

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**APLICAÇÃO DA LÓGICA *FUZZY* NO CONTROLE DO
DESEMPENHO DE ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA**

MYLANE VIANA HORTEGAL

ORIENTADOR: ANDRÉ LUÍS BRASIL CAVALCANTE, DSc

COORIENTADOR: CARLOS MEDEIROS SILVA, DSc

TESE DE DOUTORADO EM GEOTECNIA

PUBLICAÇÃO: G.TD-126/16

BRASÍLIA / DF: 17 DE OUTUBRO DE 2016

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**APLICAÇÃO DA LÓGICA *FUZZY* NO CONTROLE DO
DESEMPENHO DE ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA**

MYLANE VIANA HORTEGAL

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR.

APROVADA POR:

**ANDRÉ LUÍS BRASIL CAVALCANTE, DSc (UnB)
(ORIENTADOR)**

**CARLOS MEDEIROS SILVA, DSc (EMBRE)
(COORIENTADOR)**

**JOSÉ CAMAPUM DE CARVALHO, DSc (UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**JUAN FELIX RODRIGUEZ REBOLLEDO, DSc (UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**NELSON AOKI, DSc (USP)
(EXAMINADOR EXTERNO)**

**MAURÍCIO MARTINES SALES, DSc (UFG)
(EXAMINADOR EXTERNO)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 17 de OUTUBRO de 2016.

FICHA CATALOGRÁFICA

HORTEGAL, MYLANE VIANA

Aplicação da Lógica *Fuzzy* no Controle do Desempenho de Estacas Hélice Contínua. [Distrito Federal] 2016.

xviii, 157p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Doutor, Geotecnia, 2016)

Tese de Doutorado - Universidade de Brasília.

Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

1. Controle de Desempenho

2. Lógica *Fuzzy*

3. Estaca Hélice Contínua

4. Modelagem Analítica

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

HORTEGAL, M.V. (2016). Aplicação da Lógica *Fuzzy* no Controle do Desempenho de Estacas Hélice Contínua. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-126/2016, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 157 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DA AUTORA: Mylane Viana Hortegal

TÍTULO DA TESE DE DOUTORADO: Aplicação da Lógica *Fuzzy* no Controle do Desempenho de Estacas Hélice Contínua

GRAU / ANO: Doutor / 2016

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito da autora.

Mylane Viana Hortegal

Rua 8 Quadra 38 Casa 18 Conjunto Ipem São Cristóvão

65056-020 – São Luís/MA - Brasil

mylahortegal@hotmail.com

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e meus irmãos

“Se considerarmos as dificuldades sem possibilidade de solução, como se elas nos pusessem contra a parede, podemos chegar ao desespero, mas se as encararmos calmamente e em atitude de prece, entenderemos as suas causas e poderemos encontrar as suas respectivas soluções”
(Meishu-Sama).

AGRADECIMENTOS

Gostaria de deixar registrada a minha gratidão e não agradecimentos, a algumas pessoas que fizeram parte da minha vida durante a elaboração deste trabalho. Pessoas que não deixaram eu largar o doutorado mesmo com todos os acontecimentos, pessoas que me apoiaram, me puxaram a orelha, me incentivaram, me ajudaram e principalmente, estiveram me dando força e alegrias para que eu pudesse concretizar meu sonho.

Como dizia Ayrton Senna: “Somos insignificantes. Por mais que você programe sua vida, a qualquer momento tudo pode mudar”. Programei, e tudo mudou, mas após a *fuzzificação* da minha vida ter dado certo, tive certeza que a da minha tese TAMBÉM daria!!!

Assim, deixo a minha gratidão:

À Deus, em primeiro lugar, pelas bênçãos recebidas, pela realização e pela força para que eu pudesse concluir este trabalho.

Aos meus pais, José Hortegal e Marister, por serem meus alicerces e exemplos, grata pelo amor, apoio, dedicação, por todas as orientações e palavras de estímulo em todos os momentos, principalmente por entenderem a minha ausência e por estarem sempre comigo, mesmo nos momentos mais difíceis que passei. Obrigada de coração por tudo!

Aos meus irmãos, Elane, por ser meu guia e exemplo para os estudos, pelo carinho, amizade, por sempre me apoiar em tudo, e por estar ao meu lado me dando força e me aconselhando quando eu mais precisei; e Sansão, por todo o carinho, pelos auxílios, amizade, apoio, por acreditar em mim e por sempre estar ao meu lado mesmo sem falar nada, apenas orando para que eu pudesse me fortalecer.

Ao meu cunhado, Gabriel, por se preocupar comigo, pela amizade, pelo apoio e tentativas de me fazer sorrir quando precisei, por sempre fazer com que eu me sentisse bem e feliz.

Às minhas avós, Maria Isabel (*in memoriam*) e Maria do Socorro, por todo carinho, pelas orações e fé.

Aos meus tios, Socorro, Carlos, Conceição por toda torcida.

À Leila, por toda a ajuda que precisei desde que cheguei à Brasília, por me adotar como prima, por sempre se preocupar, torcer e querer o melhor para mim.

Ao meu orientador, professor André Brasil, primeiramente por ter aceitado me orientar em um tema não afim da sua linha de pesquisa. Se hoje eu consegui finalizar foi devido à sua persistência. Obrigada por não ser apenas um professor, mas um amigo que me ajudou nos momentos que precisei, me auxiliou, me aconselhou com seus ensinamentos e sábias palavras

que sempre mostravam que Deus está ao nosso lado e que devemos sempre confiar Nele, pois Ele sempre guarda coisas boas para a gente. Agradeço pela paciência no período de orientação, compreensão em todos os momentos e por submeter-me à inúmeras reflexões, e claro pelas risadas. Sou eternamente grata por tudo. Muito Obrigada!

Ao meu coorientador, Carlos Medeiros Silva, por toda a ajuda durante toda a etapa de campo e pelas discussões. Agradeço o apoio e desculpas por qualquer ausência em algumas fases dessa tese.

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Geotecnia pelo conhecimento transmitido para a minha formação profissional e contribuições para esta tese. Em especial ao professor Camapum por ter iniciado como meu orientador, por todo o auxílio, amizade, carinho desde a época do mestrado, e inúmeras reflexões a que me submeteu sobre a geotecnia.

À EMBRE – Empresa Brasileira de Engenharia e Fundações, na pessoa do engenheiro Carlos Medeiros Silva, pela disponibilização dos dados das obras para a realização dessa tese. Deixo também um agradecimento aos operadores dos maquinários de EHC pela alegria, disposição e cuidado na realização da medição da pressão arterial, para que nada viesse a dar errado no controle realizado.

À Empresa Sonda Engenharia, na pessoa do engenheiro Mathias, pela disponibilização dos dados da obra para a realização dessa tese.

Aos amigos Cleber, por sempre me apoiar, me aconselhar, por tentar me animar quando eu precisei, por acreditar em mim e por não me deixar desistir; a Guilherme e Patrícia por me ajudarem e me apoiarem no meu momento de maior dificuldade, por não me deixarem desistir, pelo apoio de pai e mãe. Sou grata a vocês por tudo.

Aos amigos que criei no DNIT, Rafaela, Alexandre Santos, Diêgo Almeida (obrigada pela revisão no texto), Eider, Thiago Pitombeira, Estevão, José Carvalho, Allan, Isabella, pelos momentos de alegria e por sempre torcerem por mim.

Aos amigos do grupo de pesquisa pelas dicas, em especial ao Lucas pela ajuda na geração dos algoritmos das superfícies e da programação e, a Renata pelo apoio e conselhos dados.

As minhas amigas Lorena, Mariana e Nahara pela amizade, companheirismo, diversão, gargalhadas e por sempre torcerem por mim.

À Leilane e seus Pais por sempre querer o melhor para mim. Ao Tony pela ajuda no levantamento dos dados dos estaqueamentos e ao Daryn pela ajuda na coleta dos dados das obras. À Cida e a Adriana pela colaboração em tudo que precisei por parte da Secretaria.

E, a CAPES pelo apoio financeiro.

RESUMO

APLICAÇÃO DA LÓGICA *FUZZY* NO CONTROLE DO DESEMPENHO DE ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA

Atualmente, a grande maioria das obras de fundações utilizam estacas hélice contínuas em sua execução devido à agilidade e alta produtividade. Devido a tais benefícios, estas se tornaram o principal tipo de fundação profunda utilizada. Contudo, este tipo de fundação ainda apresenta variáveis subjetivas que necessitam ser melhor estudadas a fim de garantir a confiabilidade na execução e na qualidade dos estaqueamentos. Desta forma, faz-se necessário atentar para a metodologia executiva desse tipo de estaqueamento e, principalmente, para os parâmetros obtidos durante a execução das estacas hélice contínua, pois a falta de controle pode acarretar problemas no desempenho das estacas, além da perda da capacidade de carga dessas estacas. Assim, a lógica *fuzzy* no controle dos estaqueamentos se apresenta como um elemento importante na automação de processos, permitindo a criação de sistemas especialistas em controles inteligentes. Para isso, propõe-se neste trabalho um estudo analítico a partir do modelo proposto por Perko, em 2009, e adaptado nesta tese, através da utilização de um sistema computacional que combina manipulação simbólica, cálculo numérico, cálculo gráfico e uma sofisticada linguagem de programação, através do programa Wolfram Mathematica[®]. Também se propõe o desenvolvimento de um sistema inteligente baseado em Lógica *fuzzy*, desenvolvido com a utilização do software MATLAB[®], com a finalidade de controlar o desempenho de estacas hélices contínua. Com a utilização de variáveis tais como a energia de instalação da estaca, a velocidade de perfuração, torque de execução, resistência do solo e superconsumo de concreto, combinados ou não com dados biométricos como a variação de pressão arterial média do operador, foram definidos os dados de entrada e saída com suas respectivas regras. Os dados para o presente trabalho foram obtidos a partir de três casos de obras em que os maquinários dispunham de instrumentação e total controle dos parâmetros executivos. As regras foram portanto, elaboradas a partir das leituras obtidas em campo através de entrevistas com os operadores das perfuratrizes e, a partir da experiência de engenheiros executores de EHC. A partir do sistema inteligente desenvolvido com base na técnica da lógica *fuzzy* e do modelo analítico proposto, foi possível entender o comportamento do estaqueamento quando da análise de cada parâmetro de entrada junto ao de saída de modo isolado, visando garantir a eficácia no controle do estaqueamento realizado, além de perceber a influencia do operador durante o processo executivo da EHC.

ABSTRACT

FUZZY LOGIC APPLIED TO CONTROL THE PERFORMANCE OF CONTINUOUS FLIGHT AUGER

Currently, the vast majority of foundations works using continuous flight auger in implementation due to the agility and high productivity. Because of these benefits, these have become the main type of deep foundation used. However, this type of foundation still has subjective variables that need to be better studied in order to ensure reliability in the performance and quality of piling. Thus, it's necessary to consider the executive methodology of this type of pile and especially the parameters obtained during the execution of continuous flight auger, because the lack of control eventually leads to problems in the performance piles, beyond the carrying capacity loss these piles. Thus, *fuzzy* logic in control of piling presents itself as an important element in the process automation, enabling the creation of expert systems in intelligent controls. For this, it's proposed in this work an analytical study from the model proposed by Perko, in 2009, and adapted in this thesis, through use of a computer system that combines symbolic manipulation, numerical calculation, chart calculation and a sophisticated programming language, by Wolfram Mathematica[®] program. It also propose the development of an intelligent system based on *fuzzy* logic, using the software MATLAB[®], in order to control the performance of continuous flight auger. From the use of variables such as the installation energy of pile, as drilling speed, running torque, soil resistance and concrete overconsumption, combined or not with biometric data such as the change in average blood pressure of the operator, the input and output data with the respective rules were defined. The data for this study were obtained from three cases of works in which the machinery had instrumentation and full control of the executive parameters. The rules were therefore drawn from the readings obtained in the field through interviews with operators of drills, and from the experience of performers engineers in EHC. From the intelligent system developed based on *fuzzy* logic technique and the proposed analytical model, it was possible to understand the pile behavior when analyzing each input parameter together when output isolation, to ensure effective in controlling performed pile, and realize the influence operator during the executive process of EHC.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	MOTIVAÇÃO	2
1.2	OBJETIVO DA PESQUISA	3
1.3	ESCOPO DA TESE	3
2.	ESTACA HÉLICE CONTÍNUA: ESTADO DA ARTE	5
2.1	EQUIPAMENTOS.....	8
2.2	IMPORTÂNCIA DO TORQUE	11
2.3	INFLUÊNCIA DO PASSO DA HÉLICE NA CAPACIDADE DE CARGA	14
2.4	CONTROLE DE ESTAQUEAMENTO	15
	2.4.1 OBTENÇÃO DA CAPACIDADE DE CARGA POR TORQUE	20
	2.4.2 INFLUÊNCIA DO OPERADOR NA EXECUÇÃO DE EHC	23
2.5	LÓGICA <i>FUZZY</i>	26
	2.5.1 OPERADORES <i>FUZZY</i>	31
	2.5.2 MODELOS.....	31
	2.5.2.1 <i>MODELO MAMDANI</i>	32
	2.5.2.2 <i>MODELO SUGENO</i>	33
	2.5.3 FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA	34
2.6	APLICAÇÃO DA LÓGICA <i>FUZZY</i>	37
3.	METODOLOGIA	39
3.1	REALIZAÇÃO DE ENSAIO DE CAMPO COM MEDIÇÃO DE PRESSÃO ARTERIAL	39
3.2	ESCOLHA DAS VARIÁVEIS LINGUÍSTICA DE ENTRADA E SAÍDA.....	43
3.1	DEFINIÇÃO DAS REGRAS <i>FUZZYFICAÇÃO</i>	45
3.2	ELABORAÇÃO DO SISTEMA INTELIGENTE	45
3.3	VALIDAÇÃO DOS ENSAIOS DE CAMPO POR MEIO DE SOLUÇÃO ANALÍTICA	51
3.4	VALIDAÇÃO DOS ENSAIOS DE CAMPO POR MEIO DO SISTEMA INTELIGENTE.....	54
3.5	APLICAÇÃO DO SISTEMA INTELIGENTE EM PROJETOS DE ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA.....	54

4.	CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO ANALÍTICO E DO SISTEMA INTELIGENTE.....	56
4.1	CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MÉTODO ANALÍTICO.....	57
4.1.1	OBRA A: SIA TRECHO 5, LOTES 10 A 60, BRASÍLIA-DF.....	57
4.1.2	OBRA B: SIA TRECHO 1, LOTE 780, BRASÍLIA-DF.....	59
4.1.3	OBRA C: AVENIDA ARARUAMA, NO. 155, PARQUE HOTEL, RIO DE JANEIRO-RJ.....	62
4.2	CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO SISTEMA INTELIGENTE.....	64
4.2.1	ENERGIA TOTAL DE INSTALAÇÃO.....	64
4.2.2	CAPACIDADE DE CARGA ADMISSÍVEL DA ESTACA.....	65
5.	SISTEMA DE CONTROLE DE QUALIDADE DE ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA.....	67
5.1	ANÁLISE PARAMÉTRICA DO MODELO ANALÍTICO.....	67
5.1.1	ENERGIA TOTAL DE INSTALAÇÃO.....	67
5.1.2	FORÇA DESCENDENTE.....	69
5.1.3	CAPACIDADE DE CARGA ADMISSÍVEL DA ESTACA.....	71
5.2	DIRETRIZES PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE CONTROLE DE ESTACA HÉLICE CONTÍNUA.....	74
5.2.1	ENERGIA TOTAL DE INSTALAÇÃO.....	74
5.2.2	CAPACIDADE DE CARGA ADMISSÍVEL DA ESTACA.....	76
6.	CONCLUSÕES.....	80
6.1	RECOMENDAÇÕES FUTURAS.....	83
	APÊNDICE A – DEFINIÇÃO DAS REGRAS FUZZY PELOS ESPECIALISTAS.....	90
	ANEXO A – LAUDOS DE SONDAGEM.....	128
	APÊNDICE B – CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA ADMISSÍVEL.....	150

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – (a) Estacas em faróis; (b) Detalhe da estaca helicoidal (modificado - Perko, 2009)	5
Figura 2.2 – Primeira estaca hélice criada por Dyche (Perko, 2009).....	6
Figura 2.3 – Sistema de monitoramento (Modificado - www.geodigitus.com.br)	9
Figura 2.4 – (a) Detalhamento dos pontos de localização dos sensores, (b) Computador de bordo (Sistema SACI)	10
Figura 2.5 – Exemplo de relatório de monitoramento de uma estaca	10
Figura 2.6 – Relação empírica da razão capacidade / torque (modificado - Perko, 2009)	12
Figura 2.7 – Pino indicador de cisalhamento (Perko, 2009)	12
Figura 2.8 – Exemplo de relação torque-pressão do fabricante (modificado - Perko, 2009) .	13
Figura 2.9 – Espaçamento entre hélice: (a) Grande, (b) Pequeno (Perko, 2009).....	14
Figura 2.10 – Analogia entre: (a) Parafuso de Força e (b) Estaca Helicoidal (Tshua, 2007 - modificado)	16
Figura 2.11 – Medição da pressão sanguínea: (a) Sístole, (b) Diástole (modificado ¹).....	25
Figura 2.12 – Exemplo de perfil de estacas: (a) Sem concreto; (b) Totalmente concretada; (c) Concretagem com medida variada	28
Figura 2.13 – Modelo triangular (Gabriel Filho <i>et al.</i> , 2012)	29
Figura 2.14 – Estrutura Básica de um Controlador <i>Fuzzy</i>	30
Figura 2.15 – Procedimento geral da inferência Mamdani (modificado - Alvino, 2003).....	33
Figura 2.16 – Função de pertinência triangular	34
Figura 2.17 – Função de pertinência trapezoidal	35
Figura 2.18 – Função de pertinência gaussiana	36
Figura 3.1 – Esquema Metodológico	40
Figura 3.2 – Obra A: Trecho 5, Lotes 10 a 60 - Brasília-DF	41
Figura 3.3 – Obra B: Trecho 1, Lote 780 - Brasília-DF.....	41
Figura 3.4 – Obra C: Avenida Araruama, No. 155, Parque Hotel – Rio de Janeiro - RJ	41
Figura 3.5 – Maquinário: (a) CZM, modelo EM 600; (b) Detalhe do maquinário com a localização dos sensores.....	42
Figura 3.6 – Sistema de monitoramento	42
Figura 3.7 – Exemplo das regras: (a) 61 e (b) 72.....	47
Figura 3.8 – Exemplo das regras: (a) 249 e (b) 420.....	47
Figura 3.9 – Exemplo das regras: (a) 469 e (b) 581	47

