Dr. Leandro Neves Duarte – UFSJ  
(Co-Orientador)

---

Prof. Dr. Cristiano Maciel Silva – UFSJ  
(Avaliador Interno)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a todos que fizeram parte dessa caminhada e de alguma forma colaboraram com a realização deste trabalho.

Primeiramente à Deus, que está acima de tudo e nos permitiu chegar até aqui com saúde e concluir mais uma etapa da vida com sucesso.

Aos nossos pais, que são os pilares de nossas vidas e sempre nos deram apoio, amor incondicional e coragem para vencer todas as batalhas da vida.

A nossos irmãos e irmãs, pelo carinho, ajuda, companheirismo e conselhos nos momentos que mais precisamos.

À Universidade Federal de São João del-Rei, pela oportunidade da nossa formação profissional.

A todos funcionários e professores da UFSJ, e em especial aos nossos Professores Tales Moreira de Oliveira (Orientador) e Leandro Neves Duarte (Co-orientador), pelo apoio, dedicação e aprendizado durante todas as fases de elaboração do TCC.

Enfim, obrigado a todos!

*“A persistência é o caminho do êxito.”*

*Charles Chaplin*

## RESUMO

FERNANDES, M.A; SILVA, D.M.S (2017). **Planilha automatizada para ensaios SPT e PMT**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Coordenação de Engenharia Civil. Universidade Federal de São João del-Rei. Ouro Branco, MG, xx p.

O crescente desenvolvimento tecnológico de softwares voltados para diversas áreas da engenharia com ferramentas inovadoras e intuitivas que contribuem aumentando a produtividade e precisão dos resultados e minimizando erros frequentes, formaram a base de inspiração para elaboração deste trabalho de conclusão de curso. O objetivo deste trabalho foi desenvolver através do software Excel, um plug-in em Visual Basic for Applications (VBA) com interface gráfica amigável e intuitiva que facilita o aprendizado do usuário, menus objetivos e bem visíveis e que realize a emissão de relatórios técnicos a partir da entrada de dados obtidos dos ensaios de Simples Reconhecimento do Solo (SPT) e Pressiômetro (PMT).

Palavras-chave: Tecnologia da informação. Ensaio geotécnicos SPT e PMT.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ensaio SPT .....	12
Figura 2 - Pressiômetro de Ménard tipo GC.....	16
Figura 3 - Curva de calibração - perdas de volume na aparelhagem.....	17
Figura 4 - Exemplo de calibração da sonda. ....	18
Figura 5 - Curva pressiométrica corrigida NF P 94-110-1. ....	19
Figura 6 - Exemplo de curva de fluência da NF P 94-110-1.....	21
Figura 7 - Fluxograma do Plug-in. ....	26
Figura 8 - Tela Inicial. ....	27
Figura 9 - Tela de login. ....	28
Figura 10 - Tela de seleção dos ensaios.....	29
Figura 11 - Tela de dados gerais, ensaio SPT. ....	29
Figura 12 - Tela de dados do ensaio SPT (aba 1).....	30
Figura 13 - Tela de dados do ensaio SPT (aba 2).....	31
Figura 14 - Tela de dados do ensaio de lavagem. ....	32
Figura 15 - Boletim de SPT gerado .....	33
Figura 16 - Boletim SPT comparativo.....	35
Figura 17 - Dados iniciais do ensaio pressiométrico Ménard. ....	36
Figura 18 – Tela de preenchimento dos dados da calibração da membrana.....	37
Figura 19 – Tela de preenchimento dos dados da calibração de perdas de volume.38	
Figura 20 - Formulário para preenchimentos dos pontos obtidos do ensaio PMT. ...	39
Figura 21 - Ajustando curva de fluência .....	40
Figura 22 - Boletim PMT gerado (parte 1).....	41
Figura 23 - Boletim PMT gerado (parte 2).....	42
Figura 24 - Relatório PMT do plug-in Shg Ménard, Elk® usado para comparativo ...	44

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	9
1.1	OBJETIVOS .....	10
1.1.1	Objetivo geral .....	10
1.1.2	Objetivos Específicos .....	10
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	11
2.1	ENSAIO DE SIMPLES RECONHECIMENTO DO SOLO (SPT).....	11
3.2.1	Sondagem do solo.....	11
3.2.2	SPT e sua importância .....	11
3.2.3	Método de execução do SPT .....	12
3.2.4	Vantagens do SPT .....	13
3.3	PRESSIÔMETRO (PMT) .....	14
3.3.1	Desenvolvimento histórico.....	14
3.3.2	Tipos de pressiômetros .....	15
3.3.3	Interpretação do Ensaio Pressiométrico Tipo Ménard.....	17
3.3.4	Obtenção da pressão limite (P <sub>L</sub> ).....	20
3.3.5	Pressão de fluência ou de deformação plástica .....	21
3.4	SOFTWARES NA ENGENHARIA CIVIL .....	22
3.5	EXCEL E LINGUAGEM VBA - VISUAL BASIC FOR APPLICATIONS .....	23
4	MATERIAIS E MÉTODOS .....	24
4.1	METODOLOGIA APLICADA .....	24
4.2	MATERIAIS .....	25
4.2.1	Ensaio de Simples Reconhecimento do Solo (SPT).....	25
4.2.2	Pressiômetro (PMT) .....	25
4.3	FLUXOGRAMA DE FUNCIONAMENTO DO PLUG-IN .....	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	27
5.1	TELAS GERAIS DO PLUG-IN.....	27
5.1.1	Tela inicial .....	27
5.1.2	Tela de identificação do usuário.....	28
5.1.3	Tela de seleção dos ensaios SPT e PMT.....	28
5.2	ENSAIO SPT .....	29
5.2.1	Impressão da folha de rosto do ensaio SPT e PMT .....	32
5.2.2	Entrada de dados e emissão do relatório do ensaio SPT.....	32
5.2.3	Comparativo dos resultados obtidos no SPT .....	34
5.3	ENSAIO PMT .....	36
5.3.1	Emissão do relatório técnico do ensaio PMT .....	40
5.3.2	Comparativo dos resultados obtidos no PMT .....	43
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	45
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	46



# 1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O crescente desenvolvimento tecnológico de softwares voltados para diversas áreas da engenharia proporciona grandes facilidades em métodos de cálculos complexos que em um passado recente era elaborado por engenheiros de forma analítica e trabalhosa.

Na engenharia moderna, é cada vez mais comum a utilização de softwares que contribuem com o aumento da produtividade e precisão dos resultados, minimizando erros frequentes gerados pelo desgaste de uma rotina de cálculo maçante.

A revolução tecnológica ofereceu grandes facilidades nas resoluções dos cálculos de engenharia civil, cálculos complicados que por muitos anos foram resolvidos por engenheiros de forma analítica e trabalhosa (MATOS, 2009).

Não existem limites para o desenvolvimento de softwares para o auxílio de qualquer atividade e hoje existem no mercado muitas empresas e profissionais dedicados ao desenvolvimento de ferramentas eletrônicas para qualquer atividade. (MATOS, 2009).

O Visual Basic for Applications (VBA) constitui uma ferramenta poderosa nas mãos de programadores experientes, mas pode, ao mesmo tempo, ser muito útil a qualquer utilizador, mesmo inexperiente (SILVA, 2009).

O VBA é uma adaptação da linguagem genérica de programação Visual Basic de modo a ser utilizada no ambiente específico das aplicações Office.

Baseado nesse contexto, este trabalho visa desenvolver, através do software Excel, um plug-in em Visual Basic for Applications (VBA) que realize a emissão de relatórios técnicos, de forma rápida e prática, a partir da entrada de dados obtidos por meio dos ensaios geotécnicos de Simples Reconhecimento do Solo (SPT) e Pressiômetro (PMT).

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Este trabalho visa o desenvolvimento de um plug-in em Visual Basic for Applications (VBA), através do software Excel, capaz de gerar relatórios técnicos a partir da entrada de dados obtidos por meio de ensaios geotécnicos de SPT e PMT.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Desenvolver através do Excel, planilhas de cálculo dos parâmetros geotécnicos obtidos através dos ensaios SPT e PMT;
- Criar modelos de relatórios técnicos para os ensaios baseados nas normas vigentes que tratam do assunto;
- Validar os dados obtidos das planilhas eletrônicas desenvolvidas através de comparação com ensaios já calculados e disponíveis na bibliografia.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 Ensaio de Simples Reconhecimento do Solo (SPT)**

#### **3.2.1 Sondagem do solo**

A grande parte dos projetos de engenharia civil é executada com base em ensaios, cujos resultados representam uma definição satisfatória da estratigrafia do subsolo e uma boa estimativa das propriedades geomecânicas dos materiais envolvidos. Conhecer as condições do solo é uma importante ferramenta para a elaboração de projetos seguros e econômicos (SCHNAID, 2000).

A coleta de amostras ou a utilização de alguns outros processos para se classificar os solos exige a execução de ensaios em campo. A determinação de suas propriedades, em princípio, poderia ser feita através de ensaios de laboratório ou ensaios “in situ”. Na prática, entretanto, a grande maioria dos ensaios são realizados em campo, ficando a investigação laboratorial restrita a poucos casos especiais (QUARESMA *et al*, 1998).

#### **3.2.2 SPT e sua importância**

O Simples Reconhecimento do Solo (SPT) é a forma mais popular e econômica de investigação em praticamente todo o mundo. Permite uma boa aproximação da densidade de solos granulares, identificação da consistência de solos coesivos e rochas brandas. Os métodos mais comuns de projeto de fundações rasas e profundas usam como parâmetros os resultados de SPT, especialmente no Brasil (SCHNAID, 2000).

O SPT é um ensaio de campo que visa obter uma medida local de resistência do solo ( $N_{spt}$ ) e coletar amostras para classificação a cada metro perfurado conforme a norma NBR 6484. Este ensaio pode ser realizado em um intervalo menor ou maior de profundidade, ficando a critério das necessidades do projeto e ou do engenheiro responsável e sempre atendendo os requisitos da norma (FONTELES, 2003).

A figura 1 mostra como é realizado o Ensaio de Simples Reconhecimento do Solo em campo e os equipamentos necessários para tal.

Figura 1 - Ensaio SPT



Fonte: ROCHA, A.P.; TAMAKI, L. (2011)

### 3.2.3 Método de execução do SPT

Segundo Schnaid (2000), o ensaio SPT é a determinação da resistência dinâmica do solo acrescida de uma sondagem de simples reconhecimento. A perfuração pode ser realizada através de trado helicoidal ou circulação de água com auxílio de um trépano de lavagem. As amostras do solo são coletadas a cada metro de profundidade por meio do amostrador padrão cujo diâmetro externo é de 50 mm. O ensaio se dá pela cravação deste amostrador no fundo de uma escavação, usando o martelo de 65,0 kg que cai de uma altura de 75 cm. O valor do  $N_{SPT}$  é o número de golpes necessários para fazer o amostrador penetrar 30 cm, após já ter sido cravado 15 cm.

De acordo com Quaresma et al (1998), é preciso determinar em planta a posição dos pontos a serem sondados na área que será investigada. Para edificações, procura-se colocar os pontos de sondagens próximos aos locais de maior concentração de carga. Salvo em casos específicos de projeto, as distâncias entre pontos de sondagem variam entre 15 e 30 metros. Para estudo de viabilidade, as

investigações preliminares podem ser feitas com distância entre pontos de sondagem variando de 50 a 100 metros. Após a definição do projeto, sondagens complementares com distância menor devem ser realizadas. Deve-se evitar, para qualquer caso, locar pontos de sondagem alinhados, para melhor interpretação em vários planos.

#### **3.2.4 Vantagens do SPT**

As vantagens do SPT com relação a outros ensaios de sondagem são a simplicidade do equipamento, baixo custo e obtenção de resultados satisfatórios que podem ser relacionados a outros parâmetros do solo através de equações empíricas. Apesar das críticas relacionadas à diversidade de procedimentos usados no ensaio e a falta de critérios em alguns métodos e interpretações, ainda sim é o ensaio predominante na engenharia de fundações (SCHNAID, 2000).