Figura 3.10 – Exemplo das regras: (a) 937 e (b) 961	47
Figura 3.11 – Exemplo das regras: (a) 1127 e (b) 1146.....	48
Figura 3.12 – Tela do <i>Fuzzy Logic Toolbox</i> ®	48
Figura 3.13 –Variação do Torque na função Triangular (a), Trapezoidal (b), Gaussiana (c). 50	
Figura 3.14 – Variação da função Gaussiana: (a) Velocidade de Penetração; (b) Superconsumo de Concreto	51
Figura 3.15 – Variação da função Gaussiana: (a) N_{SPT} ; (b) PAM	51
Figura 3.16 – Variação da função Gaussiana: (a) Energia Total de Instalação; (b) Capacidade de Carga Admissível da Estaca	51
Figura 3.17 – Sistema de perfuração e força de uma <i>bottom drive</i> CFA (Silva, 2011)	52
Figura 4.1 – Calibração do Modelo Analítico: Energia Total de Instalação x Comprimento da EHC da Obra A ($\delta = 25$ mm, $\alpha = 15.10^6$).....	57
Figura 4.2 – Exemplo de Laudo de Sondagem (Obra A).....	58
Figura 4.3 – Calibração do Modelo Analítico: Energia Total de Instalação x Diâmetro da EHC da Obra A ($\delta = 25$ mm, $\alpha = 15.10^6$).....	59
Figura 4.4 – Calibração do Modelo Analítico: Energia Total de Instalação x Comprimento da EHC da Obra B ($\delta = 25$ mm, $\alpha = 12.10^6$).....	60
Figura 4.5 – Calibração do Modelo Analítico: Energia Total de Instalação x Diâmetro da EHC da Obra B ($\delta = 25$ mm, $\alpha = 12.10^6$).....	60
Figura 4.6 – Exemplo de Laudo de Sondagem (Obra B).....	61
Figura 4.7 – Calibração do Modelo Analítico: Energia Total de Instalação x Comprimento da EHC da Obra C ($\delta = 25$ mm, $\alpha = 8.10^6$).....	62
Figura 4.8 – Exemplo de Laudo de Sondagem (Obra C).....	63
Figura 4.9 – Calibração do Modelo Analítico: Energia Total de Instalação x Diâmetro da EHC da Obra C ($\delta = 25$ mm, $\alpha = 8.10^6$).....	64
Figura 4.10 – Calibração do Sistema Inteligente: Energia Total de Instalação x Velocidade de Perfuração x Torque de Execução (Obras B e C)	65
Figura 4.11 – Calibração do Sistema Inteligente: Capacidade de Carga Admissível da Estaca x Velocidade de Perfuração x Torque de Execução (Obras B e C)	66
Figura 5.1 – Relação do Comprimento da Estaca <i>versus</i> Energia Total: (a) Areia Siltosa e (b) Argila Arenosa	68
Figura 5.2 – Relação do Diâmetro da Estaca <i>versus</i> Energia Total de Instalação: (a) Areia Siltosa e (b) Argila Arenosa	69

Figura 5.3 – Relação do Módulo de Elasticidade do Solo <i>versus</i> Força Descendente do Trado no Solo, para estacas de comprimento 8 m: (a) Areia Siltosa, (b) Argila Arenosa.....	70
Figura 5.4 – Relação do Módulo de Elasticidade do Solo <i>versus</i> Força Descendente do Trado no Solo, para estacas de diâmetro 30 cm: (a) Areia Siltosa, (b) Argila Arenosa.....	71
Figura 5.6 – Relação da Profundidade <i>versus</i> Capacidade de Carga Admissível, para diferentes q_c (Argila Arenosa)	73
Figura 5.7 – Relação da Profundidade <i>versus</i> Capacidade de Carga Admissível da Estaca por Torque de Execução: (a) Areia Siltosa, (b) Argila Arenosa	74
Figura 5.8 – Variação Torque de Execução x Velocidade de Perfuração x Energia Total de Instalação.....	75
Figura 5.9 – Variação Torque de Execução x Superconsumo de Concreto x Energia Total de Instalação.....	75
Figura 5.10 – Variação Velocidade de Perfuração x PAM x Energia Total de Instalação	76
Figura 5.11 - Variação Superconsumo de Concreto x N_{SPT} Médio da Camada de Assentamento x Energia Total de Instalação	76
Figura 5.12 – Variação Torque de Execução x Velocidade de Perfuração x Capacidade de Carga Admissível da Estaca.....	77
Figura 5.13 – Variação Torque de Execução x Superconsumo de Concreto x Capacidade de Carga Admissível da Estaca.....	78
Figura 5.14 – Variação Velocidade de Perfuração x PAM x Capacidade de Carga Admissível da Estaca.....	78
Figura 5.15 - Variação Superconsumo de Concreto x N_{SPT} Médio da camada de Assentamento x Capacidade de Carga Admissível da Estaca	79
Figura A.1. 1 – Laudo de Sondagem SPT 1 (Obra A)	129
Figura A.1. 2 – Laudo de Sondagem SPT 2 (Obra A)	131
Figura A.1. 3 – Laudo de Sondagem SPT 3 (Obra A)	133
Figura A.1. 4 – Laudo de Sondagem SPT 4 (Obra A)	135
Figura A.1. 5 – Laudo de Sondagem SPT 5 (Obra A)	137
Figura A.2. 1 – Laudo de Sondagem SPT 1 (Obra B)	139
Figura A.2. 2 – Laudo de Sondagem SPT 2 (Obra B)	141
Figura A.3. 1 – Laudo de Sondagem SPT 1 (Obra C)	142
Figura A.3. 2 – Laudo de Sondagem SPT 2 (Obra C)	143
Figura A.3. 3 – Laudo de Sondagem SPT 3 (Obra C)	144

Figura A.3. 4 – Laudo de Sondagem SPT 4 (Obra C)	145
Figura A.3. 5 – Laudo de Sondagem SPT 5 (Obra C)	146
Figura A.3. 6 – Laudo de Sondagem SPT 6 (Obra C)	147
Figura A.3. 7 – Laudo de Sondagem SPT 7 (Obra C)	148
Figura A.3. 8 – Laudo de Sondagem SPT 8 (Obra C)	149

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Variáveis presentes no processo executivo	44
Tabela 3.2 – Variáveis de entrada e saída	44
Tabela 3.3 – Valores mínimo e máximo das variáveis.....	45
Tabela 3.4 – Intervalos da Etapa A.1	46
Tabela 4.1 – Módulo de Elasticidade para cada Obra estudada.....	56

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

%	Porcentagem
(z, r, t)	Coordenadas cilíndricas [m, m, s]
$\Delta E_{\text{sistema}}$	Variação da energia térmica total do sistema [J]
μ	Média
2D	Bidimensional
a	Número de voltas do helicóide durante a escavação
A_i	Termos primários definidos nos conjuntos <i>fuzzy</i>
b	Parâmetro que depende do fuste da hélice
B_i	Termos primários definidos nos conjuntos <i>fuzzy</i>
C	Capacidade de carga da estaca [kN]
C_{ps}	Calor específico do solo [$J.m^{-30}.C^{-1}$]
CPT	Cone Penetration Test
CZM	Empresa fabricante de perfuratrizes
d_{eff}	Diâmetro interno do tubo
D_m	Diâmetro médio da rosca do parafuso (m)
E	Conjunção dos antecedentes
$E_{\text{carregamento}}$	Energia de carregamento [MJ]
EHC	Estacas hélice contínua
$E_{\text{instalação}}$	Energia total de instalação [MJ]
$E_{\text{penetração}}$	Energia de penetração [MJ]
E_{perda}	Energia de perda [MJ]
E_s	Módulo de elasticidade do solo [kPa]
E_{sistema}	Energia térmica total do sistema (J)
F_{di}	Força descendente aplicada ao helicóide [N]
F_i	Força aplicada no helicóide [N]
FIS	<i>Fuzzy Inference System</i>
g	Aceleração da gravidade [m/s^2]
gaussmf	Funções de pertinência gaussianas
GSM	Sistema Global para Comunicações Móveis (Global System for Mobile Communications)
HPC	Alta probabilidade de argila
HPM	Alta probabilidade de composições diferentes
HPS	Alta probabilidade de areias
kN.m	QuiloNewton vezes metro
kN/m	QuiloNewton por metro
kPa	QuiloPascal

kW	Quilowatts
m	Metro
m/h	Metro por hora
MAX-MIN	Operadores Máximo-Mínimo
MFs	Funções de pertinência (membership functions)
m_{hc}	Massa do sistema de escavação [kg]
MIN	Operadores Mínimo
MJ	Mega jaules
mmHg	Milímetro de mercúrio
n	Número total de hélices
η	Constante
N_{spt}	Índice de Resistência à Penetração
OU	Disjunção dos antecedentes
p	Passo da lâmina [mm / rev]
PA	Pascal
PAM	Pressão média arterial
PDCA	Planejamento - PLAN, Execução - DO, Verificação - CHECK e Ação - ACTION
q_c	Resistência da ponta do cone
Q_p	Queda pressão através do motor
r	Raio do trado da hélice [m]
R_i	Raio do helicóide [m]
RJ	Rio de Janeiro
RPM	Rotacoes por minuto
SACI	Sistema de controle do método executivo de estacas de hélice contínua
SCCAP	Silva, Camapum de Carvalho, Araújo e Paolucci
SPT	Standart penetration test
t	Tempo [s]
T	Torque [kN.m]
TARALOG	Instrumento de monitoramento de EHC
t_i	Espessura da hélice [m]
trapmf	Funções de pertinência trapezoidais
trimf	Funções de pertinência triangulares
TS	Takagi-sugeno
T_s	Temperatura do solo [°C]
TSK	Takagi-Sugeno-Kang
UnB	Universidade de Brasília
USB	Universal Serial Bus
v	Volume [m ³]
y	Coeficiente do solo [MPa]
W_R	Trabalho realizado pelas forças externas aplicadas ao sistema [J]

x_i	Entradas do sistema
y_i	Saídas do sistema
z	Profundidade [m]
z_b	Comprimento da estaca [m]
z_i	Deslocamento [m]
α	Constante de proporcionalidade entre o torque devido ao cisalhamento ao longo do tubo e a tensão de penetração
β	Coefficiente do solo
δ	Deflexão da estaca na capacidade de carga última
λ	Comprimento efetivo do tubo [m]
λ_k	Fator igual a $55,88\text{cm}^{0,92}/\text{m}$
ρ_s	Densidade do solo [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
σ	Desvio padrão

1. INTRODUÇÃO

As estacas hélice contínua (EHC) atualmente são demandadas como solução de fundação em obras executadas nos centros urbanos devido à confiabilidade e a necessidade de se transmitir elevados carregamentos para os solos, muitas vezes, saturados e estruturalmente instáveis, o que nem sempre é possível por meio de algumas soluções de fundações como estacas Franki, Strauss ou ainda as escavadas. Além disso, apresenta a vantagem de aliar a alta produtividade à ausência de vibração, a baixa frequência de ruídos e ao controle de qualidade na execução. Tais características quase sempre asseguram o comportamento previsto no projeto de fundações.

Um elemento de controle do comportamento dessas estacas é a medida do trabalho realizado durante a sua execução. Desta forma, pesquisadores e empresas vêm buscando uma forma de verificar e analisar o trabalho para entender o comportamento da interação solo-estaca no que tange os aspectos de garantia da confiabilidade na execução e na qualidade dos estaqueamentos.

Os projetos de fundações são fundamentados em sondagens e estudos pontuais que limitam o grau de confiança em maciços com perfis de solo de elevada variabilidade, como é o caso do subsolo presente na maioria do Distrito Federal.

Rilho (2011) cita que apenas quando da existência de defeitos executivos é que a qualidade de execução das fundações é discutida. De acordo com o autor, os defeitos decorrem da alta probabilidade de contaminação do solo durante o seu processo de execução, o que pode ser constatado em campo devido a não limpeza do trado após o processo de perfuração da estaca, incluindo ainda a existência de vazios de concretagem ou estrangulamentos. Tais problemas são de difícil detecção e podem vir a comprometer completamente a obra, mas com a utilização do monitoramento de dados durante a execução das estacas hélice contínua, essas falhas tendem a ser minimizados quando da análise dos dados presentes nos relatórios de perfuração.

Assim, faz-se necessário a busca por elementos e características que ofereçam o mínimo de risco quanto à segurança e o máximo de economia quanto aos custos. Silva (2011) considera que tais requisitos só serão satisfatórios quando houver um total entendimento do comportamento geológico-geotécnico do maciço e da sua interação com a fundação e a superestrutura. Para isso, é indispensável que a segurança de um estaqueamento esteja relacionada à metodologia executiva, sendo essa relacionada à qualidade e a um rígido controle.

A estaca hélice contínua mesmo com toda a tecnologia que a envolve e os parâmetros que são obtidos durante a sua execução, ainda apresenta variáveis subjetivas que necessitam ser melhores estudadas, a fim de garantir uma melhor confiabilidade no processo executivo e uma melhor qualidade dos estaqueamentos. Desta forma, surge a possibilidade da utilização da lógica *fuzzy* no controle dos estaqueamentos. A lógica *fuzzy* é uma ferramenta importante na automação de processos mecanizados. A utilização da lógica *fuzzy* permite a criação de um sistema especialista capaz de tomar decisões, evitando que a subjetividade das variáveis envolvidas no processo executivo possam levar a conclusões incertas.

1.1 MOTIVAÇÃO

Dentro do escopo da presente tese, dois temas são de fundamental importância: o controle executivo/qualidade/desempenho de estaca hélice contínua e a aplicação de lógica *fuzzy* em estaca hélice contínua.

O controle de desempenho em estaca hélice foi estudado inicialmente por Almeida Neto (2002) no aspecto do processo executivo, ressaltando a importância do monitoramento no processo de execução. Tavares (2009) através do gerenciamento pelo ciclo PDCA (Planejamento - PLAN, Execução - DO, Verificação - CHECK e Ação - ACTION) de controle de qualidade, com ênfase na manutenção, sistema de monitoração e execução. Posteriormente, Silva (2011) uniformizou os estaqueamentos a partir dos valores de energia, de capacidade de carga e deformabilidade, de modo a permitir orientar e corrigir o processo executivo pela metodologia SCCAP. Ramos (2011) através do controle energético em estacas hélice e uso da metodologia SCCAP, relatou que a metodologia contribui para a redução do risco da obra ao reduzir a probabilidade de falha.

Nesta pesquisa pretende-se analisar o desempenho de estacas hélice contínua a partir da aplicação da lógica *fuzzy*, considerando os dados de projeto e os parâmetros obtidos no monitoramento. Dentre os dados de monitoramento, busca-se o estudo da influência do operador durante o processo executivo da EHC, fazendo a análise da variação da sua pressão

arterial média com a velocidade de perfuração e torque produzido pelo maquinário. A análise visa contribuir para a melhoria do controle de qualidade desse tipo de estaca, além de permitir a melhor aproximação do seu comportamento por meio da energia medida. Em termos de tese, essa se apresenta como pioneira nessa linha de pesquisa na UnB e no Brasil.

1.2 OBJETIVO DA PESQUISA

A pesquisa tem como objetivo geral analisar e entender o comportamento de estacas hélice contínua a partir da aplicação da lógica *fuzzy*, tomando-se por base dados de projeto e parâmetros obtidos no monitoramento das estacas.

Com relação aos objetivos específicos propõe-se:

- Compreender a influência das variáveis oriundas do processo de execução no que tange os aspectos de energia, qualidade e capacidade de carga das estacas hélice contínua;
- Realizar um controle de pressão arterial do operador durante o processo executivo da estaca;
- Elaborar um sistema inteligente capaz de permitir a obtenção de valores de energia a partir de dados oriundos do relatório de monitoramento;
- Validar o sistema inteligente e o modelo analítico através de dados reais de obra.

1.3 ESCOPO DA TESE

A tese está organizada em seis capítulos, um apêndice e um anexo.

No Capítulo 1 descreve-se a introdução contendo a devida importância do tema e os objetivos da pesquisa.

O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica sobre assuntos pertinentes ao estudo da tese.

Já o Capítulo 3 contempla a metodologia utilizada na pesquisa, sendo essa dividida em sete etapas de modo a alcançar os objetivos propostos.

No Capítulo 4 é apresentada a calibração e a validação do modelo analítico e do sistema inteligente implantados nessa tese.

O Capítulo 5 apresenta os resultados e análises referentes ao sistema de controle de qualidade das estacas hélice contínua através da análise paramétrica realizada.

E no Capítulo 6 tem-se as principais conclusões do trabalho, assim como sugestões para futuras pesquisas complementares ao tema abordado.

Além dos capítulos acima relatados, o Apêndice A trata de um conjunto de regras *fuzzy* implementadas no sistema inteligente desenvolvido nessa tese, e no Anexo A são apresentados os laudos de sondagem das obras estudadas nessa pesquisa.

2. ESTACA HÉLICE CONTÍNUA: ESTADO DA ARTE

O primeiro registro do uso de estaca helicoidal ocorreu no ano de 1836, em que o engenheiro Alexander Mitchell aplicou as estacas helicoidais com o objetivo de solucionar problemas em estruturas marinhas e faróis, em solos de baixa resistência (Perko, 2009). O uso desse tipo de estaca deu-se em virtude das altas tempestades existentes na Irlanda que comprometiam estes tipos de estruturas. Mitchell ao analisar o comportamento da embarcação durante as tempestades, experimentou implantar o modelo de fixação do helicoide após uma noite de grande rajada de vento. Assim, Mitchell patenteou a estaca “helicoidal” para ser utilizada inicialmente como atracagem de navios.

Ainda segundo o autor, de 1850 a 1890 o quantitativo de estacas hélice executadas em faróis (Figura 2.1) aumentou na Costa Leste dos Estados Unidos e ao longo do Golfo México.

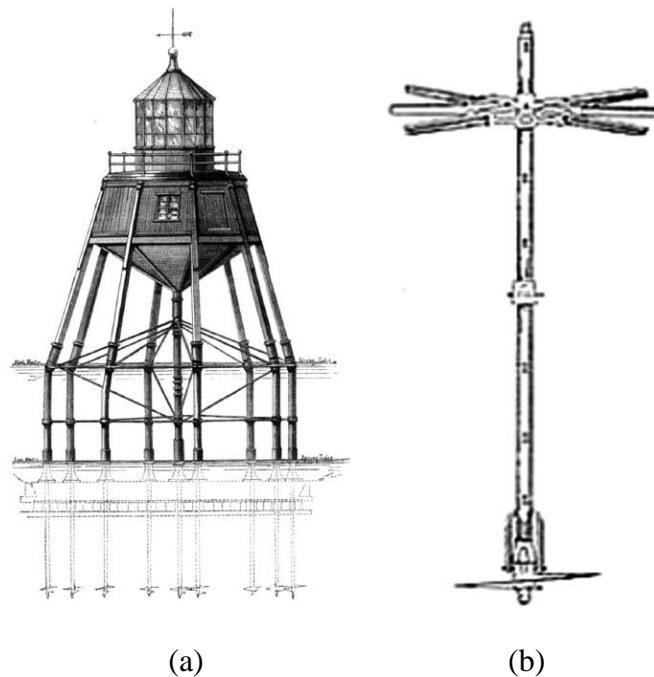


Figura 2.1 – (a) Estacas em faróis; (b) Detalhe da estaca helicoidal (modificado - Perko, 2009)

Um fato relevante da utilização desse novo tipo de estaca deu-se pela capacidade de resistência da carga lateral devido à tensão do gelo em regiões dos Estados Unidos, de modo a se comportar melhor em relação a outro tipo de estaca. Rupiper (2000) relata que de 1900 a 1950, os estudos sobre esse tipo de estaca indicaram o desenvolvimento de motores hidráulicos de torque de maior capacidade e avanços na sua fabricação.

Em 1952, Franz Dyche aplicou pela primeira vez, a uma estaca helicoidal, o sistema de concreto pressurizado com passagem pelo tubo central (Perko, 2009). Ele explicou que o tubo deveria conter uma espiral contínua sustentada pelo tubo em todo o comprimento (Figura 2.2).

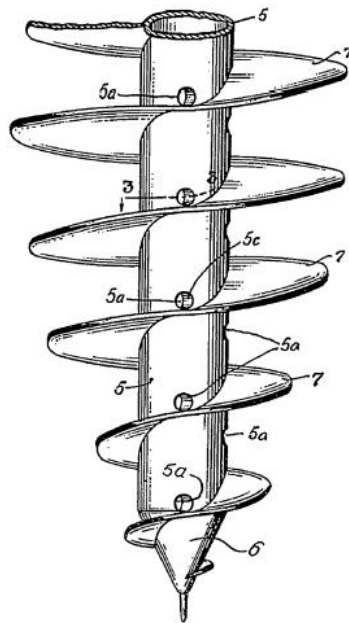


Figura 2.2 – Primeira estaca hélice criada por Dyche (Perko, 2009)

Mesmo com a ideia inicial do quantitativo de hélices ao longo do tubo, Dyche relata que em virtude de efeitos de grupo de estacas na interação com o solo, o uso de um grande número de hélice no trado seria desnecessário, uma vez que o espaçamento dessa ao longo do trado tende a gerar o mesmo valor da capacidade do solo para o caso da hélice de forma contínua.

As estacas helicoidais se diferem das estacas hélice contínua (EHC) por possuírem durante a execução estrutura de tubo de aço em maior contato com o solo (Figura 2.1); já as EHC compostas de uma estrutura dotada de hélice em toda a sua extensão, possui as hélices em contato direto com o maciço (Figura 2.2).

De acordo com Almeida Neto (2002), no início da década de 70 a utilização de EHC foi introduzida na Alemanha e difundida por toda Europa, sendo que a primeira publicação técnica

brasileira ocorreu no Rio de Janeiro em 1989, sendo relatadas as primeiras pesquisas sobre este tipo de estaca no Brasil.

No Distrito Federal, o uso deste tipo de estaca vem sendo utilizada independente da presença do lençol freático. A metodologia de execução compreende as fases de perfuração, concretagem e colocação de armação, conforme pode ser encontrada em diversos trabalhos, entre eles, Alonso (1996), Hachich *et al.* (1999), Albuquerque (2001), Alonso (2004 b), Heiss (2008), Mucheti (2008), Tavares (2009), Hortegal (2011), Elsamee (2013), Adam *et al.* (2013) e Silva (2014).

Perko (2009) relata que, em um estudo comparativo entre tipos de fundação, as estacas hélice contínua (Tabela 2.1) utilizam um menor número de viagens de caminhões para o local de construção em que será instalado, em comparação com outros sistemas de fundação profundas. Este fato está associado à redução do número de viagens de caminhão, de trânsito, de poluição e de desgaste em estradas, ruas e rodovias. Neste caso, nota-se que a utilização da helicoidal se apresentou como uma prática de construção ambientalmente consciente e sustentável, uma vez que o consumo de matéria prima e a quantidade de viagens dos caminhões são reduzidos.

Tabela 2.1 – Viagens de caminhões obrigatórias (Perko, 2009)

TIPO DE FUNDAÇÃO	NÚMERO DE VIAGENS PARA O LOCAL	DESCRIÇÃO DA VIAGEM
50 estacas helicoidais	1	Caminhão e reboque (máquina de instalação)
	2	Caminhão de mesa (estacas helicoidais)
	3	
50 estacas escavadas	14	Caminhões de concreto
	1	Caminhão bomba
	1	Trator reboque de mesa (reforço de aço)
	1	Sonda de perfuração
	17	
50 estacas de impulsão	2	Guindaste
	4	Trator de Esteira
	1	Bate-Estacas
	7	

Atualmente, vários são os investimentos aplicados neste tipo de fundação, os quais incluem o aumento da capacidade do maquinário, do diâmetro da hélice, dos torques aplicados, entre outros. Segundo Silva (2011), a falta de acompanhamento desse tipo de estaca e a

avaliação dos relatórios das estacas por engenheiros não capacitados podem comprometer o desempenho das estacas, principalmente, pelo desconhecimento dos fatores que influenciam no seu desempenho junto ao maciço a que está sendo perfurado.

Tal fator pode ser verificado quando da execução das estacas hélice contínua, pois a experiência do operador do equipamento é essencial para a identificação de possíveis não conformidades durante a execução da estaca. Em caso prático, Silva (2011) menciona que a utilização de equipamentos de pequena capacidade ou torque nominal pequeno podem provocar o desconfinamento do fuste da estaca ou até mesmo subsidência, uma vez que a estaca será perfurada através da combinação da baixa velocidade com a alta rotação de avanço, transportando para a superfície um volume de solo superior à soma do volume da ferramenta e do empolamento do solo escavado.

2.1 EQUIPAMENTOS

O equipamento empregado para cravar a hélice no terreno, como consta em várias literaturas, como as apontadas por Hachich *et al.* (1999), Albuquerque (2001), Heiss (2008), Mucheti (2008), Tavares (2009), Hortegal (2011), Elsamee (2013), Adam *et al.* (2013) e Silva (2014), é composto de um guindaste de esteiras, em que é montada a torre vertical de altura apropriada à profundidade da estaca. O maquinário é equipado com guias por onde ocorre o acionamento hidráulico com torque determinado em função do diâmetro e profundidade da estaca.

Menciona-se que dentre todos os elementos do equipamento, o motor hidráulico é o mais importante por ser o elemento que aplica a rotação no topo da estaca. Perko (2009) relata que as estacas hélice devem ser executadas com torques altos e baixa velocidade de perfuração, no intuito de causar o menor desconfinamento do solo. Silva (2011) propôs uma formulação e rotinas que minimizam esse problema e determinou a velocidade crítica de avanço perfuração, ou seja, abaixo da velocidade de avanço que é função dos parâmetros monitorados durante a escavação da estaca pode ocorrer o desconfinamento da estaca. A velocidade crítica depende da velocidade disposta em cada maquinário, ou seja, do porte desse, e vem definida em cada relatório de monitoramento (Figura 2.5).

Atualmente no mercado mundial, existem vários tipos de maquinários que podem ser utilizados na execução da estaca hélice contínua. Na Tabela 2.2 é apresentado um resumo das principais características de alguns tipos de máquina.

Tabela 2.2 – Relação de maquinários EHC

NOME	DIÂMETRO MÁXIMO (m)	PROFUNDIDADE MÁXIMA (m)	POTÊNCIA INSTALADA (kW)	TORQUE MÁX (kN/m)	ROTAÇÃO TORQUE MÁX (RPM)
EK 250CFA	0,80	28	195	148	45
EM1000/32	1,00	32	261	258	10,5
EM 1000/26	0,80	30	200	196	10
EM 1000/26	1,00	26	200	196	10
EM800/30	0,80	30	200	167	11
EM800/24	0,80	24	103	123	8
EM600	0,60	17	86	94	9
PK 85TT	0,75	16,5	168	48	15
P90TT	0,85	21	189	47	30
P105TT	1,00	24	189	64	23
P135TT	1,20	23,5	400	121	21,5
P140TT	1,00	26,5	309	64	23
P150TT	1,20	30	400	93	21,5
P240 TT	1,20	41,5	400	Fase de Teste	Fase de Teste
HG22CFA	1,20	30	328	260	Não Informado

Normalmente, os maquinários produzem um torque de 6 a 250 kN.m ou mais para ter capacidade de rotação. Eles devem ter torque condizente com seu porte, pois quanto maior a taxa de fluxo do óleo hidráulico mais rápido o giro do motor, perfazendo rotações de 10 a 30 rpm. Contudo, todo maquinário necessita que além desses parâmetros exista o alinhamento e posição adequada durante a perfuração.

Desta forma, faz-se necessário o controle dos elementos obtidos durante a execução da estaca, de modo que um dos aspectos mais relevante da execução da estaca hélice contínua diz respeito às tecnologias presentes no equipamento em virtude da presença de sensores de monitoramento distribuídos na perfuratriz (Figura 2.3).

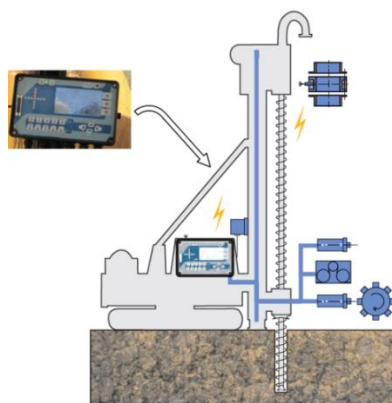


Figura 2.3 – Sistema de monitoramento (Modificado - www.geodigitus.com.br)

Os dados obtidos do monitoramento são apresentados em um painel digital localizado dentro do maquinário (Figura 2.4). Esse sistema permite a captação direta por meio de portas USB ou o envio dos dados por meio da tecnologia GSM presente na telefonia móvel, sendo posteriormente apresentados em relatórios (Figura 2.5).

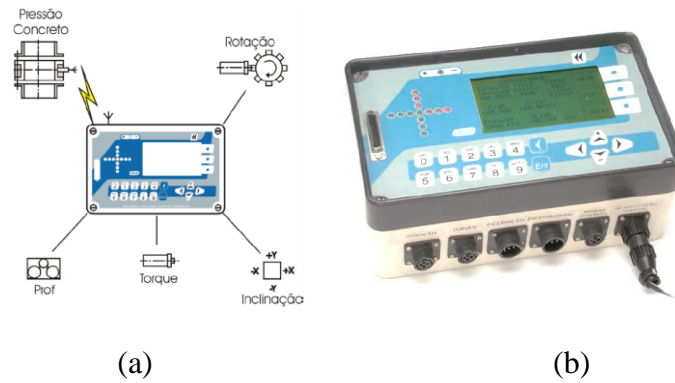


Figura 2.4 – (a) Detalhamento dos pontos de localização dos sensores, (b) Computador de bordo (Sistema SACI)

Estes sensores captam todas as informações obtidas durante a fase executiva, como a inclinação da haste, a profundidade da perfuração, o torque e a velocidade de rotação da hélice, a pressão de injeção, as perdas e o consumo de concreto. Desta forma, nota-se a importância do controle do estaqueamento através da utilização de sensores nos maquinários, visando o fornecimento de dados mais reais da execução.

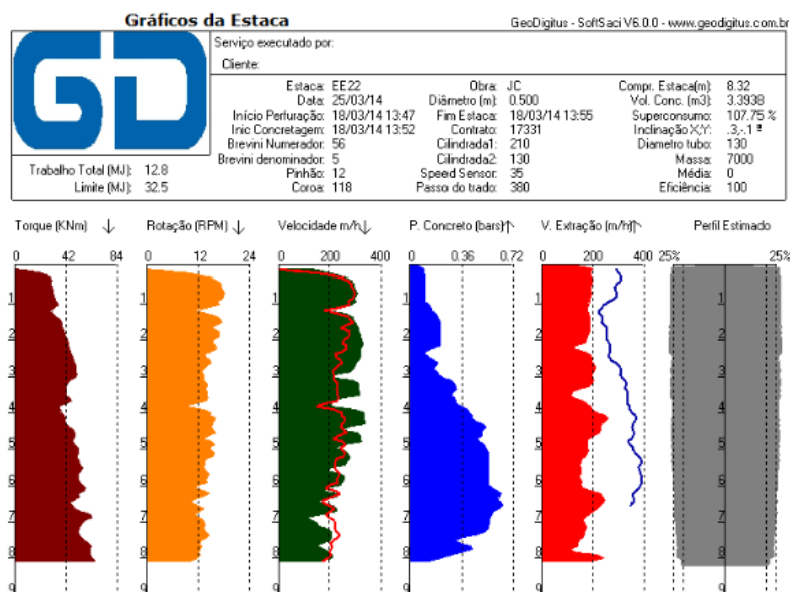


Figura 2.5 – Exemplo de relatório de monitoramento de uma estaca

2.2 IMPORTÂNCIA DO TORQUE

Dentre os parâmetros obtidos durante o processo executivo da EHC, o torque apresenta correlações com a força cisalhante e a capacidade de carga do solo. As correlações do torque com a capacidade de carga do solo existem desde 1960. A primeira publicação foi apresentada na 12ª Conferência Internacional sobre Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundação no Rio de Janeiro por Hoyt e Clemence (1989), em que a partir da análise de 91 provas de carga em 24 tipos de solo, foi apresentada uma relação empírica dada por:

$$C = b.T \quad (2. 1)$$

onde,

C = capacidade de carga da estaca [kN];

b = parâmetro que depende do fuste da hélice, e independe do número e do tamanho das placas, além da condição de solo [m^{-1}];

T = torque necessário para rotacionar o helicóide no solo [N.m].

Caso a hélice tenha o tubo central com diâmetro menor que 0,089 m deve-se usar o valor de b de 33, para diâmetro de 0,089 m o valor a ser utilizado para b é de 23, e para diâmetros maiores que 0,089 m usa-se b igual a 9,8.

Através da realização de 239 provas de carga obtidas a partir dos dados fornecidos por várias empresas, Perko (2009) obteve que a medida empírica do valor b pode ser obtida por:

$$b = \frac{\lambda_b}{d_{eff}^{0,92}} \quad (2. 2)$$

onde,

λ_b = fator igual a 55,88 $cm^{0,92}/m$;

d_{eff} = diâmetro efetivo do eixo do tubo central, ou seja, o diâmetro interno do tubo [m].

Além disso, a razão entre a capacidade de carga e o torque, b , é representada graficamente na Figura 2.6.