Segundo Andrade (2005), os equipamentos básicos e procedimentos essenciais do ensaio ainda são mantidos apesar da modernização dos métodos de execução, e ressalta que o grau de confiabilidade dos resultados depende da qualificação técnica dos responsáveis e da quantidade de parâmetros que cada método suporta avaliar.

Os equipamentos, modo de perfuração e procedimento de ensaio diferem de país para país, de acordo com a localização e desenvolvimento tecnológico, resultando em diferenças significativas nos resultados encontrados. As principais diferenças se referem ao método de perfuração e cravação do amostrado, fluido estabilizante das laterais do furo, mecanismo de levantamento e liberação do martelo, diâmetro do furo e rigidez das hastes, (SCHNAID, 2000).

A profundidade a ser atingida no ensaio depende do porte da edificação e das cargas que serão transmitidas ao solo. A NBR 6484 informa os critérios mínimos para orientar a profundidade das sondagens. Porém, outros fatores como a resistência do solo, o tipo de edificação e as características do projeto podem exigir sondagens mais profundas ou critérios mais rígidos de paralisação. Para que o ensaio atinja a profundidade necessária, recomenda-se que o profissional

responsável pelo projeto de fundações faça o acompanhamento das sondagens. (QUARESMA et al., 1998).

Segundo Schnaid (2000), o ensaio SPT tem sido usado para diversas aplicações, desde amostragem para classificação do solo em diferentes camadas, previsão da tensão admissível dos solos, e até correlações com outros parâmetros geotécnicos. Essas correlações, quando de origem empírica, são obtidas para condições específicas sendo limitadas a esse uso, entretanto na prática acabam extrapoladas de forma inapropriada. Além disto, ensaios SPT realizados em uma mesma área podem apresentar grande dispersão de resultados.

### **3.3 Pressiômetro (PMT)**

#### **3.3.1 Desenvolvimento histórico**

De acordo com Schnaid (2000), o termo pressiômetro foi usado pioneiramente pelo engenheiro francês Luis Ménard em 1955 para definir “um elemento de forma cilíndrica projetada para aplicar uma pressão uniforme nas paredes de um furo de sondagem, através de uma membrana flexível, promovendo a conseqüente expansão de uma cavidade cilíndrica na massa de solo”.

Existem várias definições criadas por pesquisadores para o termo pressiômetro. Destacando-se aqui a de BAGUELIN *et al* (1978) que descreve a sonda pressiométrica como um dispositivo no qual se aplica uma pressão hidráulica através de uma membrana flexível às paredes de um furo.

Modernamente, o equipamento é conhecido como ferramenta rotineira de investigação geotécnica, sendo particularmente útil na determinação do comportamento tensão-deformação de solos *in situ*.

Alguns países como França (P 94-110/2000 – AFNOR), Rússia (GOST 20.276-85) e os Estados Unidos (ASTM D - 4.719/87), desenvolveram normas e especificações sobre ensaios pressiométricos. No Brasil, por ainda não existir normas e especificações nacionais que se refiram aos ensaios pressiométricos, utiliza-se as

normas francesa e americana, por se tratarem de ensaios com pressiômetros de pré-furo, os mais encontrados no país (ARAUJO, 2001).

### **3.3.2 Tipos de pressiômetros**

De acordo com Araujo (2001), a interpretação de um ensaio pressiométrico depende não só do tipo de solo, como também do pressiômetro utilizado, da técnica de instalação utilizada e do tipo de procedimento de ensaio adotado (tensão ou deformação controlados).

Procedimentos distintos de instalação da sonda pressiométrica no solo podem ser utilizados, e foram desenvolvidos, primeiramente, com o objetivo de reduzir ou eliminar os possíveis efeitos de amolgamento gerado pela inserção da sonda no terreno e, secundariamente, com o objetivo de melhor adaptar essa técnica de ensaio in situ às diferentes condições de subsolo (SCHNAID, 2000).

Os pressiômetros são classificados em três categorias segundo sua forma de inserção ao solo (Mair e Wood, 1987, *apud* Schnaid, 2000): Pressiômetro de pré-furo, pressiômetro auto perfurante e pressiômetro cravante.

No presente trabalho iremos tratar do ensaio pressiométrico tipo Ménard (MPM), que se enquadra na categoria de pré-furo. Esta técnica é simples quando comparada a outros equipamentos, exigindo cuidados especiais para evitar a perturbação (amolgamento) do solo durante a perfuração (ANGELIM, 2011).

Segundo Araujo (2001) os pressiômetros de Ménard são classificados em três tipos, sendo:

- Tipo E: foi o primeiro a ser criado e não é fabricado nem vendido atualmente;
- Tipo GC: o mais utilizado e tem seu uso destinado a ensaios em solos; e
- Tipo GB: Existem poucos em utilização no mundo e são utilizados para ensaios em rocha.

A principal diferença construtiva dos pressiômetros do tipo GC está no fato de estes não possuírem três células independentes (uma central e duas de guarda), mas sim de uma única célula separada e devidamente contida e localizada no interior de um recobrimento ao longo do corpo da sonda. Os vazios nas extremidades da célula central formam as células de carga (ARAUJO, 2001).

A figura 2 mostra a execução de um ensaio pressiométrico (PMT) e os equipamentos necessários para a realização do mesmo.

Figura 2 - Pressiômetro de Menárd tipo GC.



Fonte: CÂNDIDO, 2016.

O procedimento de ensaio consiste na colocação da sonda dentro de um furo de sondagem escavado até a cota desejada e, a seguir expandi-la por meio da aplicação de incrementos de pressão controlados pela Central de Pressão e Volume (CPV). Em cada incremento de pressão são registradas leituras de volume aos 1, 15, 30 e 60 segundos. Os incrementos de pressão devem ser realizados após 60 segundos. Assim, tem-se como resultado uma curva pressiométrica onde o volume injetado ao final de 60 segundos é representado em função da pressão aplicada.



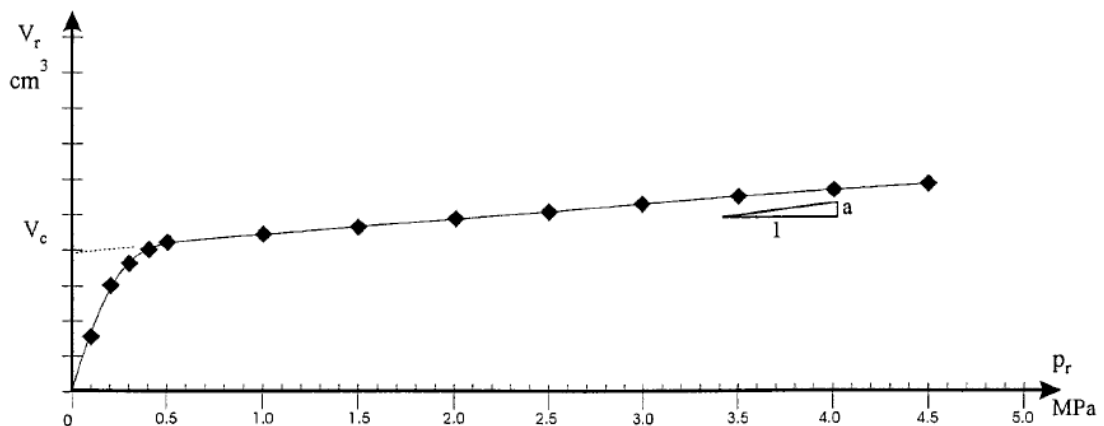
A utilização do pressiômetro apresenta claras vantagens, pois permite a obtenção da relação tensão-deformação do solo in situ, a estimativa da pressão de escoamento, mais conhecida como “*creep pressure*” e da pressão limite associada às condições de ruptura do solo. Destacando-se como virtudes do ensaio a possibilidade de medir as propriedades de deformação do solo, a resistência limite ou de ruptura (MOTA, 2003).

### 3.3.3 Interpretação do Ensaio Pressiométrico Tipo Ménard

De acordo com Schnaid (2000), o pressiômetro deve ser calibrado regularmente, antes e após a realização de cada programa de ensaio (e.g. Clarke, 1995). A calibração é realizada de forma a compensar os efeitos das perdas de pressão e volume, visando a medida correta do comportamento tensão-deformação do material ensaiado.

De acordo com a Norma Francesa P 94-110 (2000), a calibração é inicialmente realizada pressurizando-se a sonda no interior de um tubo de aço de paredes espessas. A pressão é aumentada em incrementos, cada incremento é mantido durante 60 segundos, e o deslocamento monitorado com o objetivo de traçar uma curva pressão-deslocamento, chamada de curva de expansão (SCHNAID, 2000). Um exemplo de curva de expansão é ilustrado na figura 03.

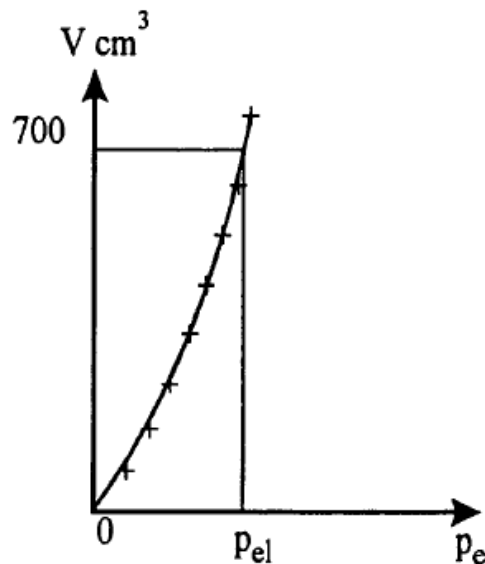
Figura 3 - Curva de calibração - perdas de volume na aparelhagem.



Fonte: AFNOR, 2000.

Segundo Schnaid (2000), uma segunda calibração é realizada com o objetivo de corrigir as pressões em função da resistência própria da sonda. Procede-se a um ensaio de expansão ao ar com a sonda na posição vertical, fazendo coincidir a cota do centro da célula de medição com o manômetro de pressão. A curva pressão-deformação resultante, chamada de curva de calibração da membrana, é traçada, podendo-se obter a partir dela, para cada volume injetado, a correção da pressão devida à resistência própria da membrana. Um exemplo de curva de calibração da membrana é ilustrado na figura 04.

Figura 4 - Exemplo de calibração da sonda.



Fonte: AFNOR, 2000.

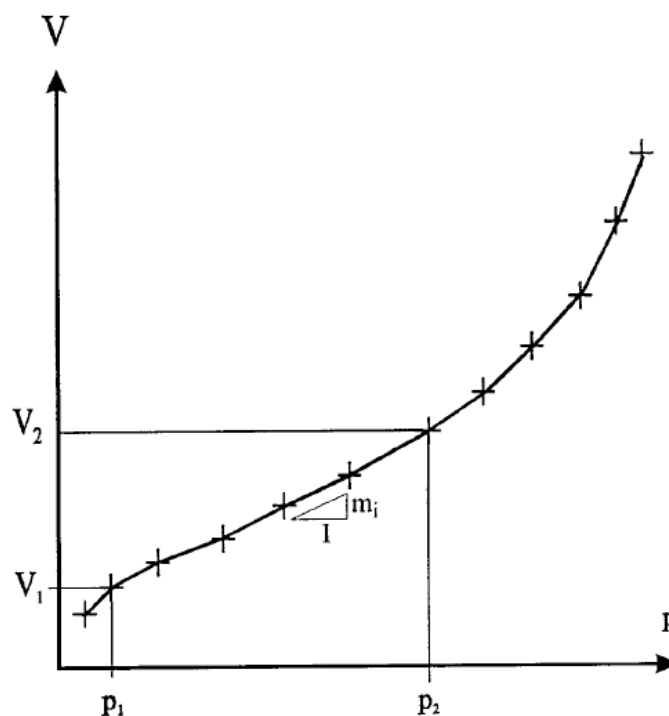
A partir da curva pressiométrica corrigida, ilustrada na figura 05, pode-se determinar o valor do módulo Ménard ( $E_M$ ). Para isso deve-se escolher um trecho da curva pressiométrica referente a fase elástica do solo. A norma francesa NF P 94-110-1 descreve um procedimento analítico para determinação do trecho pseudo-elástico da curva.

Cada segmento da curva possui um coeficiente angular " $m_i$ ", conforme figura 5, onde:

$$m_i = \frac{V_i - V_{i-1}}{p_i - p_{i-1}} \quad (3.1)$$

Onde  $p_i$  e  $V_i$  são as coordenadas do final do segmento.

Figura 5 - Curva pressiométrica corrigida NF P 94-110-1.



Fonte: AFNOR, 2000.

A faixa ao longo da qual é obtido o módulo pressiométrico é definida no trecho onde todos os segmentos sucessivos apresentam uma inclinação ( $m_i$ ) menor ou igual a  $\beta$  vezes o valor de " $m_e$ ", necessariamente positivo, que é o menor valor entre todos os " $m_i$ ". O trecho elástico se estende da origem do primeiro segmento envolvido até o último segmento que apresente um coeficiente angular ( $m_i$ ).

O valor de  $\beta$  é dado por:

$$\beta = 1 + \frac{1}{100} \cdot \frac{P'E + P_E}{P'E - P_E} + \frac{2 \cdot \delta}{V'E - V_E} \quad (3.2)$$

Sendo,  $P'E$ ,  $P_E$ ,  $V'E$  e  $V_E$  as pressões final e inicial e volumes final e inicial respectivamente do trecho que apresentam inclinação ( $m_e$ );  $\delta$  é a variação do volume injetado.

A norma francesa NF P 94-110-1 adota  $\delta = 3 \text{ cm}^3$ . Já a norma europeia DIS 22476-4 (ISO, 2012), permite aumentar o valor de  $\delta$  para que se tenha no mínimo, três segmentos consecutivos para a definição do módulo pressiométrico.

Por definição o módulo pressiométrico de Ménard é dado pela seguinte equação:

$$E_M = 2(1 + \nu) \left[ V_s + \left( \frac{V_1 + V_2}{2} \right) \right] \frac{(P_2 - P_1)}{(V_2 - V_1)} \quad (3.3)$$

Onde,  $V_1$  é o volume inicial do trecho elástico,  $V_2$  é o volume final do trecho elástico,  $V_s$  o volume inicial da célula de medição,  $P_1$  é a pressão inicial do trecho elástico,  $P_2$  é a pressão final do trecho elástico e  $\nu$  é o coeficiente de Poisson, admitido pela norma francesa como 0,33 para todos os tipos de solo.

#### 3.3.4 Obtenção da pressão limite ( $P_L$ )

A pressão limite é definida como a máxima pressão atingida num ensaio pressiométrico para a qual a cavidade continuaria a se expandir indefinidamente (ARAUJO, 2001).

Convencionalmente a pressão limite é a pressão corrigida para a qual o volume injetado na célula central de medição durante o ensaio é tal que:

$$V_L = V_s + 2 \cdot V_1 \quad (3.4)$$

Onde,  $V_L$  é o volume que corresponde a pressão limite,  $V_s$  o volume inicial da célula de medição e  $V_1$  é o volume inicial do trecho elástico da curva pressiométrica.

Pode-se obter a pressão limite diretamente, após determinar  $V_L$  conforme eq. (3.4), e associar esse valor a uma pressão na curva pressiométrica corrigida. No entanto, na prática não é possível atingir essa pressão já que a expansão da membrana é limitada (ARAUJO, 2001).

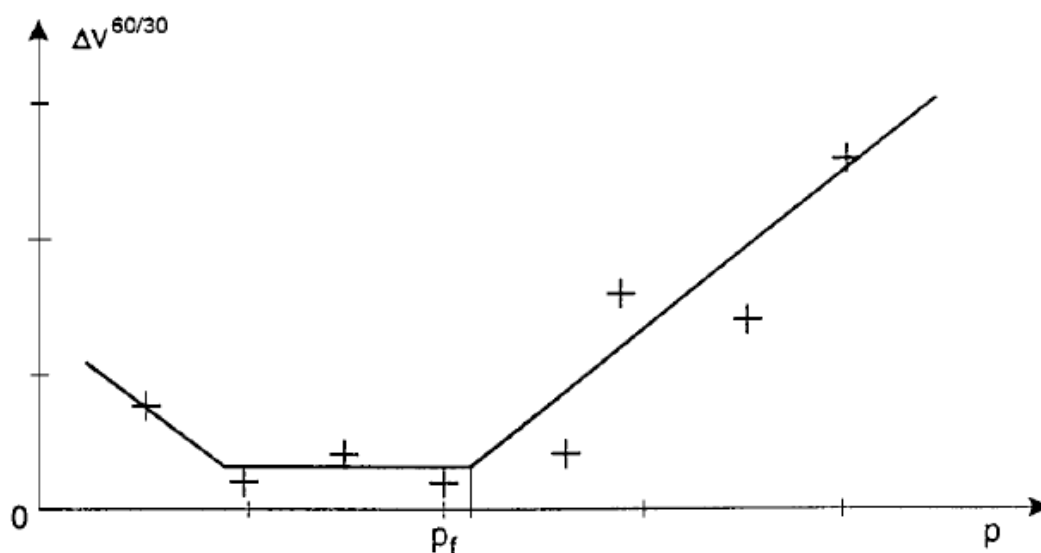
De acordo com a norma francesa devem ser usados dois métodos de regressão (métodos de extrapolação) distintos a fim de se obter a pressão limite. O método da curva inversa e o método de ajuste hiperbólico. Tais extrapolações somente são permitidas quando o número de incrementos de pressão aplicados além da pressão “P<sub>2</sub>” é no mínimo igual a três.

### 3.3.5 Pressão de fluência ou de deformação plástica

A pressão de fluência (*creep*) “P<sub>f</sub>” está relacionada a tensão de escoamento do solo, ou seja, a tensão a partir da qual o comportamento do solo passa do regime linear-elástico para o regime plástico (ANGELIM, 2011). É obtida pela análise do gráfico do diagrama pressão *versus* variação do volume injetado entre 30 e 60 segundos (P, ΔV<sup>60-30</sup>).

O valor de P<sub>f</sub>, sempre igual ou maior que P<sub>2</sub>, é a intersecção de duas retas que serão escolhidas para representar o trecho elástico e o plástico, respectivamente, no gráfico pressão *versus* ΔV<sup>60-30</sup>, como na figura a seguir:

Figura 6 - Exemplo de curva de fluência da NF P 94-110-1.



Fonte: AFNOR, 2000.

### 3.4 Softwares na Engenharia Civil

Mais conhecido como “programa de computador” o software é um conjunto de informações lógicas. É o mecanismo que aliado ao computador é capaz de realizar diversas funções pré-programadas utilizando banco de dados e estrutura operacional já determinada. Para se desenvolver um programa, o profissional precisa colher informações em campo sobre a atividade que será informatizada e, às vezes é preciso algum tempo acompanhando o processo, e somente depois de tudo captado é que o programador vai para o computador para desenvolver o software. (MATOS, 2009)

A disponibilidade crescente de recursos computacionais cada vez mais difundidos abre espaço para emprego de ferramentas de análise mais poderosas, antes desprezada devido à dificuldade de sua aplicação, sob esse ponto de vista, pode-se citar, por exemplo, alguns softwares desenvolvidos para atender a engenharia civil em suas diversas áreas visando a melhoria da qualidade e a eficiência dos serviços prestados, atendendo dessa maneira a competitividade, os padrões de qualidade exigidos, a segurança e a questão ambiental entre outros requisitos que exige dos engenheiros auto poder de análise e síntese nos projetos em que atuam (MENDONÇA, 2005).

Segundo Matos (2009), o CAD/TQS é um exemplo de software desenvolvido e distribuído no Brasil é uma ferramenta essencial para o engenheiro civil, pois sua metodologia de trabalho agrega todas as etapas da elaboração de um projeto estrutural.

Outro exemplo, segundo Matos (2009), é o software SLOPE/W que foi desenvolvido para análise de estabilidade de talude utilizando como parâmetros os métodos mais utilizados pelos profissionais de geotecnia (Bishop, fellenius, janbu), além de considerar em seus cálculos os carregamentos provocados sobre carga de aterro, cargas sísmicas, cargas concentradas e ancoragens.

Existem uma infinidade de softwares simples ou complexos, planilhas automatizadas, plug-ins e outras ferramentas que auxiliam o engenheiro, otimizam o tempo empregado e a qualidade dos projetos elaborados nas diversas áreas da engenharia.

### **3.5 Excel e linguagem VBA - Visual Basic for Applications**

Excel é uma planilha produzida pela Microsoft Inc. Planilha é um tipo especial de software matemático que permite ao usuário entrar com linhas e colunas de dados e fazer cálculos sobre elas. Todo o cálculo é atualizado quando um valor é modificado, e por isso planilhas são ideais para o tipo de análise “e se?” (CHAPRA; CANALE, 2008).

De acordo com Silva (2009), a linguagem de programação VBA (Visual Basic for Applications) permite automatizar a elaboração de várias tarefas rotineiras ao Microsoft Office, entre as quais o Excel e o Word. É considerada uma adaptação da linguagem genérica de programação Visual Basic de forma a ser utilizada no ambiente específico das aplicações do Office. O VBA é uma importante ferramenta nas mãos de programadores experientes, mas pode também ser muito útil a qualquer pessoa, mesmo inexperiente, pois é fácil de ser utilizada. Ele contém macros que são instruções a serem realizadas para executar uma determinada tarefa e atingir um objetivo específico, ou seja, pode-se dizer que é uma descrição formalizada das tarefas que se deseja automatizar. Esta linguagem tornou-se muito comum devido ao sucesso do sistema operacional Windows, que fornece uma interface amigável ao usuário e inúmeras ferramentas de desenvolvimento.

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 Metodologia aplicada**

Primeiramente foi desenvolvido um estudo de campo onde os autores deste trabalho tiveram a oportunidade de ver e aprender na prática como são realizados os ensaios geotécnicos de SPT e PMT.

Paralelamente à observação de campo, foi necessário realizar estudos de aprofundamento ao tema em várias fontes de pesquisa como normas técnicas, livros, artigos e trabalhos científicos sobre os ensaios em estudo com a finalidade de se obter maior esclarecimento e convicção das ideias para, posteriormente, iniciar-se o desenvolvimento do Plug-in.

Após esse tempo de observação em campo e pesquisa científica para aprofundamento ao tema, deu-se início à elaboração das planilhas e cálculos necessários através do software Excel.

A fase seguinte do trabalho foi elaborar os modelos de relatórios próprios baseados nas exigências da norma NBR 6484/2001 que trata a respeito do ensaio SPT, e normas norte-americana e francesa que tratam a respeito do ensaio PMT, visto que não existe uma norma brasileira para este último tema. Além disso, a elaboração dos relatórios também foi baseada em modelos consagrados já existentes no mercado brasileiro.

A penúltima fase foi elaborar o código de programação mais adequado e otimizado possível para atender às necessidades de elaboração dos relatórios técnicos da forma mais intuitiva, rápida e completa possível.

Por último, após a construção do Plug-in com todas as suas funcionalidades de gerar relatórios, folhas de rosto e cálculos, pôde-se comparar os resultados obtidos pelo Plug-in com os cálculos realizados por outras metodologias (analiticamente, na bibliografia, e/ou relatórios gerados por outros programas).



## 4.2 Materiais

### 4.2.1 Ensaio de Simples Reconhecimento do Solo (SPT)

Para o ensaio SPT foi implementado, através de “Userform”, as ferramentas necessárias para interação com o usuário. O usuário tem a opção de selecionar a classificação do solo nas caixas de seleção ou digitar uma nova classificação se assim desejar.

O critério de parada do ensaio foi implementado no Plug-in como uma caixa de seleção onde o usuário escolhe entre quatro opções previstas na NBR 6484.

O modelo de relatório criado mostra o número de golpes necessários para a cravação dos 45 centímetros e utilizando a própria função de soma do Excel, foi implementada duas colunas que mostram o  $N_{SPT}$  inicial, referente a soma dos 30 centímetros iniciais, e o  $N_{SPT}$  final, referente a soma dos 30 centímetros finais.