Para a leitura do torque, existem metodologias diferentes que captam os dados para o maquinário. Perko (2009) relata que um dos métodos é um indicador de pino de cisalhamento, que consiste em duas placas circulares unidas em conjunto por um eixo central, de modo que uma das placas é afixada a uma união para ligação a uma estaca helicoidal e a outra placa

contém um encaixe para receber o parafuso do motor de torque. As placas têm uma série de orifícios dispostas ao longo do perímetro (Figura 2.7). Sem os pinos, as duas placas estão livres para rodar em relação um a outra, proporcionando uma medição de um tempo após o qual o dispositivo tem de ser recarregado com novos pinos de cisalhamento. Dentre as vantagens deste dispositivo é que ele fornece uma medição direta bem precisa, além de ser utilizada para limitar o torque máximo de instalação, que visa proteger a estaca em caso de esforços excessivos e danos durante a instalação, ou quando se utiliza um motor de torque que excede a capacidade de torção da estaca. A desvantagem é que ele não fornece um registo contínuo.

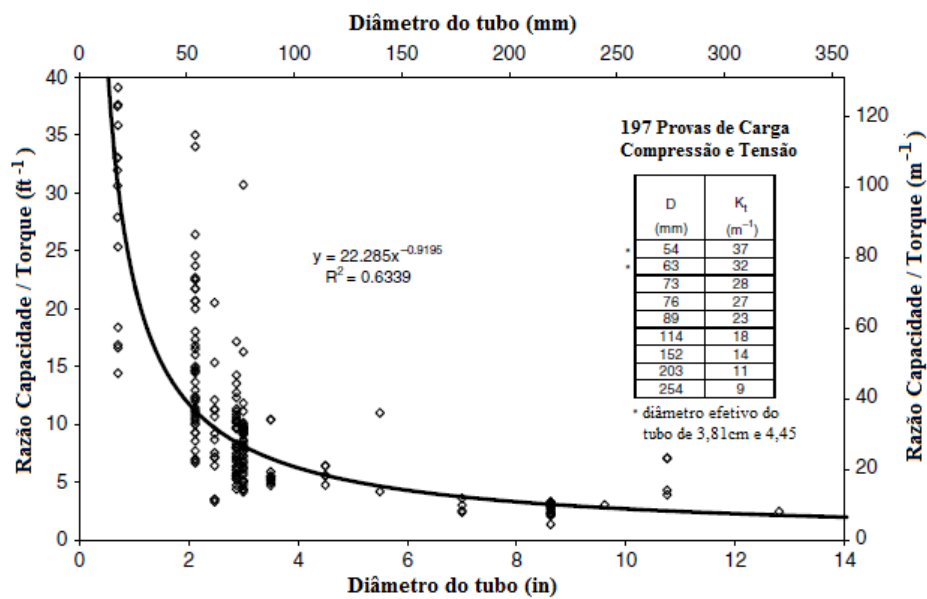


Figura 2.6 – Relação empírica da razão capacidade / torque (modificado - Perko, 2009)



Figura 2.7 – Pino indicador de cisalhamento (Perko, 2009)

O autor cita ainda outro método de medição de torque, o relógio de medição mecânico que apresenta um transdutor de pressão interna movida por uma mola. Assim, o torque é lido diretamente a partir de um indicador com um quadrante calibrado ligado ao invólucro exterior da unidade. A vantagem deste aparelho é que ele fornece de forma contínua uma leitura precisa do torque, e sem necessidade de energia elétrica. A desvantagem é que o relógio de medição mecânico gira com a haste, o que dificulta a leitura. Com relação a este tipo de método, Downey (2008) menciona que o dispositivo pode ser danificado sob tensão excessiva e que alguns cuidados devem ser tomados durante o uso.

Existem vários tipos diferentes de células de carga (transdutores) para medição de torque. As células de carga contêm medidores de tensão que detectam deformação elástica da caixa de aço sob torção. A tensão é medida com base no princípio de que uma mudança no comprimento traduz-se numa alteração do diâmetro do fio e da resistência. Tal fato faz com que o dispositivo de aquisição de dados detecte a mudança na resistência de torque e a exiba digitalmente. Em dispositivos mais sofisticados, o torque pode ser gravado em um laptop ou outros meios eletrônicos.

O torque pode ser medido indiretamente através da monitorização da queda de pressão através de um motor hidráulico, sendo a queda de pressão determinada por leitura da pressão de entrada e subtraindo a pressão de retorno (Perko, 2009). Um exemplo da correlação entre a queda de pressão através de um motor e o torque é mostrado na Figura 2.8. Cada motor tem uma correlação única entre torque e capacidade, e os fabricantes costumam oferecer diferentes relações teóricas. Ressalta-se que as curvas de correlação dependem das diferentes viscosidades do fluido hidráulico, das velocidades de fluxo e das temperaturas operacionais.

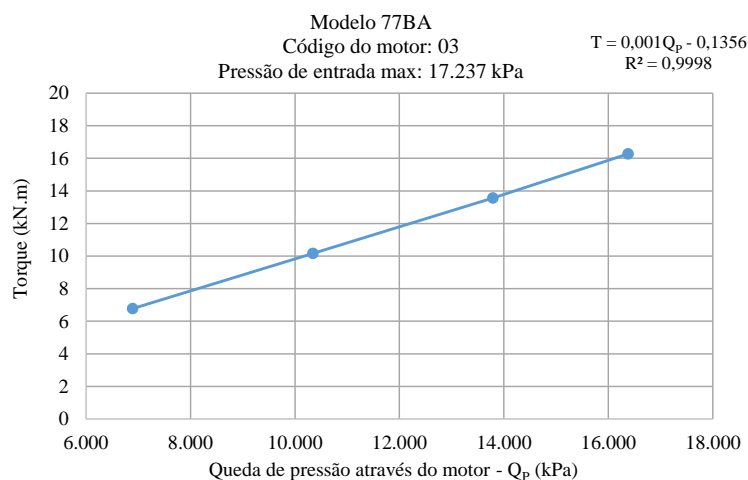


Figura 2.8 – Exemplo de relação torque-pressão do fabricante (modificado - Perko, 2009)

2.3 INFLUÊNCIA DO PASSO DA HÉLICE NA CAPACIDADE DE CARGA

Algumas metodologias de cálculo da capacidade de carga para estacas helicoidais consideram a ruptura ou suporte individual ou ainda o cisalhamento no cilindro circunscrito as hélices. Menciona-se que a partir de tal estaca foram originadas as EHC que surgiram como avanço das estacas helicoidais.

Perko (2009) relata que se o espaçamento entre as placas da hélice (passo) for grande (Figura 2.9a), a hélice irá agir de forma independente, indicando que a capacidade de carga é a soma das capacidades individuais de todas as chapas de apoio do helicóide, ou seja, método de rolamento individual da hélice. Já, se o espaçamento entre as hélices for pequeno (Figura 2.9b), as chapas de apoio atuarão em um grupo. Neste caso, a capacidade de carga será a combinação do rolamento da placa de apoio helicoidal e o cisalhamento ao longo do cilindro de solo colocado entre as chapas de apoio helicoidais, ou seja, método de cisalhamento cilíndrico.

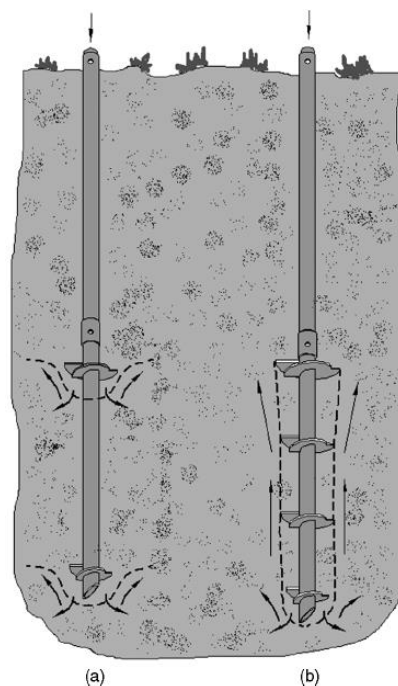


Figura 2.9 – Espaçamento entre hélice: (a) Grande, (b) Pequeno (Perko, 2009)

Um dos fatores que pouco se observa nas literaturas é a definição da proximidade das placas de apoio helicoidais. O que se nota de uma forma geral é que o espaçamento deve-se à geometria da estaca e as condições do solo. Alguns estudos laboratoriais propostos por Bassett (1978), Narasimha Rao & Prasad (1993), Narasimha Rao *et al.* (1991) relataram que o espaçamento da hélice em relação ao diâmetro variou de 1 a 5 para as estacas ensaiadas.

Os resultados experimentais de Bassett sugeriram que a transição entre estacas com número de hélice em grupo para individual, ocorre quando o espaçamento da hélice em relação ao diâmetro varia entre 2,1 a 3,4. O estudo de Narasimha Rao & Prasad (1993a) e Narasimha Rao *et al.* (1991), com execução em estacas a partir da metodologia de cisalhamento cilíndrico e diâmetro máximo da hélice de aproximadamente 0,152 m, indicou que as estacas apresentavam falhas de rotação devido ao espaçamento da hélice em relação ao diâmetro ser de 0,04 m. Assim, tem-se que o espaçamento ideal de placas de apoio helicoidais ocorre quando os resultados do método individual e do método de cisalhamento cilíndrico são iguais, refletindo que maiores espaçamentos de hélice são desnecessários ao longo do trado e que, menores espaçamentos indicam desperdício de helicoides.

Ainda de acordo com o estudos dos autores, o espaçamento entre hélice depende da densidade, da resistência, da condição de água subterrânea, da profundidade abaixo do solo e do diâmetro estaca.

De acordo com Seider (2004), a execução de estacas na grande maioria dos solos, e uso de trado de 9,67 cm² a 22,58 cm² de diâmetro, tendem a apresentar espaçamento ideal de duas a três vezes o diâmetro médio das placas de apoio helicoidais.

Tshua (2007) e Tshua & Aoki (2008) através de ensaios de modelagem física em centrífuga mostraram quantitativamente a influência do acréscimo no número de hélices de mesmo diâmetro na capacidade de carga à tração de estacas metálicas helicoidais multi-hélices instaladas em areia, indicando que para as estacas metálicas helicoidais com duas e três hélices a capacidade de carga relativa à hélice da ponta aumenta de acordo com o diâmetro da hélice e densidade da areia. Ressalta-se que tal estudo permitiu avaliar o efeito de escala para estacas helicoidais, e que nessa tese servirá de associação para as EHC.

2.4 CONTROLE DE ESTAQUEAMENTO

Ao se falar em controle dos estaqueamentos, vários autores citam ensaios no elemento estrutural ou até mesmo no maciço terroso, no intuito de verificar a interação solo-estrutura. Porém, para estacas hélice contínua, o que se observa é a falta de informações bibliográficas ou ainda dados referentes ao controle no processo executivo.

Brown *et al.* (2007) citam que em estacas hélice contínua o controle se faz desde o processo de perfuração até a fase de concretagem. Na perfuração é necessário atentar para que o volume de solo transportado não seja excessivo, e que o operador junto ao engenheiro deve

registrar a taxa de perfuração do trado no solo, considerando que se baseia na teoria de um parafuso de força (Figura 2.10).

Essa teoria foi apresentada por Tshua (2007) ao observar que a hélice da estaca é equivalente à rosca de um parafuso, e que a areia (solo local) que envolve a estaca é a porca. A teoria foi descrita por Faires (1943) *apud* Tshua (2007) e relatou que é possível obter a tensão de torção devido ao giro do parafuso contra uma carga a partir da expressão do momento de torção, conforme:

$$T = F_{di} \cdot \frac{D_m}{2} \quad (2.3)$$

onde,

T = torque necessário para rotacionar o parafuso contra a carga [N.m];

F_{di} = força descendente aplicada ao helicóide [N];

D_m = diâmetro médio da rosca do parafuso, ou média do diâmetro interno e externo [m].

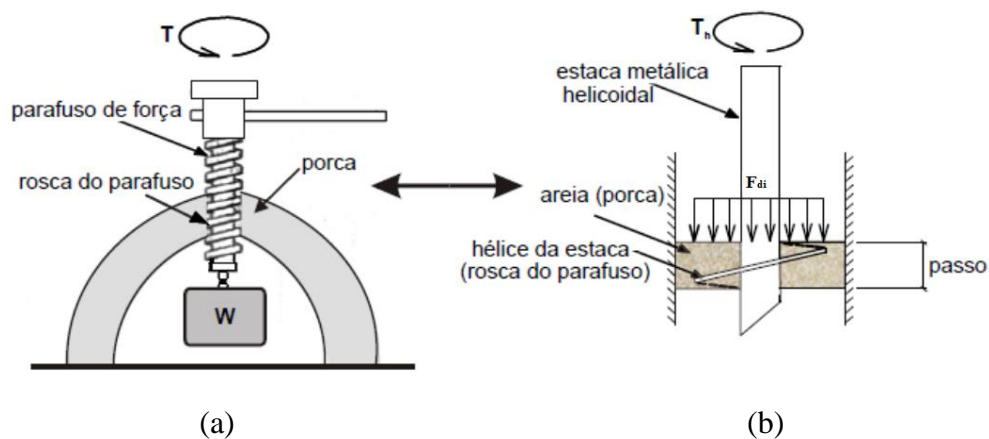


Figura 2.10 – Analogia entre: (a) Parafuso de Força e (b) Estaca Helicoidal (Tshua, 2007 - modificado)

Os autores relatam que sempre ocorrem incertezas quanto à taxa de perfuração do trado no solo, uma vez que ela é estimada durante a fase de projeto e construção (Tabela 2.3) e obtida através da experiência dos profissionais. Os valores reais da taxa serão definidos através de dados de prova de carga e pré-furos.

Tabela 2.3 – Diretrizes Gerais para Taxa de Penetração do trado em EHC (Brown *et al.*, 2007)

Tipo de solo	Taxa de perfuração (Rotações por afastamento do trado)
Argilas	2 a 3
Areias	1,5 a 2

Na fase de perfuração, é desejável que a pressão e volume de concreto sejam monitorados, bem como o controle da extração do trado ao se atingir a profundidade solicitada em projeto. Os autores relatam que o trado deve ser extraído de forma lenta, contínua e sem rotação, e que todo o processo deve ser controlado visando que o concreto esteja com pressão adequada.

A fase de concretagem é um dos itens mais importantes para a garantia de qualidade das estacas, pois o ideal é que o concreto seja entregue no local da execução da estaca sem que ocorra perda da pressão de concretagem. Essa perda, de acordo com os autores indicam falha na resistência da estaca no apoio à estrutura, tanto no aspecto geotécnica como estrutural.

Conforme Brown *et al.* (2007), o controle e monitoramento de todo o processo executivo envolve o posicionamento da ponta da broca, velocidade de extração, volume de concreto entregue no local da obra, bem como a pressão desse concreto no momento da concretagem. Os autores mencionam ainda que no momento da extração do trado, caso a pressão sofra quedas, pode-se aprofundar o trado de modo rotativo a 1,5m do ponto de queda da pressão e retirar o trado novamente a partir desse novo ponto. Para tal, faz-se necessário que o operador observe esse aspecto de modo a proceder a nova perfuração e concretagem de modo imediato.

Com os parâmetros obtidos pelos relatórios emitidos do maquinário, é possível associar a energia aplicada em cada estaca com a confiabilidade destas, de modo a controlar o estaqueamento realizado em um projeto de fundações.

Desta forma, Silva (2011) através da lei de conservação de energia, propôs uma metodologia e equações para quantificar a energia ou o trabalho realizado para escavar uma estaca, tornando possível estabelecer uma metodologia de monitoramento para os estaqueamentos escavados. A metodologia desenvolvida pelo autor foi chamada de SCCAP (Silva, Camapum de Carvalho, Araújo e Paolucci), e consiste na utilização das equações de trabalho realizado ou energia necessária para escavar uma estaca ao sistema SACI a fim de garantir a uniformização dos estaqueamentos em termos de energia, capacidade de carga e deformabilidade (Silva & Camapum de Carvalho, 2014).

Silva *et al.* (2012, 2014) determinam que a partir do sistema de transferência de calor presente na execução de uma estaca helicoidal, é possível obter a energia através da integração

volumétrica em função da variação da temperatura do solo. Assim, tem-se que a energia total do sistema será dada por:

$$E_{sistema} = \iiint_V \rho_s C_{ps} [T_s(r, z, t) - T_s(r, z, 0)] dV \quad (2.4)$$

onde,

$E_{sistema}$ = energia térmica total do sistema [J];

ρ_s = densidade do solo [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$];

C_{ps} = calor específico do solo [$\text{J}\cdot\text{m}^{-30}\cdot\text{C}^{-1}$];

T_s = temperatura do solo [$^{\circ}\text{C}$];

(z, r, t) = coordenadas cilíndricas [m, m, s];

r = raio do trado da hélice [m];

z = profundidade [m];

t = tempo [s];

V = volume [m^3].