Foi implementada ainda a representação gráfica da resistência do solo onde é possível visualizar a posição do nível d'água e as curvas do  $N_{SPT}$  inicial e final plotados no mesmo gráfico.

### 4.2.2 Pressiômetro (PMT)

Para o ensaio PMT, foi necessária implementação de algoritmos genéricos de regressão não-linear para os pontos da fase de calibração da membrana.

Em gráfico no Excel existe uma função para criar linhas de tendência além dos dados reais inseridos a fim de ajustar e/ou prever valores futuros. Para ajustes lineares e logarítmicos existem ainda as funções PROJ.LIN e PROJ.LOG respectivamente, pelas quais é possível obter o valor dos coeficientes da linha ajustada. No entanto, não existe função que retorne os valores dos coeficientes de um ajuste polinomial de terceiro grau.

Para tanto, implementou-se algoritmo com método de Gauss-Newton\* para realização da regressão polinomial de terceiro grau não-linear, permitindo assim que os valores dos coeficientes da curva ajustada fossem utilizados, sem que fosse

---

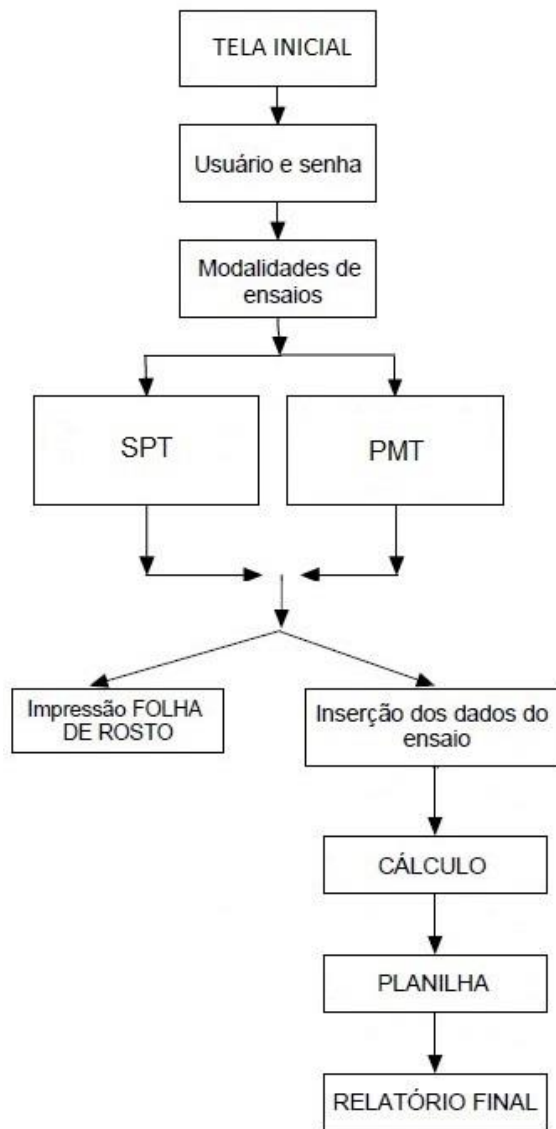
\* O Método de *Gauss-Newton* é um algoritmo que minimiza a soma dos quadrados dos resíduos entre os dados e as equações não-lineares. (CHAPRA; CANALE, 2008)

necessária interferência do usuário, para os cálculos das correções necessárias para a análise completa do ensaio PMT.

### 4.3 Fluxograma de funcionamento do Plug-in

O Plug-in elaborado para emissão de relatórios técnicos funciona conforme o fluxograma mostrado na figura 7.

Figura 7 - Fluxograma do Plug-in.



Fonte: Autor

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Plug-in desenvolvido apresenta interface gráfica amigável e intuitiva que facilita o aprendizado do usuário. Possui características desejadas em qualquer programa, tais como rapidez de execução dos cálculos, eficiência e confiabilidade dos resultados. Menus objetivos e bem visíveis facilitam a interação com o usuário permitindo a fácil obtenção dos relatórios técnicos a partir da entrada dos dados dos ensaios.

O modelo de boletim desenvolvido para o ensaio de SPT foi baseado em modelos encontrados na bibliografia e nas exigências da NBR 6484-2001 que estabelece os procedimentos do ensaio e os itens que devem constar no boletim.

### 5.1 Telas gerais do plug-in

#### 5.1.1 Tela inicial

Na tela inicial do Plug-in tem-se dois botões posicionados na parte inferior da tela para dar acesso aos ensaios ou sair do programa como mostra a figura 8.

Figura 8 - Tela Inicial.



### 5.1.2 Tela de identificação do usuário

A figura 9 apresenta a tela onde o usuário, previamente cadastrado no código de programação, deverá inserir o nome e a senha para ter acesso ao programa.

Figura 9 - Tela de login.



LOGIN

**IDENTIFICAÇÃO DO USUÁRIO**

**USUÁRIO:**

**SENHA:**

SAIR

ENTRAR

### 5.1.3 Tela de seleção dos ensaios SPT e PMT

A figura 10 mostra a tela de opção para o usuário escolher entre os ensaios disponíveis. Primeiramente será demonstrado o ensaio SPT.

Figura 10 - Tela de seleção dos ensaios.



ENSAIOS GEOTÉCNICOS

Clique sobre o ensaio desejado:

SPT

PMT

PLANILHA SAIR

A interface apresenta uma janela com o título "ENSAIOS GEOTÉCNICOS" e um ícone de fechar no canto superior direito. O conteúdo principal contém o texto "Clique sobre o ensaio desejado:" seguido por dois botões grandes e cinza: "SPT" e "PMT". Na base da janela, há uma barra decorativa amarela com dois botões menores: "PLANILHA" e "SAIR".

## 5.2 Ensaio SPT

Clicando sobre a opção SPT, o usuário será direcionado para uma nova janela onde deverá entrar com os dados gerais do ensaio, tais como cliente, local, obra, hora e data do ensaio como é mostrado na figura 11.

Figura 11 - Tela de dados gerais, ensaio SPT.



Dados da Obra

Cliente

Interessado: Tales Moreira

Obra: Condomínio

Local: Ouro Branco

DATA

INÍCIO 13/06/2017

TÉRMINO 13/06/2017

HORA

INÍCIO 09:00

TÉRMINO 13:00

VOLTAR LIMPAR AVANÇAR

A interface mostra uma janela com o título "Dados da Obra" e um ícone de fechar no canto superior direito. O formulário é dividido em seções: "Cliente" com campos para "Interessado" (Tales Moreira), "Obra" (Condomínio) e "Local" (Ouro Branco); "DATA" com campos para "INÍCIO" (13/06/2017) e "TÉRMINO" (13/06/2017); e "HORA" com campos para "INÍCIO" (09:00) e "TÉRMINO" (13:00). Na base, há três botões: "VOLTAR", "LIMPAR" e "AVANÇAR".

Após o usuário preencher os dados da obra e clicar em “AVANÇAR”, será direcionado para a tela da figura 12 onde deverá preencher os dados do ensaio SPT obtidos em campo.

Figura 12 - Tela de dados do ensaio SPT (aba 1).

SPT

SPT com profundidade até 20 metros | SPT com profundidade de 21 a 30 metros

COTA DA SONDAAGEM  
 INICIAL (m) 1  
 FINAL (m) 29,45

SONDAGEM  
 Nível d'água INICIAL (m) 14 FURO Nº SPT-01 Cota do furo (m) 94 **ENSAIO DE LAVAGEM**  
 CRITÉRIO DE PARADA Impenetrável ao trépano de lavagem segundo item 6.4.3 da NBR 6484/2001

TIPO AVANÇO	AMOSTRA Nº	Nº DE GOLPES			COTAS (m)		CLASSIFICAÇÃO DO SOLO			
		15	15	15	DE	ATÉ	GRANULOMETRIA	SECUNDÁRIA	CONSISTÊNCIA	COR
T.C.	01	1	1	1	1	1,45	argila	areno-siltos.		
T.C.	02	2	2	2	2	2,45	argila	areno-siltos.		
T.C.	03	2	2	2	3	3,45	argila	pouco aren.	mole a médi.	variado
T.C.	04	2	2	3	4	4,45	argila	pouco arenosa	mole a média	V.G.
T.C.	05	2	3	3	5	5,45	argila	pouco arenosa	mole a média	V.G.
T.C.	06	2	3	3	6	6,45	argila	pouco arenosa	mole a média	variado
T.C.	07	3	3	3	7	7,45	argila	pouco arenosa	mole a média	variado
T.C.	08	3	3	3	8	8,45	siltos	argilosa	média	variado
T.C.	09	3	3	4	9	9,45	siltos	argilosa	média	variado
T.H.	10	3	4	4	10	10,45	siltos	arenosa	pouco comp	variado
T.H.	11	4	4	4	11	11,45	siltos	arenosa	pouco comp	variado
T.H.	12	4	5	6	12	12,45	siltos	arenosa	jco compacta	variado
T.H.	13	5	6	7	13	13,45	siltos	arenosa	jco compacta	variado
T.H.	14	2	3	4	14	14,45	siltos	arenosa	jco compacta	variado
T.H.	15	3	4	6	15	15,45	siltos	arenosa	jco compacta	variado
T.H.	16	4	6	8	16	16,45	siltos	arenosa	compacta	variado
T.H.	17	6	8	10	17	17,45	siltos	arenosa	compacta	variado
T.H.	18	6	10	14	18	18,45	siltos	arenosa	compacta	variado
T.H.	19	9	14	23	19	19,45	siltos	arenosa	compacta	variado
T.H.	20	14	15	15	20	20,45	siltos	arenosa	compacta	variado

VOLTAR FOLHA DE ROSTO PLANILHA LIMPAR COTAS 21 a 40m GERAR COTAS LIMPAR TUDO RELATÓRIO CALCULAR

Figura 13 - Tela de dados do ensaio SPT (aba 2).

SPT

SPT com profundidade até 20 metros | SPT com profundidade de 21 a 30 metros

TIPO		Nº DE GOLPES			COTAS (m)		CLASSIFICAÇÃO DO SOLO			
AVANÇO	AMOSTRA Nº	15	15	15	DE	ATÉ	GRANULOMETRIA	SECUNDÁRIA	CONSISTÊNCIA	COR
T.H.	21	10	15	24	21	21,45	silte	arenosa	compacta	variada
T.H.	22	8	10	15	22	22,45	silte	arenosa	compacta	variada
T.H.	23	9	12	18	23	23,45	silte	arenosa	compacta	variada
T.H.	24	6	9	15	24	24,45	silte	arenosa	compacta	variada
T.H.	25	8	10	25	25	25,45	silte	arenosa	compacta	variada
C.A.	26	9	12	20	26	26,45	silte	arenosa	compacta	variada
C.A.	27	10	13	23	27	27,45	silte	huito arenosa	jito compacta	variada
C.A.	28	10	16	23	28	28,45	silte	huito arenosa	jito compacta	variada
C.A.	29	10	13	22	29	29,45	silte	huito arenosa	jito compacta	variada

VOLTAR | FOLHA DE ROSTO | PLANILHA | LIMPAR COTAS 21 a 40m | GERAR COTAS | LIMPAR TUDO | RELATÓRIO | CALCULAR

O usuário tem a opção de inserir a classificação do solo selecionando as opções oferecidas pelo plug-in ou, se preferir, pode digitar os dados manualmente nas próprias caixas de classificação.

Na figura 12 e 13, clicando sobre a opção “ENSAIO DE LAVAGEM”, o usuário será direcionado para a tela mostrada na figura 14 onde é possível entrar com os dados do ensaio de lavagem.

Figura 14 - Tela de dados do ensaio de lavagem.

PERÍODO	DE (m)	ATÉ (m)	AVANÇO (m)
1º 10 min:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="0.01"/>
2º 10 min:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="0.02"/>
3º 10 min:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="0.05"/>

Na parte inferior da figura 12 e 13 está a barra de opções, dos quais se destacam “FOLHA DE ROSTO”, “RELATÓRIO” e “CALCULAR” descritas a seguir.

### 5.2.1 Impressão da folha de rosto do ensaio SPT e PMT

A opção “FOLHA DE ROSTO” gera um relatório não preenchido no formato pdf para que o usuário possa utilizar como rascunho durante a obtenção de dados em campo. Nos Apêndices estão as folhas de rosto dos ensaios SPT e PMT.

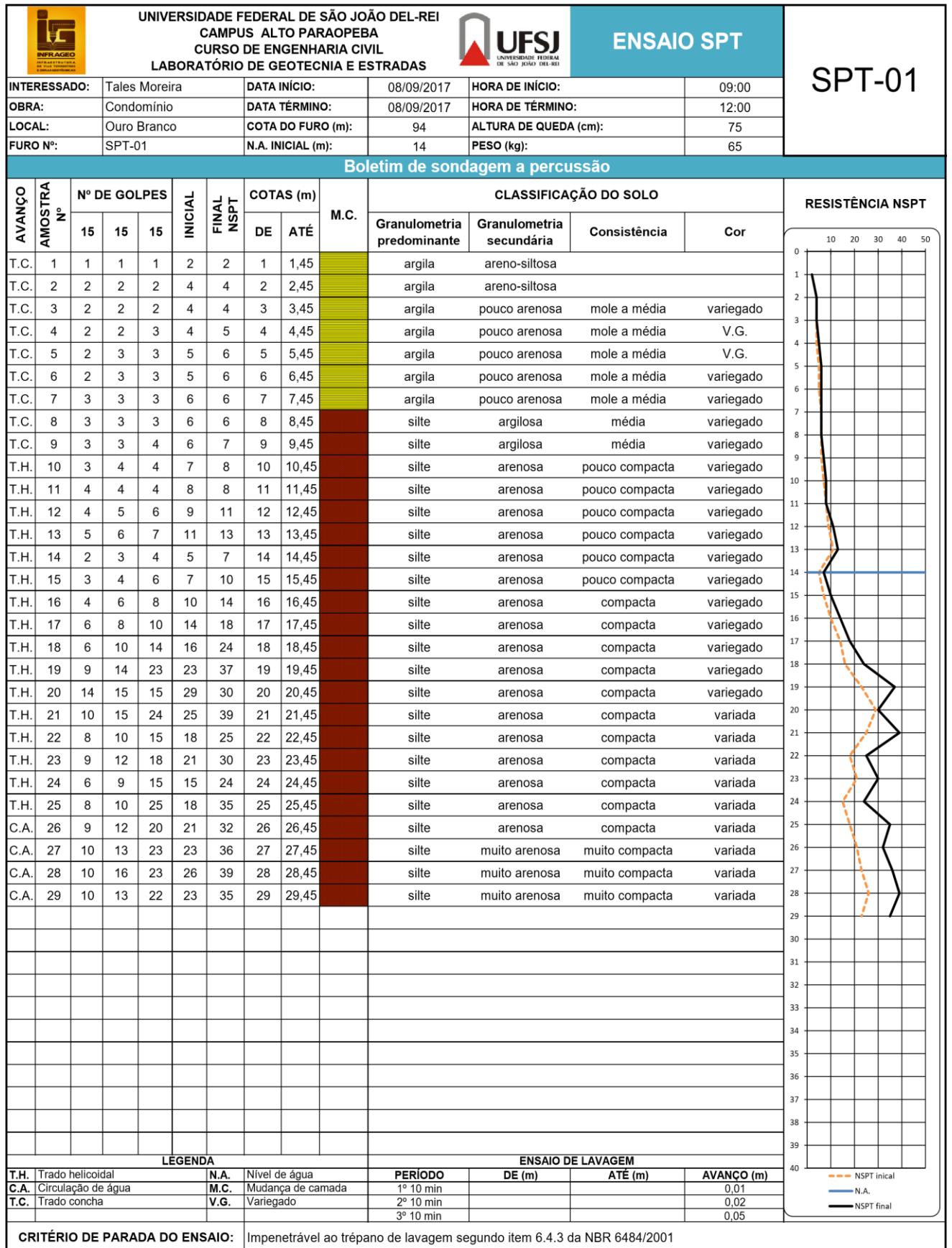
### 5.2.2 Entrada de dados e emissão do relatório do ensaio SPT

Depois de preenchidos os dados do ensaio pelo usuário, como mostram as figuras 11, 12, 13 e 14, este deverá clicar em “CALCULAR” para que os cálculos sejam realizados e os resultados transferidos para o relatório técnico.

Em seguida, basta clicar sobre o botão “RELATÓRIO”. Será aberto uma janela que permitirá ao usuário salvar o relatório em formato pdf. A figura 15 mostra o relatório gerado em formato pdf.



Figura 15 - Boletim de SPT gerado

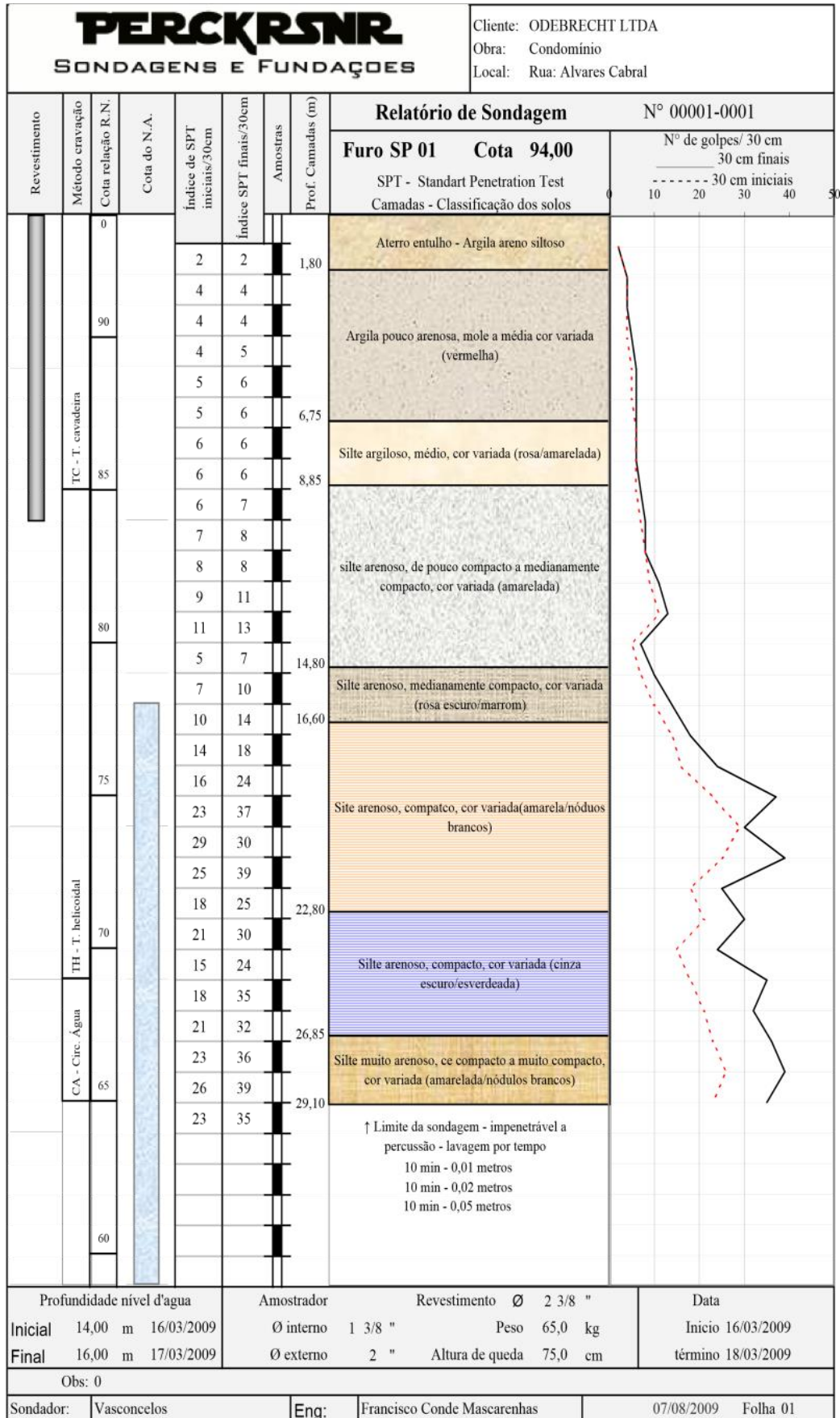


### **5.2.3 Comparativo dos resultados obtidos no SPT**

Para comprovar a confiabilidade do plug-in elaborado, realizou-se a comparação do relatório emitido com um relatório modelo no qual foram utilizados os mesmos dados de entrada.

A figura 16 mostra o relatório modelo para comparação com o relatório emitido através do plug-in mostrado na figura 15. Pode-se notar que o resultado obtido, desconsiderando as diferenças de layout, foi o mesmo para ambos os relatórios, o que demonstra a viabilidade e confiabilidade do plug-in.

Figura 16 - Boletim SPT comparativo



### 5.3 Ensaio PMT

Clicando sobre a opção PMT na tela de seleção dos ensaios, o usuário será direcionado para uma nova janela conforme mostra a figura 17, onde deverá entrar com os dados gerais do ensaio pressiométrico, tais como cliente, local, obra, hora e data do ensaio, bem como dados mais específicos como medidas da aparelhagem, diferença de nível entre a sonda e a Central de Pressão e Volume (CPV) e dados relativos à amostra de solo da cota a ser ensaiada.

Figura 17 - Dados iniciais do ensaio pressiométrico Ménard.

Dados da Obra

Ciente

Interessado: David Melgaço Souza Silva

Obra: Trabalho Conclusão de Curso

Local: UFSJ - CAP

Ensaio

Número: PMT3 Diâmetro interno tubo aço (cm): 6.5 NA:

Diferença de cota - z \*(m): 1.47 Longitude da célula de medição (cm): 21.3 Data: 30/06/2017

Tipo sonda: Telada AP 4mm

\* z = profundidade ensaio + altura da CPV.