O modelo proposto considera que a transferência transiente de calor no solo é bidimensional (2D) e axissimétrica, e sua resolução pode ser obtida numericamente por diferenças finitas. Os autores ainda relatam que a relação entre a energia total do sistema é equivalente à energia mecânica aplicada ao sistema e ao trabalho realizado pelas forças externas aplicadas ao sistema. A metodologia leva em consideração o princípio de Hamilton para determinar a variação da energia mecânica produzida pelo sistema. Assim, concluiu-se que o trabalho total realizado pelas forças externas é o somatório do trabalho realizado pela força tangente ao helicóide, acrescido ao trabalho realizado pela força gravitacional e ao trabalho realizado pela força descendente, que é equivalente à energia mecânica aplicada ao helicóide. Desta forma, o trabalho pode ser representado por:

$$\Delta E_{sistema} = W_R \quad (2.5)$$

onde,

$\Delta E_{sistema}$ = variação da energia térmica total do sistema [J];

W_R = trabalho realizado pelas forças externas aplicadas ao sistema [J].

A quantificação do trabalho, segundo Silva *et al.* (2012), considera as forças externas aplicadas ao sistema, como o torque, a força de instalação e a força gravitacional. A partir do

torque aplicado ao helicóide e o braço de alavanca, da velocidade angular e da velocidade de perfuração do trado, é possível determinar o trabalho da força tangencial, sendo este o produto escalar da força pelo deslocamento ao longo da profundidade, dado por:

$$W_R = \int_0^{z_b} m_{hc} g dz + \int_0^{z_b} F_{di} dz + \int_0^{a.2\pi} F_i r d\theta \quad (2.6)$$

onde,

m_{hc} = massa do sistema de escavação [kg];

g = aceleração da gravidade [m/s^2];

z_i = deslocamento [m];

r = raio do trado da hélice [m];

F_i = força aplicada no helicóide [N];

z_b = comprimento da estaca [m];

a = número de voltas do helicóide durante a escavação.

A partir da energia total do sistema, faz-se necessário entender o comportamento do solo durante a execução da estaca, ou seja, busca-se conhecer a resistência do solo no momento em que a estaca é executada. Assim, Silva *et al.* (2012) mostraram que as condições geotécnicas e estruturais devem ser consideradas, uma vez que o posicionamento da superfície resistente do solo varia em função das propriedades geológica-geotécnicas do solo.

Os autores afirmam ainda que cada estaca tende a apresentar um comportamento diferente, pois variáveis como qualidade da concretagem, pressão de injeção de concreto, tipo de solo, configuram características distintas e individuais para cada estaca executada. Por fim, relatam a possibilidade de determinação da energia necessária para escavar uma estaca, e que se for controlada, a energia utilizada durante a escavação de uma estaca é diretamente proporcional à sua capacidade de carga, permitindo controlar e aumentar a confiabilidade do estaqueamento, como proposto pela metodologia SCCAP.

Abdrabbo & Gaaver (2012) apresentaram um estudo de três casos de utilização de estacas hélice contínua como elemento de fundação. Os autores relatam que o uso indevido de equipamentos se apresenta como um dos fatores que refletem em estacas hélice contínua com problemas. Esta prática resulta em estacas com defeitos e que tendem a gerar instabilidade em estruturas vizinhas. Tais defeitos são reflexos da falta de conhecimento da equipe executiva das estacas. É fundamental que durante todo o processo executivo tenham profissionais competentes presentes em todo o período da execução da estaca para observar, interpretar e

tomar ações corretivas em situações inusitadas. Os autores mencionam ainda que todos os contratantes deveriam obrigar que a equipe de executores de estacas hélice contínua sejam qualificados e experientes, de modo que o operador do maquinário apresente diariamente ao engenheiro geotécnico os aspectos geotécnicos executivos relevantes durante a perfuração das estacas, além de todas as leituras geradas com os equipamentos de monitoramento.

Assim, nota-se a importância no controle executivo e de qualidade das estacas, além do operador que se apresenta como contribuidor no desempenho e qualidade das estacas.

2.4.1 OBTENÇÃO DA CAPACIDADE DE CARGA POR TORQUE

Na análise do sistema geotécnico, nota-se que esse é um sistema termodinâmico, por apresentar um estado de equilíbrio em que os parâmetros ambientais, tais como pressão e temperatura, impostas na maior parte da composição do sistema. Esta abordagem é utilizada para prever a estabilidade do sistema e o impacto da mudança de condições ambientais. Na termodinâmica, a energia total do sistema é dada pela soma do total de energia cinética e potencial das moléculas no sistema, sendo que a primeira lei da termodinâmica é a aplicação do princípio da conservação de energia.

Na engenharia geotécnica, a primeira lei considera que a variação da energia interna é igual ao calor adicionado ao sistema mais o trabalho realizado. Ao considerar a primeira lei da termodinâmica aplicada para a instalação de uma estaca hélice contínua (tal como um sistema de adiabática), tem-se que a energia pode ser expressa como o trabalho realizado pela força descendente, que é igual ao aumento da sua energia interna, e uma função do estado do sistema.

Considerando a ideia inicial proposta por Perko (2001) para uma estaca helicoidal, e adaptando para uma estaca hélice contínua, em um cisalhamento local, a energia de penetração por metro é dada por:

$$E_{penetração} = \frac{\pi}{2} E_s \delta^2 \left[r^2 + \sum_{i=1}^n (R_i^2 - r^2) \right] \quad (2.7)$$

onde,

$E_{penetração}$ = energia de penetração [MJ/m];

E_s = módulo de elasticidade do solo [kPa];

δ = deflexão da estaca na capacidade de carga última [m];

r = raio do trado da hélice [m];

R_i = raio do helicóide, aproximadamente igual ao raio da estaca hélice contínua [m];

n = número total de hélices.

De acordo com Teixeira & Godoy (1996), o módulo de elasticidade do solo é obtido a partir de correlações entre a resistência de ponta (q_c) ou índice de resistência à penetração (N_{SPT}).

$$E_s = \beta \cdot q_c \quad (2.8)$$

onde, β é um coeficiente que depende do solo (Tabela 2.4).

Tabela 2. 4 - Coeficiente β (Teixeira & Godoy, 1996)

Tipo de solo	β
Areias	3
Siltes	5
Argilas	7

O valor da resistência de ponta, q_c é obtido por:

$$q_c = y \cdot N_{SPT} \quad (2.9)$$

onde,

y = coeficiente que depende do solo (Tabela 2.5)

N_{SPT} = resistência à penetração.

Tabela 2. 5 - Coeficiente y (Teixeira & Godoy, 1996)

Tipo de solo	y (MPa)
Areia com pedregulho	1,10
Areia	0,90
Areia Siltosa	0,70
Areia Argilosa	0,55
Silte Arenoso	0,45
Silte	0,35
Argila Arenosa	0,30
Silte Argiloso	0,25
Argila Siltosa	0,20

Considerando a ideia inicial proposta por Perko (2001) para uma estaca helicoidal, e

adaptando para uma estaca hélice contínua, a perda de energia devido ao atrito, por metro, pode ser estimada por:

$$E_{perda} = \frac{4}{3} \pi^2 E_s \alpha \left[3r^3 \lambda + \sum_{i=1}^n (R_i^3 - r^3) t_i \right] \quad (2.10)$$

onde,

E_{perda} = energia de perda [MJ/m];

α = constante de proporcionalidade entre o torque devido ao cisalhamento ao longo do tubo e a tensão de penetração;

λ = comprimento efetivo do tubo que penetra o solo, aproximadamente igual ao comprimento da EHC [m];

t_i = espessura da hélice [m].

A instalação da estaca hélice contínua envolve a rotação da hélice dentro do solo e a aplicação de uma força descendente, também conhecida como força de *pull down*. Assim, a energia total de instalação devido a rotação, por metro, para uma estaca hélice contínua é dada por:

$$E_{instalação} = 2\pi T + F_{di} p \quad (2.11)$$

onde,

$E_{instalação}$ = energia total de instalação [MJ/m];

T = torque de execução [kN.m];

F_{di} = força descendente, ou força *pull down* [kN];

p = passo da lâmina [mm/rev].

Menciona-se que a energia potencial do sistema está inserido dentro da parcela da força descendente, de modo a ser constante para um mesmo tipo de estaca e profundidade. Logo, a energia exercida durante a instalação da estaca hélice contínua, por metro, pode ser obtida considerando a energia de penetração, por metro, e a energia de perda do sistema, por metro, sendo dada por:

$$E_{instalação} = E_{penetração} + E_{perda} \quad (2.12)$$

Admitindo-se que a energia de carregamento, por metro, é diretamente proporcional à capacidade de carga, tem-se:

$$E_{\text{carregamento}} = \frac{1}{2} C \cdot \delta \quad (2.13)$$

onde,

$E_{\text{carregamento}}$ = energia de carregamento [MJ/m];

C = capacidade de carga da EHC [kN].

2.4.2 INFLUÊNCIA DO OPERADOR NA EXECUÇÃO DE EHC

Quando se fala no tipo de influência que o operador produz na qualidade da estaca, vários autores relatam apenas o controle durante o processo executivo, seja ele no momento da perfuração, seja ele no momento da extração/concretagem. Contudo, o que se observa na prática é que além de toda a parte geotécnica que envolve o processo executivo, o modo da execução tende a influenciar na qualidade das estacas.

Esse modo está relacionado à atenção durante o processo principalmente de cravação (controle de verticalidade) e extração, pois escavações realizadas sem controle por parte do operador pode refletir na subida do solo, ou seja, a penetração do trado é menor que um passo por volta.

Atenta-se ainda para processo de concretagem dessas estacas, fato que depende diretamente do auxílio do operador, uma vez que a cada execução o trado deverá ser limpo, principalmente na ponta, de modo a garantir a qualidade de contato e preservação do solo original, o que indicará um ganho no processo de mobilização da resistência de ponta das EHC, evitando o desconfinamento na ponta.

Na prática, é comum observar que embora os maquinários detenham de sistemas de captura de dados para um controle, o operador não detém do controle total sobre os seus movimentos, pois em alguns casos são motivados por conversas com os demais operadores, conversas em aparelhos eletrônicos ou ainda falta de controle emocional no momento do trabalho, como estresse, raiva, tristeza, ansiedade, etc.

Na literatura, várias são as pesquisas que demonstram a influência de fatores emocionais com o aumento da pressão arterial (PA). Dentre eles, Lipp (2005) e Lipp *et al.* (2006) mostram que pessoas submetidas ao estresse emocional tendem a exibir aumento na pressão arterial. Lindquist *et al.* (1997) relatam que alterações nas condutas individuais e de ambiente no local

de trabalho, podem influenciar na variação da pressão arterial. Tomasi (1996), ao falar em falta de controle emocional, verifica que esses aspectos contribuem para a elevação da pressão arterial de cada pessoa. Para Cano (2000), pessoas com maior tendência à variação na emoção, apresentam maiores respostas ao aumento da pressão arterial diastólica quando submetidos à atividades estressantes.

O estudo realizado por Sheffield *et al.* (1997) concluiu que embora as oscilações pressóricas ocorressem, o principal motivo da alteração da pressão está relacionada ao estresse emocional, que reflete na variação da atividade de reatividade cardiovascular, ou seja, aumento da frequência cardíaca, da pressão arterial. O mesmo pensamento foi relatado por Fonseca (2009), cujo trabalho menciona que dentre as relações emocionais pesquisadas, os riscos de desenvolvimento da hipertensão arterial e a reatividade cardiovascular tendem a ser influenciados por fatores emocionais como impulsividade, hostilidade, estresses, ansiedade e raiva. Porém, mais estudos são necessários para melhor definir essas relações.

Em 1970, Dr. Bernard Heine acompanhando 40 pacientes com o episódio de depressão grave que tinham indicação de internação hospitalar, verificou que repetidos episódios depressivos, quando acompanhados de ansiedade e agitação, conduzem a aumentos da pressão arterial (Heine, 1970).

De acordo com Alves (2004), no Brasil, existem estudos que comprovam a relação entre hipertensão arterial e estresse no trabalho. Moxotó *et al.* (2015) relatam para se associar os fatores emocionais à hipertensão arterial, como é o caso do stress e da raiva, deve-se entender o conceito de reatividade cardiovascular, que se refere às modificações de pressão arterial ou de frequência cardíaca, decorrentes de estímulos específicos. Para eles, mesmo que grande parte das pessoas demonstrem a reatividade cardiovascular na forma de elevações de pressão arterial nas situações de *stress*, pessoas com hipertensão tendem a apresentar maiores elevações e mais frequentes do que pessoas sem este diagnóstico. As elevações não produzem efeitos prejudiciais em indivíduos sem tendência à hipertensão, pois a capacidade de adaptação das artérias permite a recuperação do organismo sem gerar sequelas (Lipp & Rocha, 2007).

Player *et al.* (2007) e Spielberger (1992) investigaram a correlação da raiva à hipertensão e com a reatividade cardiovascular. Existem estudos da expressão raiva sendo para fora (RPF), ou seja, direcionada a outras pessoas e objetos; e para dentro (RPD), em forma de ressentimentos e mágoas. Conforme Sanz *et al.* (2010), alguns autores defendem a relação do aumento da reatividade cardiovascular com a expressão de raiva para fora, já outros relatam que tal aumento refere-se a expressão da raiva para dentro (Poole *et al.*, 2006 e Richter *et al.*,

2011). Porém, Lipp (2005) informa que o estilo de raiva independe, pois, quando é frequente, se apresenta associada a aumentos da pressão arterial.

Considerando que esses autores mencionam uma tendência na relação entre fatores emocionais e a pressão arterial. A Sociedade Brasileira de Hipertensão define a pressão arterial como sendo a pressão que o sangue exerce na parede das artérias, sendo medida em milímetros de mercúrio. Existem duas pressões medidas, a máxima (sistólica) que é referente a contração do coração, e a mínima (diastólica) que representa a dilatação do coração.

Hicks (2014) explica que quando o coração bate, ele se contrai e empurra o sangue através das artérias para o resto do corpo, criando uma pressão sobre as artérias (Figura 2.11 a), a pressão arterial sistólica. Quando o coração está em repouso entre duas batidas, a pressão nas artérias é reduzida e o ventrículo esquerdo volta a encher-se para retomar todo o processo da circulação (Figura 2.11 b).

A pressão de pulso é a diferença entre as leituras sistólicas e diastólicas. Em caso de valores muito pequenos, há indícios que as artérias não estão devidamente relaxadas entre os batimentos cardíacos, devido a uma condição emocionais ou problemas cardíacos. Se a pressão de pulso for de grande variação, os vasos não podem ter a elasticidade ou tensão suficiente para sustentar o fluxo sanguíneo adequado e ocorrem problemas mais graves¹.

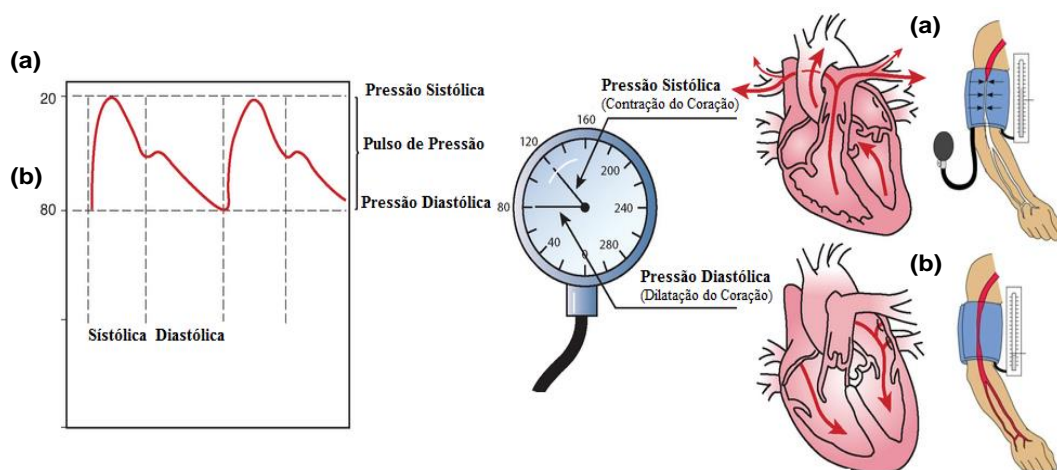


Figura 2.11 – Medição da pressão sanguínea: (a) Sístole, (b) Diástole (modificado ¹)

Considerando os dados obtidos na leitura das duas pressões, tem-se que o National Institutes of Health (2002) enquadra os valores de pressão com as categorias conforme a Tabela 2.6.

¹ <http://what-when-how.com/nursing/vital-signs-client-care-nursing-part-4/>

Tabela 2.6 – Medida de pressão (National Institutes of Health, 2002)

CATEGORIA	PRESSÃO SISTÓLICA (MM HG)	PRESSÃO DIASTÓLICA (MM HG)
Ótima	< 120	< 80
Normal	120 - 129	80 - 84
Normal Alta	130 - 139	85 - 89
HIPERTENSÃO		
Estágio 1 (Leve)	140 - 159	90 - 99
Estágio 2 (Moderada)	160 - 179	100 - 109
Estágio 3 (Grave)	Maior ou igual a 180	Maior ou igual a 110

Selye (1950) menciona que o aumento da pressão arterial deve-se a uma variedade de diferentes mecanismos, dentre os mais importantes que ele considera tem-se o estímulo nervoso (estresse emocional) e o aumento do volume sanguíneo. Já Pickering (2001) informa que o estresse por ser um evento que depende do meio ambiente externo, da estrutura psicossocial do indivíduo (a personalidade, o humor), a percepção resultante do estresse, a suscetibilidade psicológica ao estresse e a resposta ao estresse.