Solo

Coeficiente de Poisson: 0.33

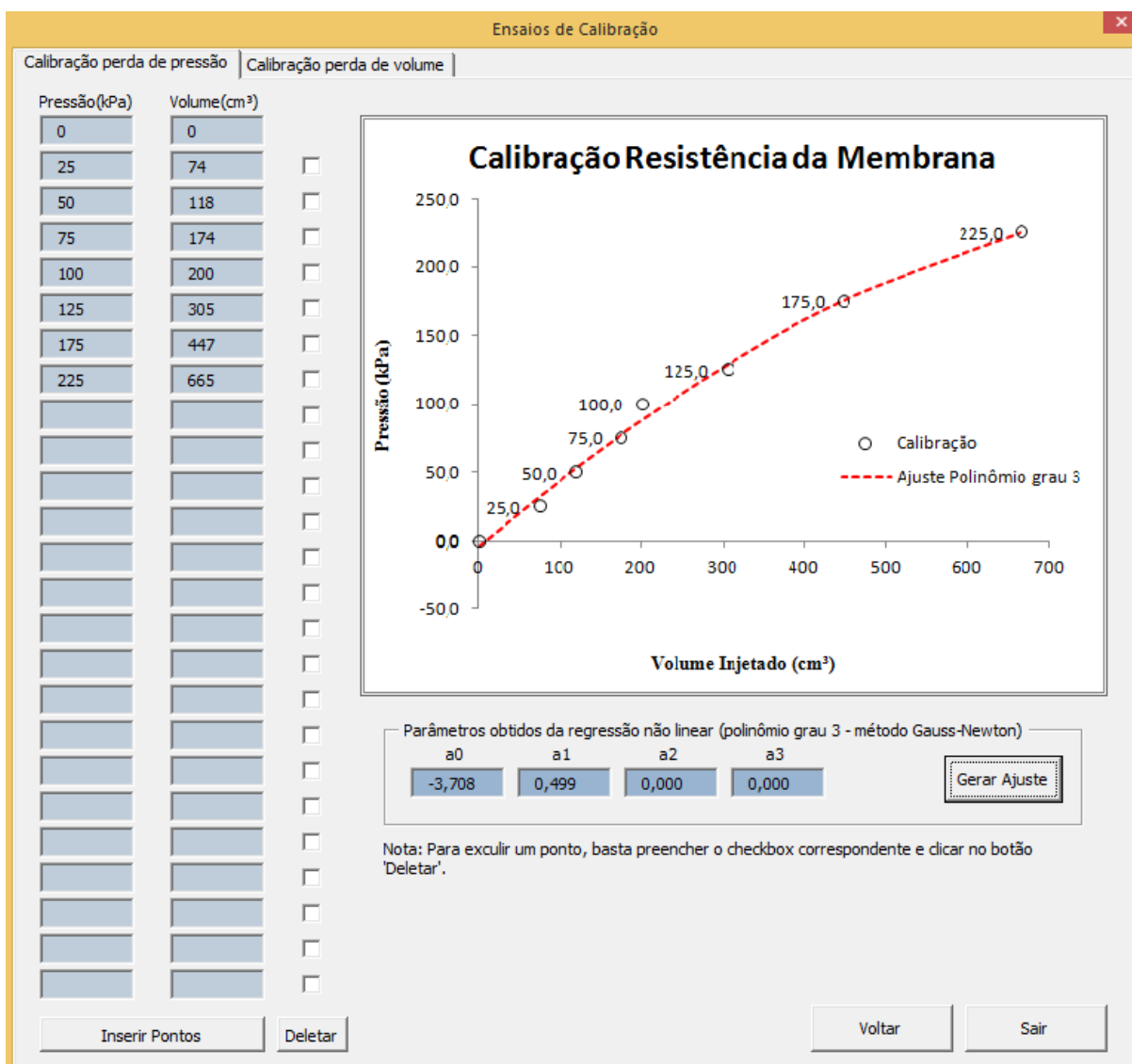
Classificação tátil-visual: TESTE

Voltar Gerar folha de rosto Avançar

Após o usuário preencher os dados da obra e clicar em “Avançar”, será direcionado para a tela da figura 18, onde deverá preencher os dados obtidos em campo dos ensaios de calibração para perdas de pressão (aba 1) ilustrada na figura 18, e calibração para perdas de volume (aba 2) ilustrada na figura 19.

Para o ensaio de calibração para perdas de pressão o usuário deve, após inserir os dados, clicar em “Inserir Pontos” e, logo após, no botão “Gerar Ajuste”, para que o Plug-in faça a regressão com os pontos inseridos e retorne os parâmetros obtidos para o polinômio de terceiro grau.

Figura 18 – Tela de preenchimento dos dados da calibração da membrana

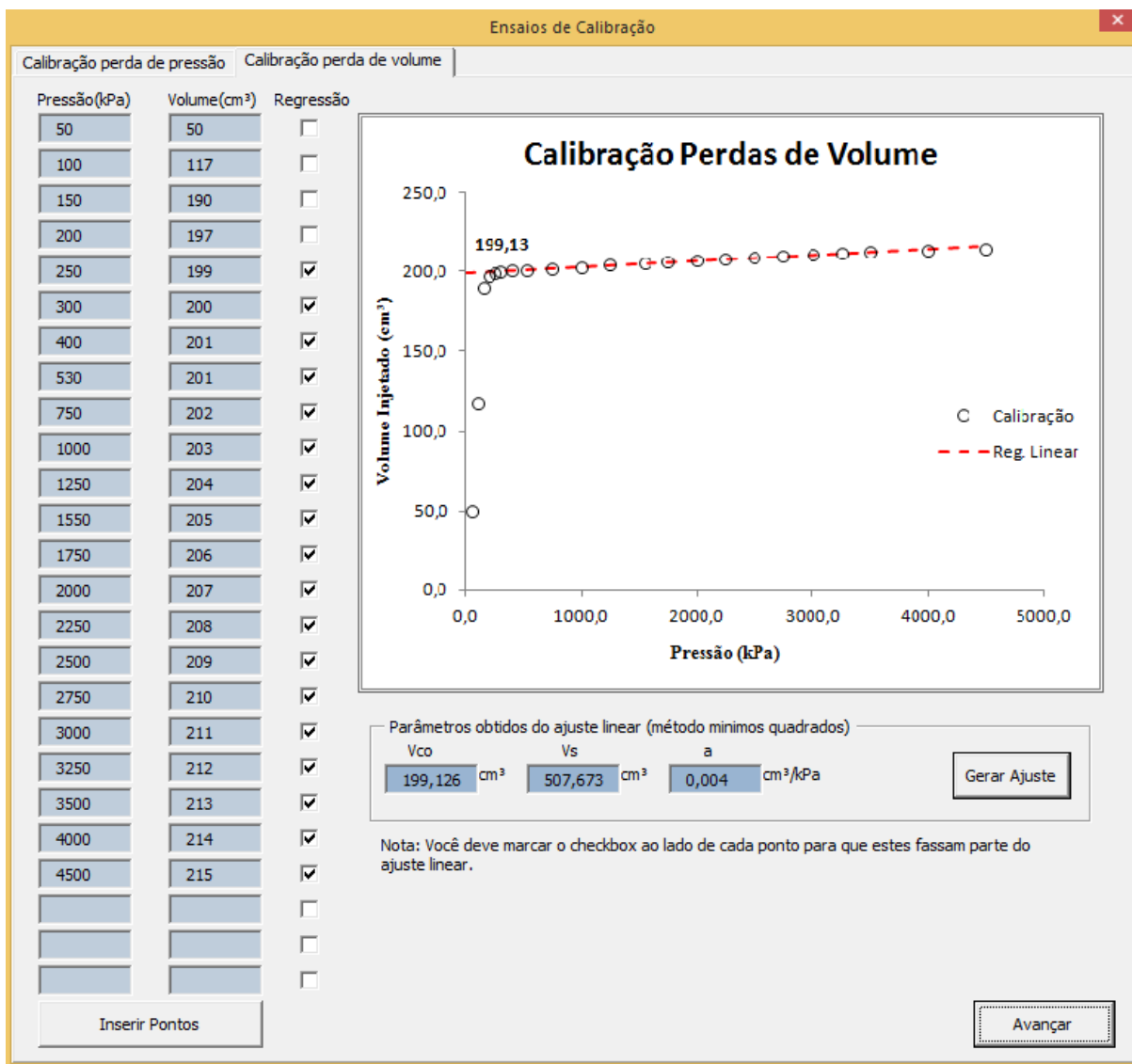


O usuário pode excluir algum ponto a qualquer momento, lembrando-se de gerar um novo ajuste após esse procedimento.

Já para o ensaio de calibração para perdas de volume o usuário deve, após inserir os pontos e clicar em “Inserir Pontos”, selecionar as “checkbox” correspondentes para que esses façam parte do ajuste linear que será gerado após o clique em

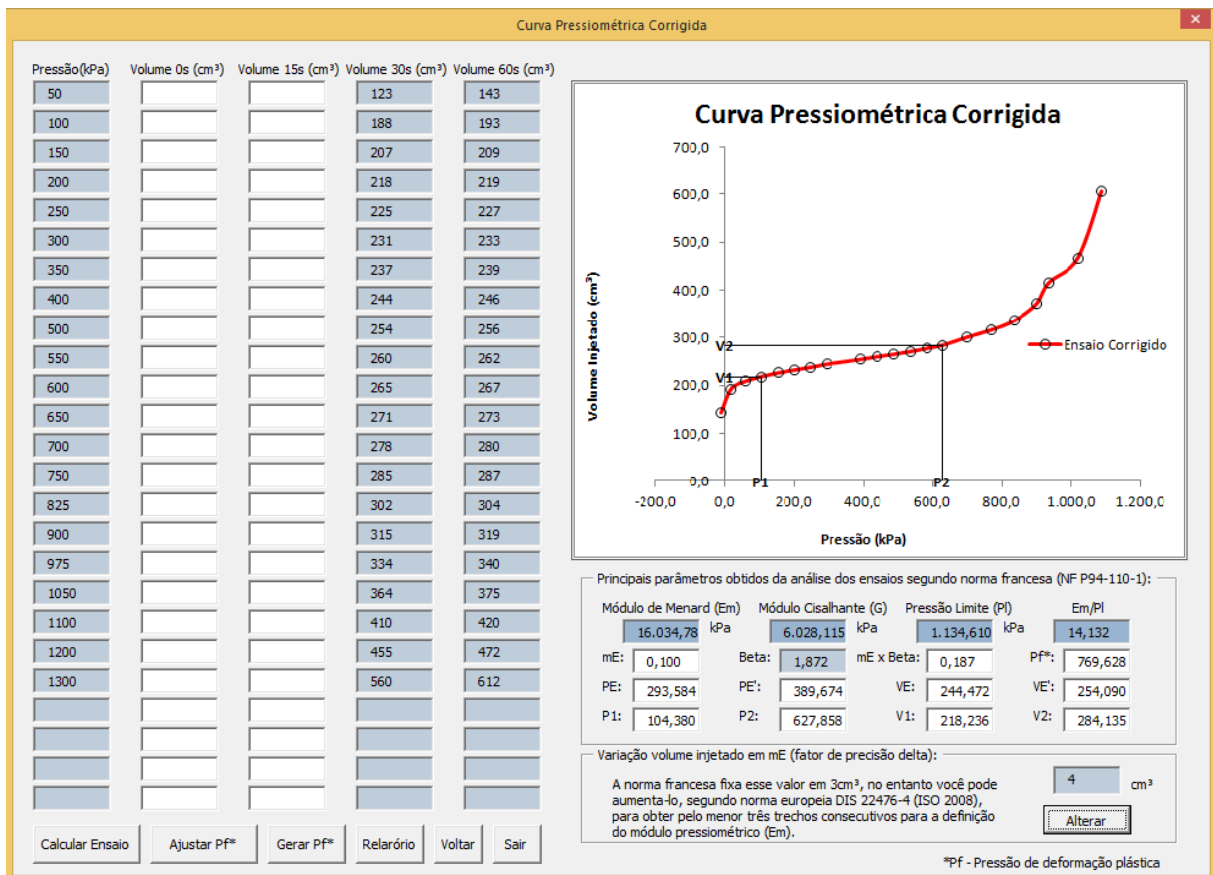
“Gerar Ajuste”. O plug-in retornará os parâmetros obtidos após o processamento dos dados deste ensaio de calibração.

Figura 19 – Tela de preenchimento dos dados da calibração de perdas de volume



Após o usuário clicar em “Avançar”, será direcionado para a tela da figura 20, onde deverá preencher os dados do ensaio pressiométrico propriamente dito.

Figura 20 - Formulário para preenchimentos dos pontos obtidos do ensaio PMT.

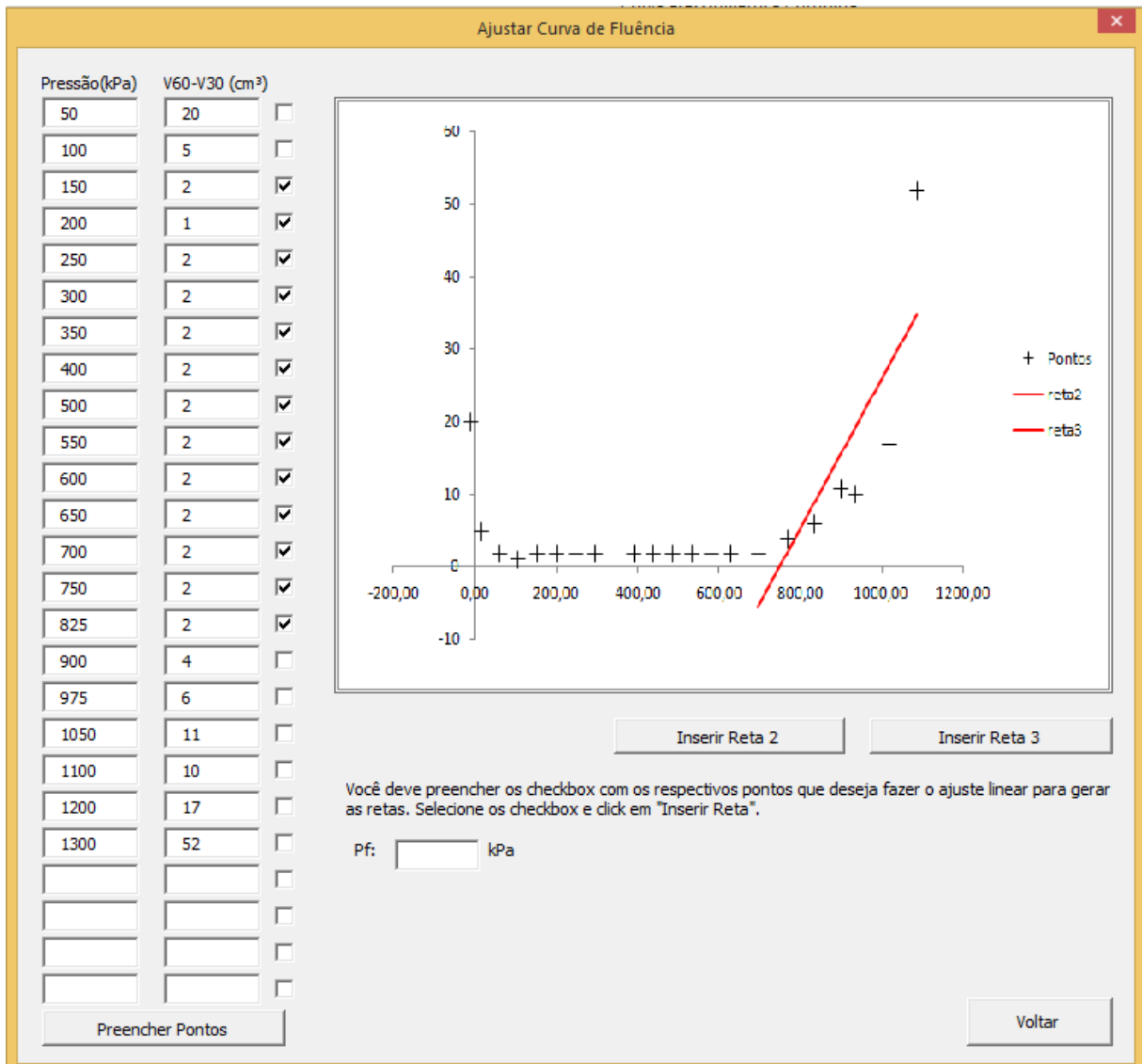


Nesse formulário deve-se entrar com todos os pontos obtidos em campo durante o ensaio e clicar em “Calcular Ensaio”. O plug-in retornará todos os parâmetros calculados a partir dos dados fornecidos.

Para o cálculo da pressão de fluência “ $P_f$ ”, o usuário deve clicar em “Ajustar Pf” para que as retas correspondentes ao trecho elástico e plástico sejam geradas, conforme figura 20. Lembrando que a curva de fluência só é possível de ser traçada quando se dispõe dos valores do volume injetado aos 30 e 60 segundos.

Já na tela da figura 21, o usuário deve selecionar as “checkbox” correspondentes a cada ponto e clicar em “Inserir Reta”. Após as duas retas serem inseridas o plug-in irá gerar o valor da pressão de fluência. Após clicar em “Voltar”, a tela da figura 20 continuará sendo exibida, porém sem o valor de  $P_f$ . Deve-se então clicar em “Gerar Pf”.

Figura 21 - Ajustando curva de fluência





### 5.3.1 Emissão do relatório técnico do ensaio PMT

Depois de preenchidos os dados do ensaio pelo usuário, como mostram as figuras anteriores, basta que o usuário clique sobre o botão "Relatório" e será aberta uma janela que permitirá ao usuário salvar o relatório em formato pdf. As figuras 22 e 23 mostram o relatório gerado pelo plug-in em formato pdf.

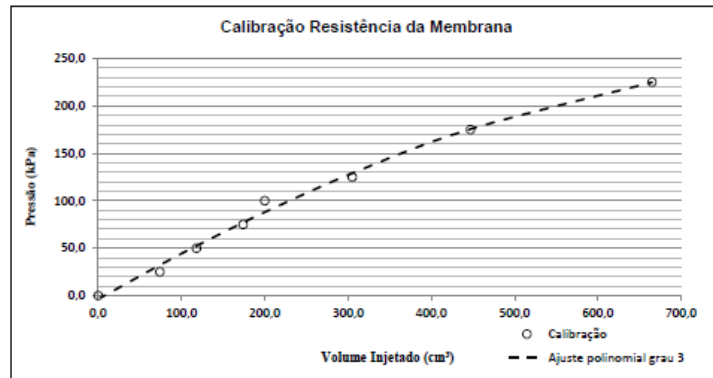


Figura 22 - Boletim PMT gerado (parte 1)

		<b>UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI</b> <b>CAMPUS ALTO PARAÓPEBA</b> <b>CURSO DE ENGENHARIA CIVIL</b> <b>LABORATÓRIO DE GEOTECNIA E ESTRADAS</b>				<b>ENSAIO PMT</b>	
<b>INTERESSADO:</b> David Melgaço Souza Silva				<b>MÉTODO DE PERFURAÇÃO:</b>			
<b>OBRA:</b> Trabalho Conclusão de Curso				<b>TRADO ( )</b>		<b>ROTATIVA ( )</b>	
<b>LOCAL:</b> UFSJ - CAP				<b>SONDA   Vs :</b> 507,7 cm <sup>3</sup>		<b>Tipo:</b> Talada AP 4mm	
<b>FURO:</b> PMT3		<b>DIF. NÍVEL (z):</b> 1,47 m		<b>N.A.:</b> m		<b>DATA:</b> 30/06/2017	

CALIBRAÇÃO PARA PERDAS DE PRESSÃO

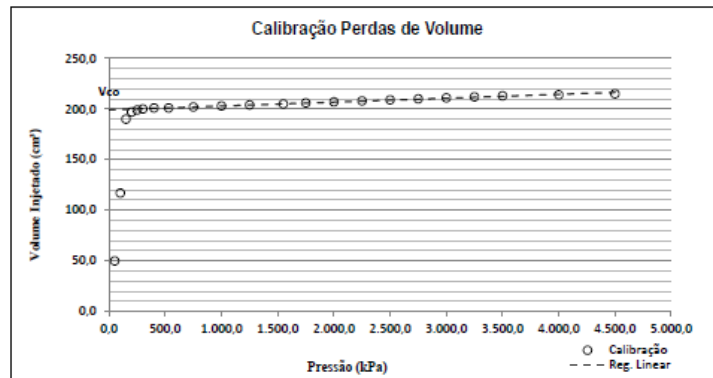
n°	Volinj [cm <sup>3</sup> ]	Pressão [bar]
1		
2	74,000	25,000
3	118,000	50,000
4	174,000	75,000
5	200,000	100,000
6	305,000	125,000
7	447,000	175,000
8	665,000	225,000
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		



OBSERVAÇÕES:



CALIBRAÇÃO PARA PERDAS DE VOLUME

n°	Pressão [bar]	Volinj [cm <sup>3</sup> ]
1	50,000	50,000
2	100,000	117,000
3	150,000	190,000
4	200,000	197,000
5	250,000	199,000
6	300,000	200,000
7	400,000	201,000
8	530,000	201,000
9	750,000	202,000
10	1000,000	203,000
11	1250,000	204,000
12	1550,000	205,000
13	1750,000	206,000
14	2000,000	207,000
15	2250,000	208,000
16	2500,000	209,000
17	2750,000	210,000
18	3000,000	211,000
19	3250,000	212,000
20	3500,000	213,000
21	4000,000	214,000
22	4500,000	215,000
23		
24		
25		

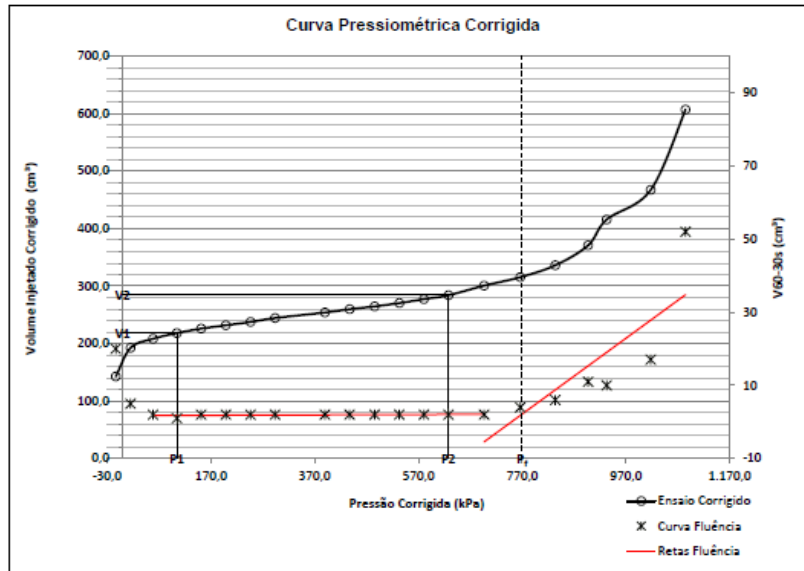


OBSERVAÇÕES:

Figura 23 - Boletim PMT gerado (parte 2)

		<b>UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI</b> <b>CAMPUS ALTO PARAÓPEBA</b> <b>CURSO DE ENGENHARIA CIVIL</b> <b>LABORATÓRIO DE GEOTECNIA E ESTRADAS</b>				<b>ENSAIO PMT</b>	
<b>INTERESSADO:</b> David Melgaço Souza Silva				<b>MÉTODO DE PERFURAÇÃO:</b>			
<b>OBRA:</b> Trabalho Conclusão de Curso				TRADO ( )		ROTATIVA ( )	
<b>LOCAL:</b> UFSJ - CAP				SONDA   Vs : 507,7 cm <sup>3</sup>		Tipo: Talada AP 4mm	
<b>FURO:</b> PMT3		<b>DIF. NÍVEL (z):</b> 1,47 m		<b>N.A:</b> m		<b>DATA:</b> 30/06/2017	

CURVA PRESSIOMÉTRICA CORRIGIDA E PARÂMETROS OBTIDOS DO ENSAIO



OBSERVAÇÕES:

n°	Pressão (kPa)	0s (cm³)	15s (cm³)	30s (cm³)	60s (cm³)	Pc (kPa)	P <sub>corrigida</sub> (kPa)	V <sub>60-30s</sub> (cm³)	V <sub>corrigido</sub> 60s (cm³)
1	50,000			123,000	143,000	83,573	-13,429	20,000	142,809
2	100,000			188,000	193,000	85,046	15,098	5,000	192,618
3	150,000			207,000	209,000	91,679	58,465	2,000	208,427
4	200,000			218,000	219,000	95,764	104,380	1,000	218,236
5	250,000			225,000	227,000	98,999	151,146	2,000	226,045
6	300,000			231,000	233,000	101,405	198,739	2,000	231,854
7	350,000			237,000	239,000	103,794	246,350	2,000	237,663
8	400,000			244,000	246,000	106,560	293,584	2,000	244,472
9	500,000			254,000	256,000	110,471	389,674	2,000	254,090
10	550,000			260,000	262,000	112,794	437,350	2,000	259,999
11	600,000			265,000	267,000	114,717	485,428	2,000	264,708
12	650,000			271,000	273,000	117,008	533,136	2,000	270,517
13	700,000			278,000	280,000	119,659	580,485	2,000	277,326
14	750,000			285,000	287,000	122,286	627,858	2,000	284,135
15	825,000			302,000	304,000	128,565	696,579	2,000	300,848
16	900,000			315,000	319,000	133,985	766,159	4,000	315,562
17	975,000			334,000	340,000	141,382	833,762	6,000	336,275
18	1050,000			364,000	375,000	153,205	898,940	11,000	370,989
19	1100,000			410,000	420,000	167,453	932,691	10,000	416,798
20	1200,000			455,000	472,000	182,541	1017,803	17,000	467,416
21	1300,000			560,000	612,000	215,413	1094,732	52,000	607,034
22									
23									
24									
25									

PARÂMETROS OBTIDOS DO ENSAIO (segundo norma francesa NF P94-110-1):

P1(kPa)	V1(cm³)	P2(kPa)	V2(cm³)	P <sub>1</sub> (cm³)	P <sub>r</sub> (kPa)	G(kPa)	E <sub>w</sub> (kPa)	E <sub>w</sub> /P <sub>1</sub>	ΔV/V <sub>0</sub>
104,380	218,236	627,858	284,135	1152,999	944,145	6028,115	16034,785	14,132	4,283

Classificação Tátil-Visual:

### 5.3.2 Comparativo dos resultados obtidos no PMT

Para comprovar a confiabilidade do plug-in elaborado, realizou-se a comparação do relatório emitido com um exemplo de cálculo de ANGELIM (2011), PMT3 – Cota 745,5 m, no qual foram utilizados os mesmos dados de entrada. O relatório emitido pelo plug-in desenvolvido por esse trabalho também foi comparado ao relatório emitido pelo plug-in comercial Shg Ménard da plataforma geotécnica gratuita Elk®, da Sharpergeo, que disponibilizou a Universidade Federal de São João Del-Rei sua licença para fins científicos. O figura 24 mostra o relatório gerado pelo software Elk® da Sharpergeo, e ANGELIM (2011) disponível na bibliografia, ambos para comparação com o relatório emitido através do plug-in desenvolvido no presente trabalho.