Desta forma, nota-se que vários autores fazem estreitas relações da emoção de cada pessoa com a pressão arterial obtida, de modo que na prática, se o operador da estaca durante o processo executivo não apresentar controle da sua estrutura psicológica, tenderá a aumentar a pressão arterial e, conseqüentemente, pode afetar os procedimentos adotados durante a execução da estaca impactando na qualidade da estaca.

2.5 LÓGICA FUZZY

Nos últimos anos a utilização de sistemas inteligentes tem despertado grande interesse na resolução de problemas presentes nas indústrias, na robótica, no comércio, na automação de linhas de produção, simulações financeiras ou mesmo no dia a dia das pessoas que cercam a sociedade, devido à ausência de certezas absolutas em vários aspectos relacionados a estes setores. Dentre as técnicas mais utilizadas estão as redes neurais e a lógica *fuzzy*.

As primeiras noções da lógica *fuzzy*, segundo Abar (2004), foram desenvolvidas por um lógico polonês Jan Lukasiewicz (1878-1956) em 1920 que introduziu conjuntos com graus de pertinência de 0, 1/2 e 1, sendo posteriormente expandido para um número infinito de valores entre 0 e 1. Em 1965, Lotfi Asker Zadeh escreveu a primeira publicação sobre lógica *fuzzy*, para tratar e representar incertezas, em que constava a combinação de conceitos da lógica clássica e os conjuntos de Lukasiewicz, definindo assim os graus de pertinência. A lógica *fuzzy* representa

a generalização da lógica Aristotélica-Fregiana, na qual são admitidos valores lógicos intermediários entre a falsidade e a verdade (como o talvez).

A importância da lógica *fuzzy* deve-se a alta variabilidade de fatos que não são absolutos em sua totalidade, uma vez que esses oscilam entre dados absolutamente verdadeiros ou absolutamente falsos, e por apresentar em sua teoria fundamentos de origem nos conjuntos nebulosos, que permitem a manipulação de valores não precisos e expressões verbais abstratas.

A primeira aplicação da lógica *fuzzy* foi em 1983 em um sistema de tratamento de água feito pela Fuji Electric, e em 1987 no sistema de metrô inaugurado pela Hitachi. Em 1990, a lógica *fuzzy* despertou um maior interesse em empresas dos Estados Unidos, devido ao desenvolvimento e as inúmeras possibilidades práticas dos sistemas *fuzzy*, além do grande sucesso comercial de suas aplicações. Atualmente, este sistema inteligente é considerado uma técnica de grande utilização e de ampla aceitação na área de controle de processos industriais.

A utilização da lógica *fuzzy* permite que o usuário responda a uma tomada de decisão de forma rápida e decisiva, permitindo proporcionar uma maior capacidade de entendimento e aceitação de uma determinada situação a que está sendo submetido, uma vez que ela se fundamenta no princípio da dualidade, segundo o qual dois eventos opostos podem coexistir, transformando os paradoxos em meias verdades ou meias mentiras. O verdadeiro (1) e o falso (0) são substituídos por graus de pertinência que podem assumir qualquer valor entre 0 e 1. Neste contexto, o valor 0,5 descreve um paradoxo.

Como o uso de sistemas inteligentes na solução de problemas é cada vez mais amplo, em virtude da ausência de certezas absolutas quanto a alguns aspectos, busca-se a aproximação da lógica com o raciocínio humano através de respostas aproximadas aos problemas, por isso o grande foco desta lógica é a solução de problemas cuja informação presente seja incerta. A lógica *fuzzy* também é utilizada em problemas de inteligência artificial, envolvendo o desenvolvimento de projetos orientados a objetos e tecnologias tão diversas quanto às redes neurais, aos algoritmos genéticos e a teoria do caos.

Visando o entendimento da lógica *fuzzy*, Aguado & Cantanhede (2010) em seu trabalho citam o exemplo de Cox (1994) para exemplificar sua aplicação, contudo este exemplo foi adaptado para a condição de um perfil de uma estaca concretada, conforme Figura 2.12.

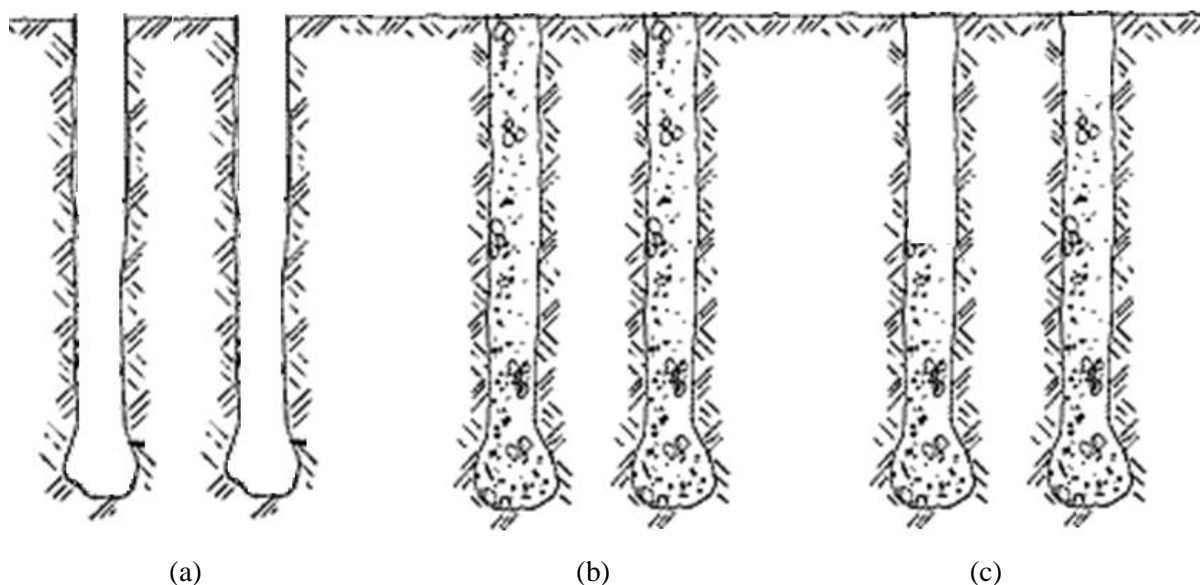


Figura 2.12 – Exemplo de perfil de estacas: (a) Sem concreto; (b) Totalmente concretada; (c) Concretagem com medida variada

Na Figura 2.12, observa-se a variação da quantidade de concreto nas estacas, de modo que na Figura 2.12 (a), pode-se inferir que ao considerar que não há nenhum volume de concreto nas estacas, estas estariam vazias. Analisando a Figura 2.12 (b), nota-se que os dois perfis estão totalmente preenchidos, uma vez que as estacas estão totalmente preenchidas por concreto. De fato, ao se observar as Figuras 2.12 (a) e 2.12 (b), não existem nenhuma incerteza quanto as respostas apresentadas ou algo que possa se opor a veracidade delas. Porém, ao analisar a Figura 2.12 (c) não se pode afirmar com tanta precisão se os perfis a quantidade de concreto presente em cada perfil.

No caso da Figura 2.12 (c), diante da dificuldade de responder de forma exata o nível de concretagem a que os perfis estão submetidos, surge a possibilidade de se fazer afirmações qualitativas, tais como, o perfil da estaca da esquerda está meio concretado, enquanto o perfil da estaca da direita está quase totalmente concretado. Assim, destaca-se o ponto principal da lógica *fuzzy*, utilizar afirmações incertas criadas linguisticamente em escalas de valores que buscam quantificar o volume de concreto utilizado.

Para a lógica *fuzzy*, a definição das chamadas variáveis linguísticas diferentemente da lógica tradicional são de extrema relevância, pois possibilitam captar o grau de incerteza presente nessas variáveis e traduzir para um modelo matemático. Esta tradução realizada pela lógica *fuzzy* transforma uma variável linguística em um número que a quantifica. Esse valor é denominado valor de pertinência e, é obtida por meio das funções de pertinência. As variáveis reais são associadas termos linguísticos que são quantificadores atribuídos a uma variável

linguística a ser mensurada. Os termos linguísticos associam-se a funções de pertinência, relacionando-os a graus de pertinência, possibilitando um significado numérico. De fato, na lógica *fuzzy*, associa-se um valor $\mu(p)$ a uma proposição p , indicando o grau de veracidade dessa proposição.

As funções de pertinência são normalizadas significando que o máximo valor que assume é sempre igual a 1, correspondendo a 100% de pertinência, enquanto, o mínimo valor é sempre 0, indicando que o valor não pertence ao grupo.

As funções de pertinência *fuzzy* representam os aspectos fundamentais de todas as ações teóricas e práticas de sistemas *fuzzy*, podendo ser uma função numérica gráfica ou tabulada que atribui valores de pertinência *fuzzy* para valores de uma variável linguística em seu conjunto universo. O universo da variável representa o intervalo numérico de todos os possíveis valores reais que uma variável específica pode assumir (Gabriel Filho *et al.*, 2012).

Zadeh (1965) constatou que alguns elementos podem ter características que pertencem mais a um conjunto do que a outros, ou seja, o valor de pertinência assumirá qualquer número entre 0 e 1, sendo 0 o valor referente à exclusão e 1 o valor referente à total pertinência. Por exemplo, a função de pertinência triangular (Figura 2.13) que tem como base o intervalo $[a, c]$ e, como vértice o ponto $(b, 1)$, sugere a ideia de que quanto mais perto de b , mais a variável linguística se identifica com o conceito representado.

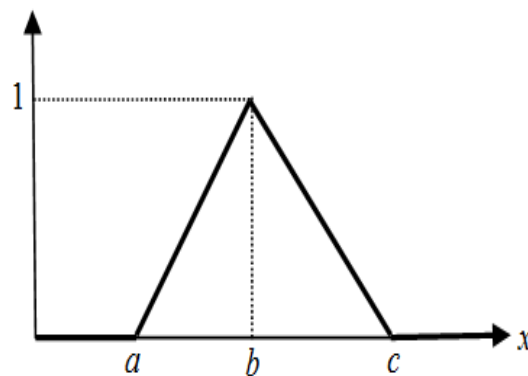


Figura 2.13 – Modelo triangular (Gabriel Filho *et al.*, 2012)

Gomide & Gudwin (1994) explicam que a ideia *fuzzy* é modelar as ações a partir de conhecimento especialista, ao invés de, necessariamente, modelar o processo em si, o que leva a uma abordagem diferente dos métodos convencionais de controle de processos. Neste controle ocorre o desenvolvimento via modelagem matemática dos processos de modo a derivar as ações de controle como função do estado do processo. Ainda de acordo com os autores, a motivação

para esta nova abordagem veio de casos onde o conhecimento especialista de controle era disponível, seja por meio de operadores ou de projetistas, e os modelos matemáticos envolvidos eram muito custosos ou muito complicados para serem desenvolvidos. Uma exemplificação da estrutura de um processo em que é representado por um controlador *fuzzy* é mostrada na Figura 2.14, enfatizando-se seus componentes básicos: a interface de *fuzzyficação*, a base de conhecimento, a base de dados, o procedimento de inferência e a interface de *defuzzyficação*.

De modo simplificado tem-se que a *interface de fuzzyficação* adota os valores das variáveis de entrada, faz um escalonamento para condicionar os valores aos universos de discurso normalizados e *fuzzyfica* os valores, transformando números em conjuntos *fuzzy*, de modo que possam se tornar instâncias de variáveis linguísticas. Nesta etapa é importante que todos os dados de imprecisão e incerteza sejam considerados e transformados em variáveis linguísticas, e após esta transformação determina-se os valores de pertinência a partir das funções de pertinência. A *base de conhecimento* consiste de uma base de regras caracterizando a estratégia de controle e suas metas.

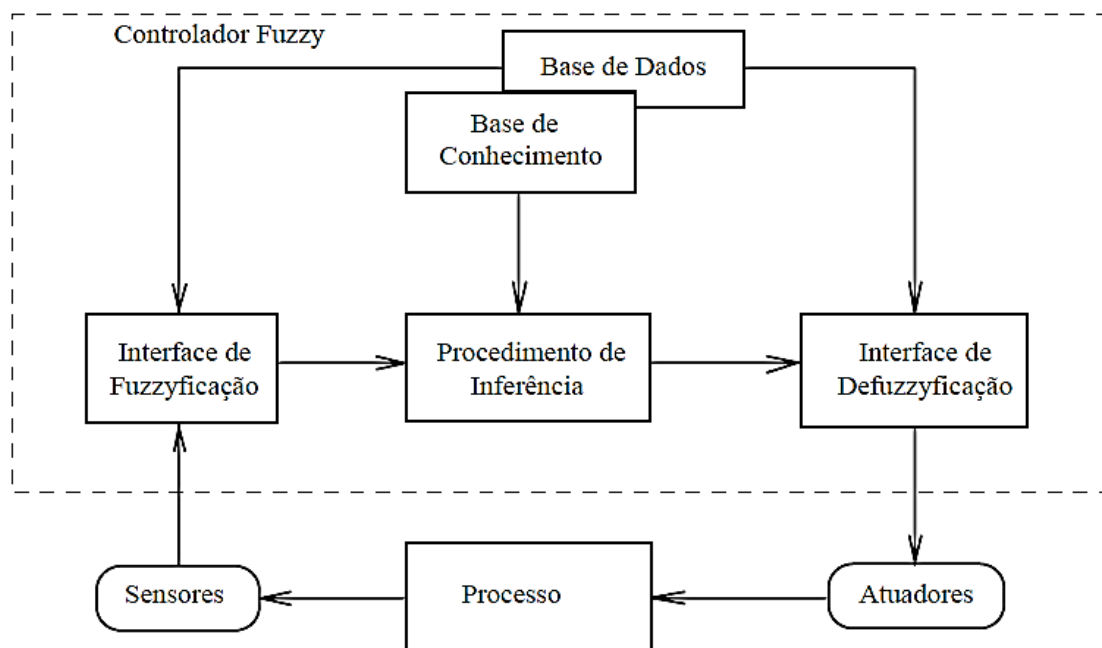


Figura 2.14 – Estrutura Básica de um Controlador *Fuzzy*

A *base de dados* armazena as definições necessárias sobre discretizações e normalizações dos universos de discurso, as partições *fuzzy* dos espaços de entrada e saída e as definições das funções de pertinência. O *procedimento de inferência* processa os dados *fuzzy* de entrada junto com as regras, de modo a inferir as ações de controle *fuzzy*, aplicando o operador de implicação

fuzzy e as regras de inferência da lógica *fuzzy*. Neste momento, as proposições são geradas do relacionamento entre as variáveis do modelo e a região *fuzzy*. Essas regras resultantes das associações podem ser condicionais ou não condicionais. Por fim, a interface de *defuzzificação*, que transforma as ações de controle *fuzzy* inferidas em ações de controle não-*fuzzy*, ou seja, é a etapa em que os valores são convertidos em números reais tendo assim um conjunto de saída matematicamente definido.

Vale mencionar que a fase de *defuzzificação* descreve o mapeamento de um espaço de ação de controle *fuzzy* em uma ação de controle não *fuzzy*. Na verdade, produz uma ação não *fuzzy* que melhor representa a saída *fuzzy* deduzida. Trata-se da etapa mais demorada em um processamento *fuzzy*.

2.5.1 OPERADORES FUZZY

Uma vez definido o valor lógico das proposições envolvidas em um problema, ou o seu grau de pertinência, em qualquer uma destas áreas, pode-se também definir as operações lógicas entre estas proposições, permitidas na lógica *fuzzy*. Os operadores lógicos *fuzzy* são o NÃO, o E e o OU.

Da mesma forma que na lógica trivalente, é intuitivo que determinadas propriedades, destes operadores, sejam mantidas. Se um operador NÃO_ *fuzzy*, for aplicado sobre o valor de uma proposição *fuzzy* que seja 0 ou 1, esse deve retornar o mesmo valor que um operador NÃO retornaria na lógica dicotômica. Dentro desta linha de raciocínio, os operadores lógicos NÃO_ *fuzzy*, E_ *fuzzy* e OU_ *fuzzy* são definidos por:

$$\text{NÃO_fuzzy}(\mu(x)) = 1 - \mu(x) \quad (2.14)$$

$$\text{E_fuzzy}(\mu(x), \mu(y)) = \min(\mu(x), \mu(y)) \quad (2.15)$$

$$\text{OU_fuzzy}(\mu(x), \mu(y)) = \max(\mu(x), \mu(y)) \quad (2.16)$$

2.5.2 MODELOS

Vários são os modelos utilizados quando da análise através da lógica *fuzzy*, contudo os dois modelos mais utilizados são os propostos por Mamdani e Sugeno.

2.5.2.1 MODELO MAMDANI

O modelo Mamdani presume as regras de inferência sejam representadas nas formas:

$$\text{Se } x_1 = A_1 \text{ E } x_2 = A_j \text{ E } \dots \text{ E } x_p = A_k \text{ ENTÃO } y_1 = B_i \text{ E } y_2 = B_m \quad (2.17)$$

$$\text{Se } x_1 = A_1 \text{ OU } x_2 = A_j \text{ OU } \dots \text{ OU } x_p = A_k \text{ ENTÃO } y_1 = B_i \text{ OU } y_2 = B_m \quad (2.18)$$

onde,

x_i = entradas do sistema;

A_i = termos primários definidos nos conjuntos *fuzzy*;

y_i = saídas do sistema;

B_i = termos primários definidos nos conjuntos *fuzzy*.