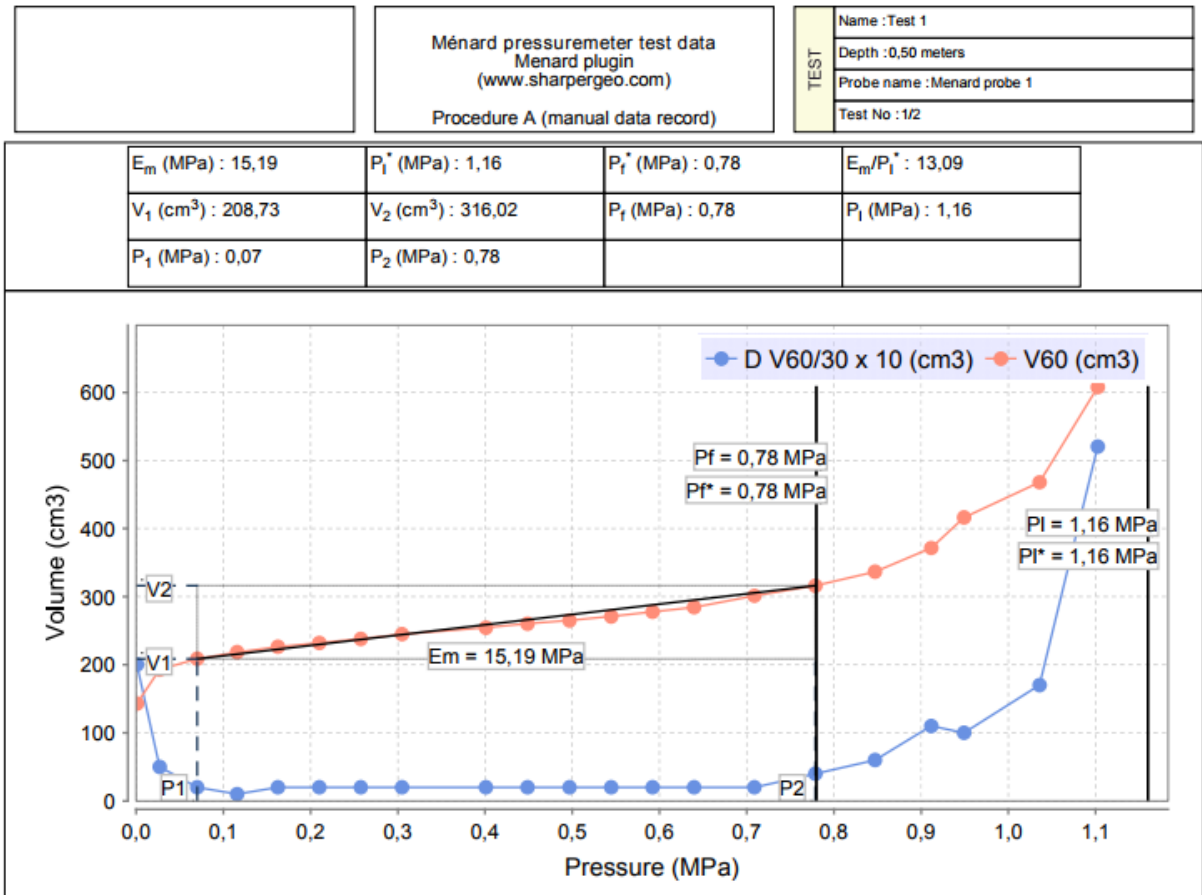
A tabela 1 mostra um resumo do comparativo entre os três resultados, onde se pode observar o erro relativo de cada método em relação aos cálculos de ANGELIM (2011).

Tabela 1 – Valores dos parâmetros obtidos relatórios PMT e erro relativo.

Parâmetros	ANGELIM (2011)	Plug-in InfraGeo		Shg Ménard	
	Valor parâmetro	Valor parâmetro	Erro relativo (%)	Valor parâmetro	Erro relativo (%)
<b>V<sub>1</sub> (cm<sup>3</sup>)</b>	218	218,23	0,11	208,73	4,25
<b>P<sub>1</sub> (kPa)</b>	119	104	12,61	70	41,18
<b>V<sub>2</sub> (cm<sup>3</sup>)</b>	284	284,13	0,05	316,02	11,27
<b>P<sub>2</sub> (kPa)</b>	643	628	2,33	780	21,31
<b>P<sub>f</sub> (kPa)</b>	780	770	1,28	780	0
<b>P<sub>L</sub> (kPa)</b>	1.160,00	1.135,0	2,59	1.160,0	0
<b>E<sub>M</sub> (kPa)</b>	16.050,0	16.034,0	0,10	15.190,0	5,36
<b>E<sub>M</sub>/P<sub>L</sub></b>	13,88	14,13	1,80	13,09	5,69

A figura 24 mostra o boletim modelo para comparação com o relatório emitido através do plug-in. Pode-se notar que o resultado obtido, desconsiderando as diferenças de layout, foi o mesmo para ambos os relatórios, o que demonstra a viabilidade e confiabilidade do plug-in.

Figura 24 - Relatório PMT do plug-in Shg Ménard, Elk® usado para comparativo



## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O Plug-in desenvolvido neste trabalho atendeu os objetivos propostos demonstrando praticidade e precisão nos resultados obtidos. Desta forma, pode-se notar que o mesmo é uma ferramenta que pode auxiliar o engenheiro civil que busca maior eficiência e qualidade na elaboração de projetos.

A programação em VBA se mostrou relativamente fácil e prática se comparada a outras linguagens de programação. A gama de possibilidades que o VBA oferece para o ramo da engenharia é enorme e pode ser mais bem explorado.

Este Plug-in é apenas o primeiro passo, visto que abrange apenas os ensaios SPT e PMT, de implementações futuras que permitam o cálculo automatizado de outros ensaios geotécnicos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFNOR (2000) Association Française de Normalisation. Norme française. **NF P 94-110-1**: Sols: reconnaissance et essais. Essai pressiométrique Ménard. Partie 1: Essai sans cycle. AFNOR, La Plane Saint-Denis, France, 43 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR6484**: Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio, Rio de Janeiro, 2001.

ASTM – American Society for Testing Materials. **ASTM D 4719 – 87 (1994) – Standart Test Method for Prebored Pressuremeter Testing in Soils**. In: Anual Book of ASTM Standards, vol 04.08.

ANDRADE, Ricardo, F. de. **Mapeamento geotécnico preliminar em escala semidetalhe (1:25.000) da área de expansão urbana de Uberlândia-MG**. 2005. 132 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2005.

ANGELING, R.A. (2011). **Desempenho de Ensaio Pressiométricos em Aterros Compactados de Barragens de Terra na Estimativa de Parâmetros Geotécnicos**. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-067-1/11, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 291 p.

ARAUJO, S. P. M. **O ensaio pressiométrico de Ménard e sua utilização na estimativa da capacidade de carga e recalque de fundações assentes em solo residual de gnaiss**. 2001. 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2001.

BAGUELIN, F., JÉZÉQUEL, J.F., SHIELDS, D.H. (1978) **The Pressuremeter and Foundation Engineering**. Trans Tech Publications S.A., 617 p.

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos Solos e suas aplicações. Fundamentos Volume 1**. 6ª edição. LTC- Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A., 1988.

CAMPOS, L.E.P.; SILVA, A.S. **LabGeo um programa de gerenciamento, cálculo e emissão de relatório para laboratórios de mecânica dos solos.** In: XVI CONGRESO ARGENTINO DE MECÂNICA DE SUELOS E INGENIERÍA GEOTÉCNICA (XVI CAMSIG), Patagônia, Argentina, 2002.

CHAPRA, STEVEN C. **Métodos numéricos para engenharia / Steven C. Chapra, Raymond P. Canale;** Tradução técnica: Helena Castro. – 5. ed. – São Paulo: McGraw-Hill, 2008.

DAS, B. M. **Fundamentos de engenharia geotécnica.** Tradução da 7ª edição norte-americana. Editora Cengage Learning, São Paulo, 2011.

EBERSPÄCHER, H.F.; FORBELLONE, A.L.V. **Lógica de Programação: a construção de algoritmos e estrutura de dados.** 3ª edição. Editora Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2005.

FONTELES, H.R.N. (2003). **Caracterização geotécnica do subsolo da porção nordeste do Município de Fortaleza (CE) com base em Geoestatística.** 2003. 146 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em: [www.eesc.usp.br/geopos/dissertes/fonteles.pdf](http://www.eesc.usp.br/geopos/dissertes/fonteles.pdf)

ISO – International Standards Organization. **ISSO/DIS 22476-4 – Geotechnical investigation and testing – Field testing – Part 4: Ménard pressuremeter test.**

MAIR, R.J. & WOOD, D.M. (1987). **Pressuremeter Testing: Method and Interpretation.** Butterworths/CIRIA, London, 160 p.

MATOS, L.R. **Softwares para Engenharia Civil.** Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil da Universidade Anhembi Morumbi, 2009.

MENDONÇA, H.M.X. **Sobre a modelagem de problemas da engenharia geotécnica pelo método dos elementos finitos**. Dissertação apresentada á Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do Título de Mestre em Engenharia. São Paulo, 2005.

MOTA, N.M.B. (2003). **Ensaio Avançado de Campo na Argila Porosa Não Saturada de Brasília: Interpretação e Aplicação em Projetos de Fundação**. Tese de Doutorado, Dep. De Engenharia Civil e Ambiental da UnB. Brasília. 336p.

ORTIGÃO, J.A.R. **Introdução á Mecânica dos Solos dos Estados Críticos**. 3ª edição, 2007.

PINTO, C.S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3ª edição. Editora Oficina de Textos, São Paulo, 2006.

QUARESMA, A.R.; DÉCOURT, L.; QUARESMA FILHO, A.R.; ALMEIDA, M.S.S.; DANZIGER, F. *Investigações Geotécnicas*. In: HACHICH, W.; FALCONI, F.F.; SAES, JL.; FROTA, R.G.Q.; CARVALHO, C.S.; NIYAMA, S. (org.). **Fundações: Teoria e Prática**. 2ª edição. Editora Pini, São Paulo, 1998.

ROCHA, A.P.; TAMAKI, L. **Terreno crítico**. Técnica, Pini, ed.172. Julho/2011. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/172/terreno-critico-analise-das-caracteristicas-do-solo-define-melhor-285880-1.aspx>>. Acesso em: 13 ago. 2017.

SCHNAID, F. **Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia fundações**. Editora Oficina de Textos, São Paulo, 2000.

SILVA, A. **Programação em VBA- Texto Introdutório**. Instituto Superior de Engenharia do Porto, Departamento de Engenharia informática, 2009.