Na inferência, o modelo propõe que os antecedentes de cada regra da base de regras sejam processados por meio da operação de intersecção *fuzzy*, que todo o processo gere um grau de pertinência de ativação para cada regra, e que todas as regras que possuírem um grau de pertinência de ativação maior do que zero contribuam para o cálculo da saída.

O modelo de inferência de Mandani é dividido em quatro passos. O primeiro é a *fuzzyficação* das variáveis de entrada. São escolhidas as entradas e determinado o grau de pertinência a cada um dos conjuntos *fuzzy* apropriados. A avaliação de regras é o segundo passo, que faz a avaliação com a disjunção dos antecedentes (**OU**) ou conjunção dos antecedentes (**E**). Logo após vem a agregação de regras de saída em que são executados os processos de unificação das saídas de todas as regras, tomando-se as funções de pertinência de todas as consequentes das regras previamente clipadas ou escalonadas, e combinando em um único conjunto nebuloso. O último passo é a *deffuzzyficação* das variáveis nebulosas de saída, que é um procedimento de transformação do conjunto *fuzzy* em um número.

Através deste modelo, a resposta final é dada pelos operadores **MIN** para a implicação *fuzzy* e, **MAX-MIN** para a composição *fuzzy* que são aplicadas a cada uma das regras *fuzzy* (Figura 2.15).

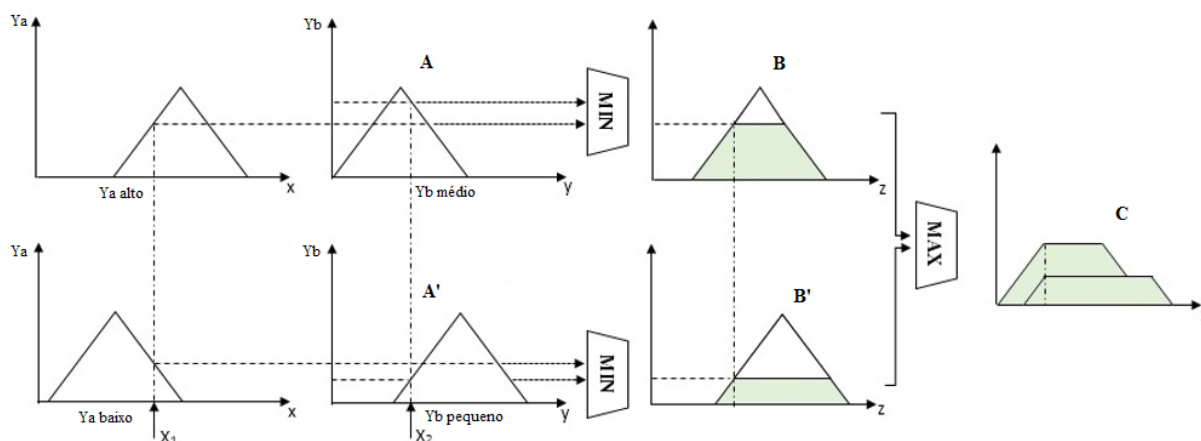


Figura 2.15 – Procedimento geral da inferência Mamdani (modificado - Alvino, 2003)

Alvino (2003) apresentou um exemplo em que para determinados valores de entrada x_1 e x_2 , sendo que x_1 pode apresentar duas regras *fuzzy* (baixo e alto) na variável Y_a ; e x_2 com duas regras *fuzzy* (pequeno e médio) na variável Y_b . É possível observar do detalhe A e A' para o B e B' a aplicação do operador MIN dentre as variações da ativação de duas regras *fuzzy*, ou seja, o mínimo entre Y_a alto e Y_b médio equivale a Y_a alto, e Y_a baixo e Y_b pequeno equivale a Y_b pequeno. Já do detalhe B e B' para C, nota-se os resultados do operador MAX (Figura 2.15) obtidos das *fuzzificações* do operador MIN de x_1 (Y_a alto) e x_2 (Y_b pequeno). Com a realização das operações são obtidos os conjuntos *fuzzy* em cada regra, em que são realizados os processos de agregação (detalhe C) em que é aplicada o operador MAXIMO e *defuzzificação* para obter o resultado final.

2.5.2.2 MODELO SUGENO

Este método foi proposto originalmente por Takagi & Sugeno (1985), mas o modelo Takagi-Sugeno (TS) também é conhecido na literatura como Takagi-Sugeno-Kang (TSK). Este fato deve-se aos trabalhos subsequentes de Sugeno & Kang (1986) relacionados a metodologias desenvolvidas para identificação desse modelo. O modelo TS tem a capacidade de aproximar uniformemente funções quaisquer em um domínio compacto, ou seja, realiza uma aproximação universal.

A desvantagem da utilização do modelo Sugeno sobre outros modelos *fuzzy* deve-se ao fato dos outros modelos serem sistemas dinâmicos, ou seja, os sistema dinâmicos demandam uma menor quantidade de regras **SE-ENTÃO**, o que facilita substancialmente a tarefa de identificação.

Em relação ao controle, os modelos TS permitem conciliar técnicas de controle não-linear e, ao mesmo tempo, estender de forma rigorosa resultados da teoria de controle de sistemas lineares.

O modelo TS ainda busca modelar a dinâmica não-linear por meio da interpolação de modelos dinâmicos lineares, utilizando as funções de pertinência que geralmente são não-lineares e possuem derivadas contínuas. Assim, resulta em uma combinação convexa de modelos locais que é suave e não-linear.

Em relação ao processo de *fuzzyficação*, este é semelhante ao utilizado pelo Mamdani, exceto pelo fato de que normalmente não se usa a função **MIN**. A saída numérica é calculada diretamente pela soma das saídas das regras, ponderada pelos valores de ativação de cada uma delas, sendo utilizado para problemas de estimação, ou seja, substitui uma planta real por um estimador.

2.5.3 FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA

As funções de pertinência mais comumente utilizadas são as triangulares (*trimf*), as trapezoidais (*trapmf*) e as gaussianas (*gaussmf*). Cada função de pertinência associa à máxima pertinência ao valor um, e associa o valor zero à mínima pertinência.

As funções de pertinência triangulares (*trimf*) são caracterizadas por um terno ordenado $[a, b, c]$ em que a e c determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência assume valores diferentes de zero, e b é o ponto onde a função de pertinência assume o máximo valor (Figura 2.16).

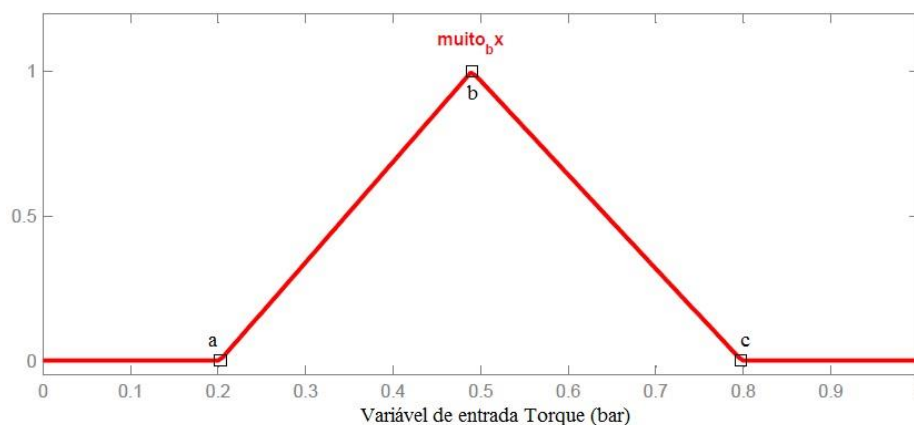


Figura 2.16 – Função de pertinência triangular

Matematicamente, a função de pertinência triangular é dada por:

$$f_{trimf}(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{se } a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{se } b < x \leq c \\ 0 & \text{se } x > c \end{cases} \quad (2.19)$$

A Equação 2.20 representada utilizando os operadores lógicos é dada por:

$$f_{trimf}(x, a, b, c) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right) \quad (2.20)$$

A função de pertinência trapezoidal (trapmf) é caracterizada por um conjunto de quatro valores [a, b, c, d], de modo que a e d determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência assume valores diferentes de zero, e b e c refere-se ao intervalo dentro do qual a função de pertinência é máxima e igual a um (Figura 2.17).

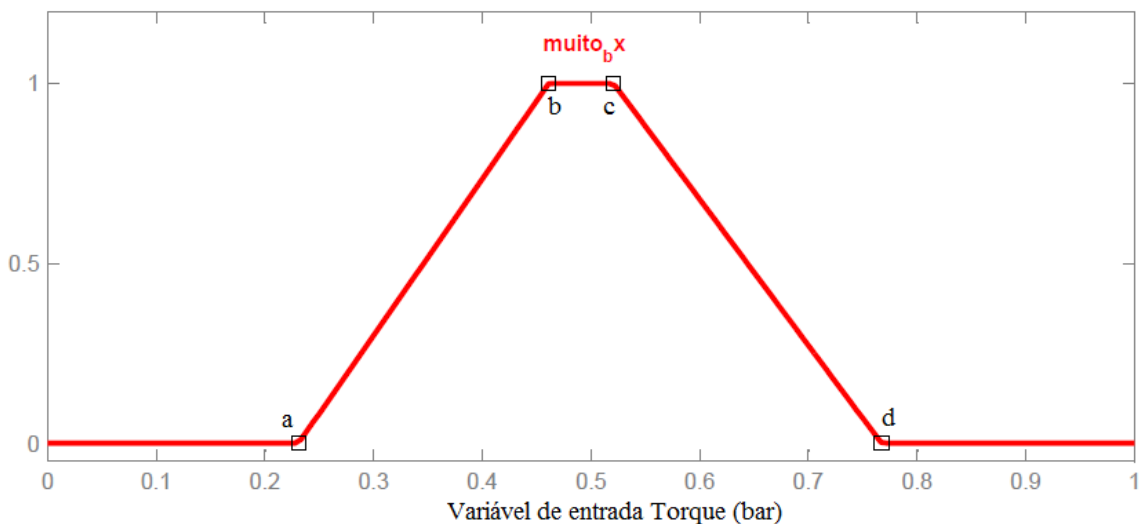


Figura 2.17 – Função de pertinência trapezoidal

Neste caso, matematicamente a função de pertinência trapezoidal é dada por:

$$f_{trampf}(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{se } a < x \leq b \\ 1 & \text{se } b < x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{se } c < x \leq d \\ 0 & \text{se } x > d \end{cases} \quad (2.21)$$

A Equação 2.21 representada utilizando os operadores lógicos é dada por:

$$f_{trampf}(x, a, b, c, d) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c}\right), 0\right) \quad (2.22)$$

A função de pertinência gaussiana (gaussmf) é caracterizada pela média (μ) e pelo desvio padrão (σ) associados à variável de entrada. Ela apresenta um decaimento suave e têm valores diferentes de zero para todo domínio da variável estudada (Figura 2.18).

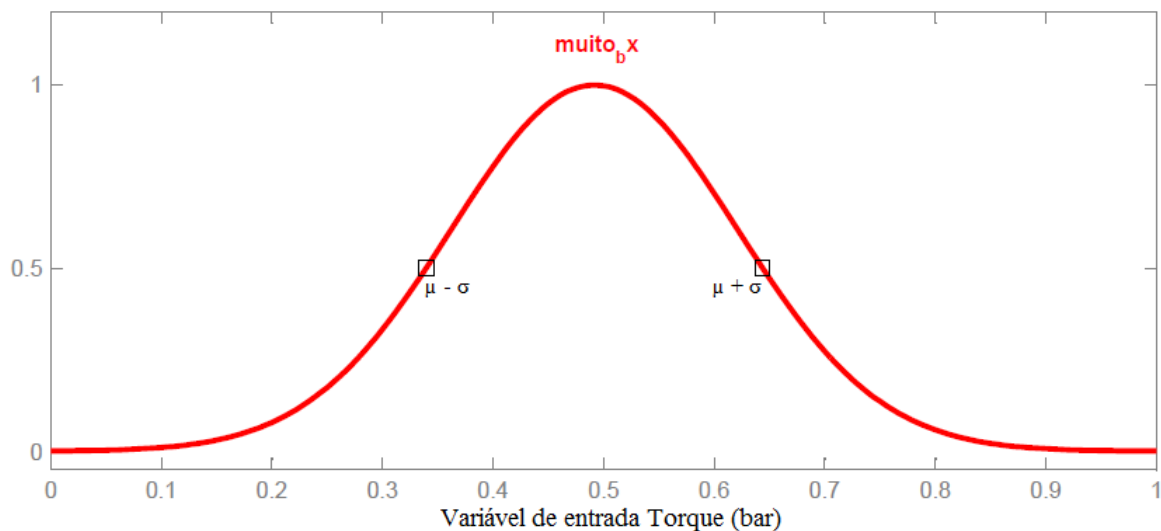


Figura 2.18 – Função de pertinência gaussiana

A função de pertinência Gaussiana, matematicamente é representada por:

$$f_{gaussmf}(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right) \quad (2.23)$$

2.6 APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY

A aplicação da lógica *fuzzy* nos dias de hoje se dá nas mais diversas áreas, devido a sua característica de lidar com problemas reais em um raciocínio próximo do humano. Entre as mais importantes aplicações incluem-se: a BOVESPA, no qual se realizam os controles financeiros; a NASA, em que se controla o aquecimento dos motores das espaçonaves; os Radares de Velocidades, para reconhecimento das placas; a Supervisão de Linhas de Produção, em que são efetuados controles necessários e Robôs, buscando processamentos próximos do humano.

Na área da Engenharia Civil, a lógica *fuzzy* foi utilizada em pequena escala, principalmente quando associado a estudos geotécnicos e estudos para fundações. Alguns dos poucos exemplos da utilização da lógica *fuzzy* na geotecnia são apresentados a seguir.

Zhang & Tumay (1999) propuseram um sistema de classificação *fuzzy* para analisar os dados de ensaios CPT (Cone Penetration Test). Foram definidos três tipos de solos para a classificação *fuzzy*, que se enquadrariam como solos de alta probabilidade de argila (HPC), solos com alta probabilidade de siltes (HPM) e solos com alta probabilidade de areias (HPS). Desta forma, os solos poderiam ser agrupados nos três grupos: HPC, HPM e HPS, e a composição dos grupos seria definida pelas características e propriedades obtidas pelo ensaio CPT. Para realizar esta classificação, os autores aproximaram as distribuições de probabilidade normal para os três tipos de solos, de modo que a confirmação desta normalidade foi realizada a partir de testes de Kolmogorov-Smirnov e Qui-Quadrado. Assim, observou-se que os solos classificados como HPC mostram comportamentos mecânicos no perfil correspondente ao comportamento mecânico de um solo argiloso típico, com baixa resistência e permeabilidade, mas com alta compressibilidade. Os solos HPS, em geral, têm propriedades de alta resistência e permeabilidade, mas apresentam baixa compressibilidade, o que corresponde a uma resistência de ponta mais elevada e uma proporção menor de atrito. Já os solos HPM estão entre HPS e HPC.

Zayed (2005) em seu trabalho apresenta uma tentativa de armazenar a partir do sistema *fuzzy* a experiência subjetiva dos especialistas, através de um modelo proposto que utiliza como variáveis o tipo de solo, condições ambientais, a posição do lençol freático, e a localização do estrato granular como variáveis de entrada. Deste modo, foi estudado o método de construção da estaca apropriado como dado de saída. O autor informa que o uso de variáveis de entrada e de saída na elaboração das regras *fuzzy* do sistema são utilizadas para englobar a maior parte das características do método de seleção das estacas, de forma que o sistema *fuzzy* é validado

para provar sua robustez na escolha do método apropriado da construção. A análise da sensibilidade é realizada para verificar o adotado nas regras do sistema *fuzzy* para quaisquer mudanças nos parâmetros escolhidos.

Ramos *et al.* (2010) apresentam procedimentos que quantificam a partir da prova de carga o valor da capacidade de carga de fundações relacionando com os valores do SPT (Standart Penetration Test). Foram avaliadas as influências das incertezas e aferidos os fatores de segurança considerados confiáveis nos cálculos realizados. Assim, os autores puderam avaliar a influência da variabilidade dos parâmetros na determinação da capacidade de carga, na determinação do fator de segurança real da fundação e a confiabilidade dos métodos existentes para cálculo da capacidade de carga.

Ressalta-se ainda que sobre o estudo proposto nesta tese ainda não existem pesquisas concretas realizadas ou bibliografias que associem o controle das estacas hélice contínua à lógica *fuzzy*.

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada nessa tese de doutorado foi dividida em sete etapas:

- Realização de Ensaio de Campo com medição de Pressão Arterial.
- Escolha das Variáveis Linguísticas de Entrada e Saída.
- Definição das Regras de *Fuzzyficação*.
- Elaboração do Sistema Inteligente.
- Validação dos Ensaio de Campo por meio de Solução Analítica.
- Validação dos Ensaio de Campo por meio do Sistema Inteligente.
- Aplicação do Sistema Inteligente em Projetos de Estacas Hélice Contínua.

Para uma melhor compreensão das diferentes etapas da metodologia adotada apresenta-se um esquema metodológico na Figura 3.1.

3.1 REALIZAÇÃO DE ENSAIO DE CAMPO COM MEDIÇÃO DE PRESSÃO ARTERIAL

Os ensaios de campo foram realizados em três obras, sendo duas situadas em Brasília e a terceira no Rio de Janeiro (RJ). Todas as fundações em estaca hélice foram executadas seguindo as orientações da metodologia SCCAP. Todo o processo executivo foi totalmente controlado em termos de parâmetros do maquinário e das variáveis envolvidas no processo de dimensionamento proposto neste trabalho. Para a variável pressão arterial média, apenas as obras de Brasília foram controladas.

As obras de Brasília localizam-se no Setor de Indústria e Abastecimento Trecho 1 e Trecho 5, e a do Rio de Janeiro na Avenida Araruama (Figuras 3.2 a 3.4). As obras se referiam a empreendimentos comerciais e residenciais, com estacas de diâmetros variando de 40 a 80 cm para as obras de Brasília e 80 cm para a obra do RJ. Os comprimentos das EHC variaram em média de 15 a 17 m para as obras de Brasília e de 8 a 10 m para a obra do RJ. Nas três obras, foram utilizadas máquinas do tipo CZM (Figura 3.5), modelo EM 800/30 e composta por sensores já instalados que permitiram captar os dados dos parâmetros estudados.

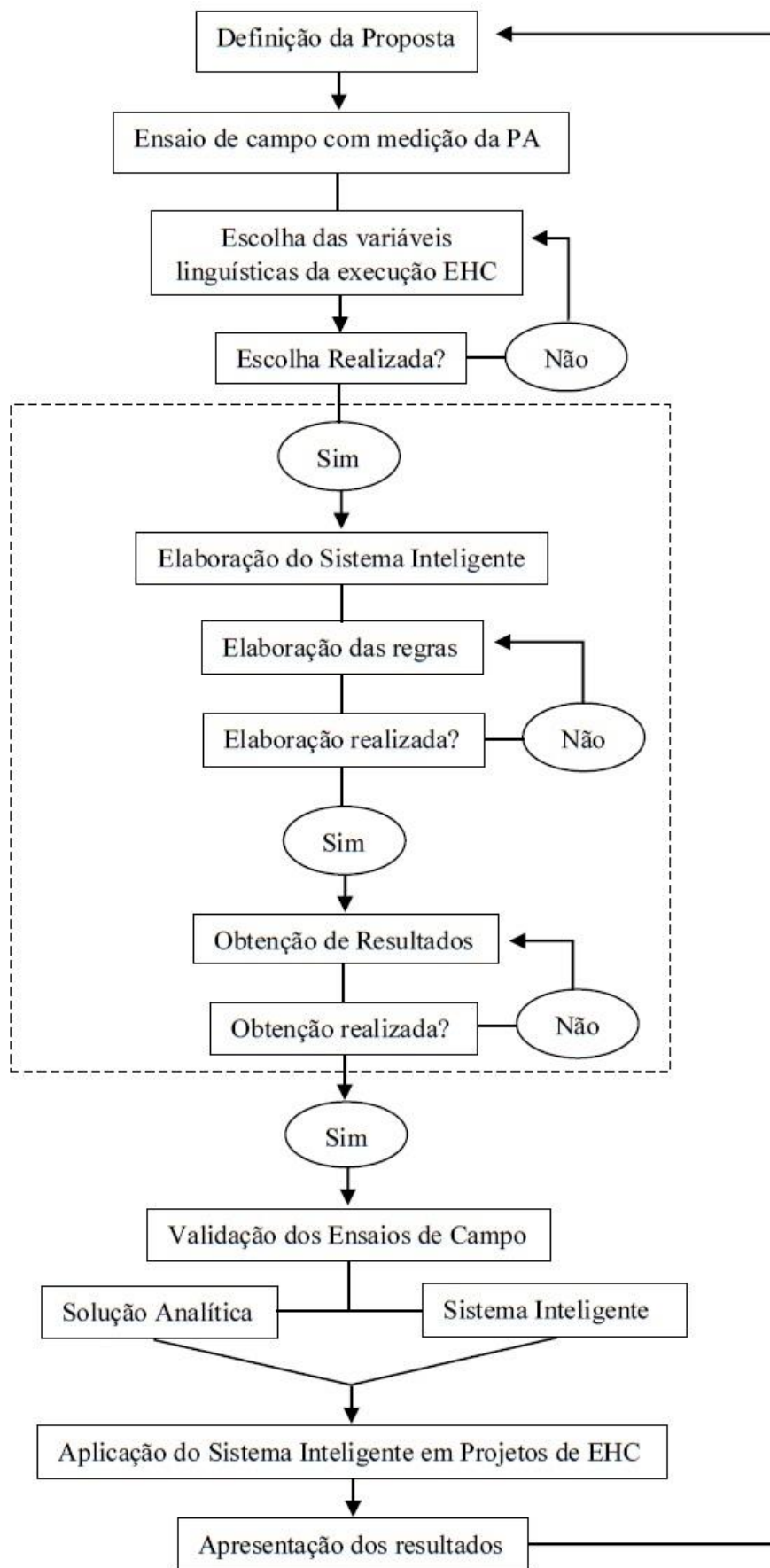


Figura 3.1 – Esquema Metodológico



Figura 3.2 – Obra A: Trecho 5, Lotes 10 a 60 - Brasília-DF



Figura 3.3 – Obra B: Trecho 1, Lote 780 - Brasília-DF

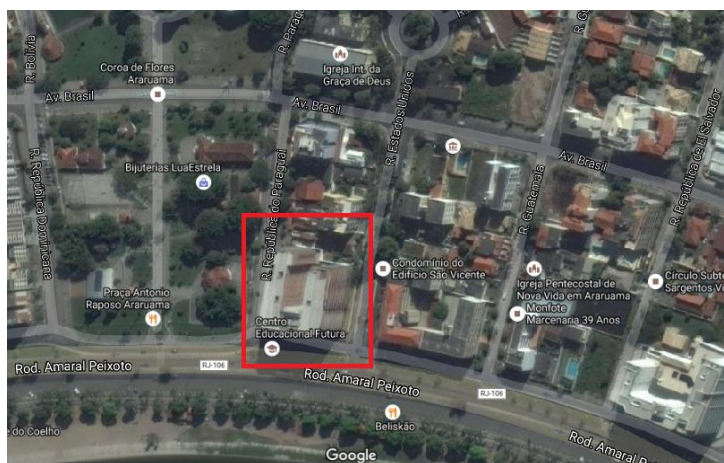


Figura 3.4 – Obra C: Avenida Araruama, No. 155, Parque Hotel – Rio de Janeiro - RJ

Em relação ao maquinário, ressalta-se que os sensores estavam interligados com os softwares de aquisição de dados, como o SACI (Figura 3.6), e com a metodologia SCCAP implantada. Assim, será possível reportar as condições estabelecidas a partir das regras de *fuzzyficação* que serão utilizadas pelo sistema inteligente e que servirão de auxílio nas etapas de validação e controle do estaqueamento.

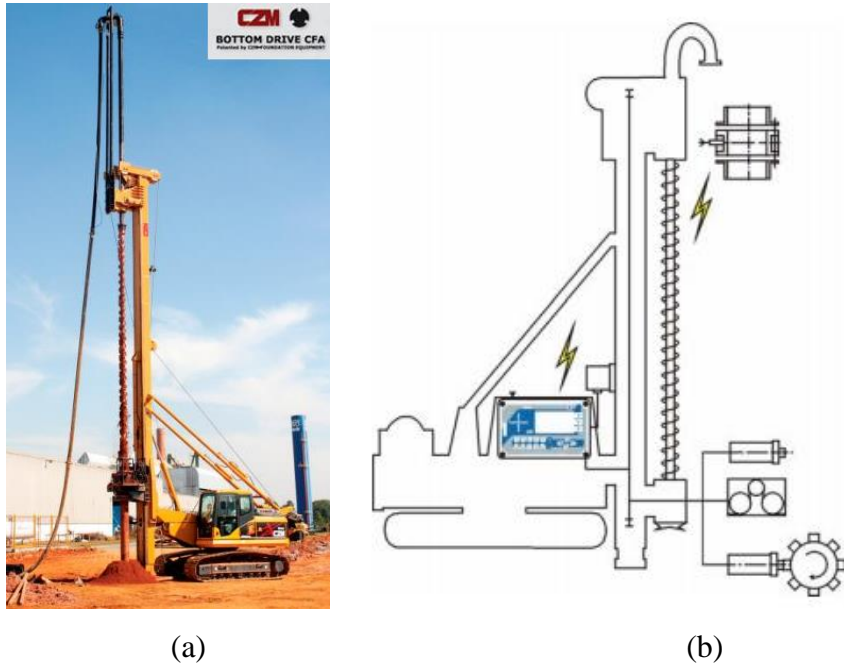


Figura 3.5 – Maquinário: (a) CZM, modelo EM 600; (b) Detalhe do maquinário com a localização dos sensores

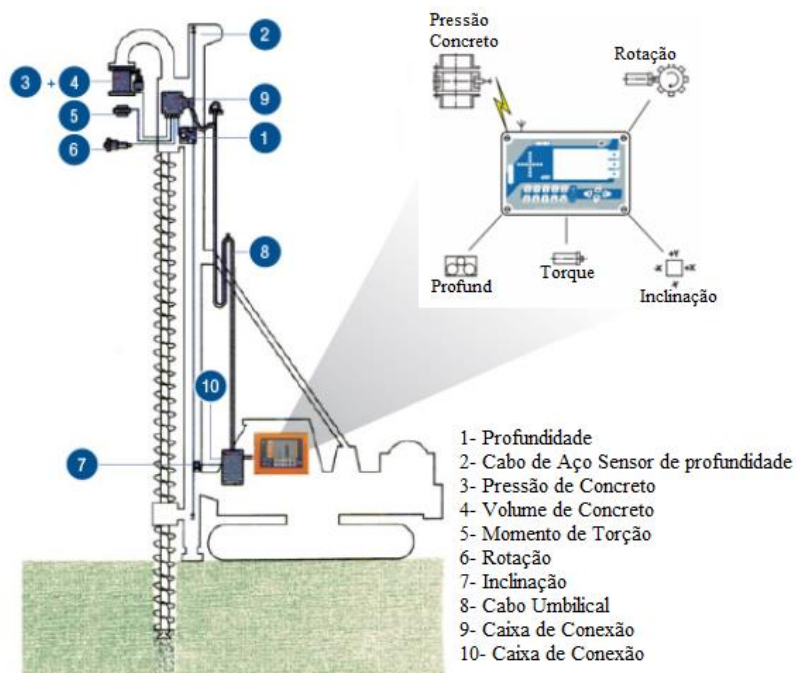


Figura 3.6 – Sistema de monitoramento

No caso das obras em Brasília, também houve o controle de pressão arterial dos funcionários, durante o processo de execução das estacas hélice contínua. Para a variação de pressão, considerando que não se dispunha de equipamentos médicos que medissem a frequência cardíaca (por eletrocardiograma), utilizou-se aparelhos de pulso para a medição de pressão arterial. Heine (1970), Lindquist *et al.* (1997), Alves (2004), Fonseca (2009), Moxotó *et al.* (2015) correlacionam os dados da pressão com o estado de humor da pessoa, dentre eles a raiva e o estresse. Optou-se ainda por medir a pressão durante a execução das estacas, para obter maior clareza em relação à pressão arterial do operador durante o trabalho realizado. Visando minimizar erros médicos nos dados obtidos, e considerando a literatura científica que versa sobre o tema (Heine, 1970; Lindquist *et al.*, 1997; Alves, 2004; Fonseca, 2009; Moxotó *et al.*, 2015), adotou-se para a análise a ser realizada a medida de pressão arterial média (PAM), sendo dada por:

$$PAM = \frac{PAS + 2.PAD}{3} \quad (3.1)$$

onde,

PAS = pressão arterial sistólica [mmHg];

PAD = pressão arterial diastólica [mmHg];

PAM = pressão arterial média [mmHg].

3.2 ESCOLHA DAS VARIÁVEIS LINGUÍSTICA DE ENTRADA E SAÍDA

Nesta etapa foram levantados as principais variáveis existentes durante o procedimento de execução das estacas hélice contínua. Durante este levantamento, além das variáveis presentes nos relatórios de monitoramento, foram incluídos variáveis adicionais com a finalidade de garantir uma maior aproximação do sistema inteligente à realidade de campo (Tabela 3.1).

Após estabelecido as variáveis envolvidas no processo executivo, foram selecionadas algumas para serem implementadas no sistema inteligente. As variáveis escolhidas foram divididas em dois grupos, correspondendo as variáveis linguísticas de entrada e as variáveis linguísticas de saída do sistema inteligente (Tabela 3.2).

Na Tabela 3.3 são apresentados os valores mínimo e máximo encontrados para cada uma das variáveis linguísticas de entrada e saída definidas na Tabela 3.2, com base nos relatórios

obtidos de ensaios de campo, com exceção da capacidade de carga, que foi calculada com base nas metodologias de Décourt-Quaresma (1978), Alonso (1996), e Antunes & Cabral (1996).

Após a definição dos valores mínimo e máximo para cada uma das variáveis linguísticas, partiu-se para a definição dos termos linguísticos conforme Tabela 3.4.

Para essa etapa, do total de dados, 70% foram utilizados para o processo de formulação de regras. Dos 30% restantes, escolheu-se 10% aleatoriamente para a etapa de calibração e validação dos dados.

Tabela 3.1 – Variáveis presentes no processo executivo

VARIÁVEIS	
PRESENTES RELATÓRIO	ADICIONAIS
TORQUE (kN/m)	ENERGIA (MJ)
ROTAÇÃO (rpm)	VELOCIDADE IDEAL PERFURAÇÃO (m/h)
VELOCIDADE DE PERFURAÇÃO (m/h)	QUALIDADE DA ESTACA
PRESSÃO DE CONCRETAGEM (kPa)	CONFIABILIDADE DA ESTACA
VELOCIDADE DE EXTRAÇÃO (m/h)	VARIAÇÃO DA PRESSÃO ARTERIAL MÉDIA DO OPERADOR (mmHg)
TRABALHO (MJ)	RESISTÊNCIA DO SOLO (N_{SPT})
SUPERCONSUMO DE CONCRETO (%)	CAPACIDADE DE CARGA ADMISSÍVEL (kN)

Tabela 3.2 – Variáveis de entrada e saída

VARIÁVEIS ETAPA A	
ENTRADA	SAÍDA
TORQUE (kN/m)	ENERGIA (MJ)
VELOCIDADE IDEAL DE PERFURAÇÃO (m/h)	CAPACIDADE DE CARGA ADMISSÍVEL (kN)
VARIAÇÃO DE PRESSÃO ARTERIAL MÉDIA DO OPERADOR (mmHg)	
RESISTÊNCIA DO SOLO (N_{SPT})	
SUPERCONSUMO DE CONCRETO (%)	

Tabela 3.3 – Valores mínimo e máximo das variáveis

VARIÁVEL	VALORES	
	MIN.	MÁX.
TORQUE (kN/m)	0	125
VELOCIDADE IDEAL DE PERFURAÇÃO (m/h)	0	200
VARIAÇÃO DE PRESSÃO ARTERIAL MÉDIA DO OPERADOR (mmHg)	3	7
RESISTÊNCIA DO SOLO (N_{SPT})	1	40
SUPERCONSUMO DE CONCRETO (%)	0	100
ENERGIA (MJ)	0	72
CAPACIDADE DE CARGA ADMISSÍVEL (kN)	0	2000

3.1 DEFINIÇÃO DAS REGRAS FUZZYFICAÇÃO

As regras de *fuzzyficação* foram elaboradas preliminarmente a partir das considerações por parte da autora da tese, de dados reais das três obras em estudo, além do conhecimento prático dos operadores e engenheiros construtores conhecedores da metodologia executiva de estaca hélice contínua.

Foram definidas um total de 1.280 regras, formuladas a partir das diferentes combinações obtidas entre as variáveis linguísticas de entrada, resultando em uma resposta de saída. Nas Figuras 3.7 a 3.11 são apresentadas algumas dessas regras.

Todas as regras de *fuzzyficação* empregadas no sistema inteligente encontram-se apresentadas na Tabela A.1 do Apêndice A.

3.2 ELABORAÇÃO DO SISTEMA INTELIGENTE

Depois que todas as regras de *fuzzyficação* foram definidas para o conjunto de variáveis de entrada e de saída, utilizou-se o programa Matlab 7.8® e a ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox*® para criação do sistema inteligente.

O Matlab 7.8® da empresa The Mathworks, Inc. (2009), foi escolhido por ser um *software* especializado e otimizado para cálculos científicos e de engenharia, além de dispor de recursos gráficos úteis para o gerenciamento na criação do modelo.

Tabela 3.4 – Intervalos da Etapa A.1

	VARIÁVEL	RAZÃO	INTERVALO	TERMO LINGUÍSTICO
ENTRADA	TORQUE (kN/m)	0,25 T	0 – 31,25	Muito baixo
		0,50 T	31,25 – 62,50	Baixo
		0,75 T	62,50 – 93,75	Médio
		1 T	93,75 – 125	Alto
	VELOCIDADE IDEAL DE PERFURAÇÃO (m/h)	0,25 V	0 – 25	Inicial
		0,50 V	25,1 – 50	Regular
		0,75 V	50,1 – 80	Ideal
		1 V	80,1 – 100	Atenção
	RESISTÊNCIA DO SOLO (N _{SPT})		<= 4	Fofo ou Muito Mole a Mole
			5 – 8	Pouco compacto ou Mole a Média
			9 – 18	Medianamente compacto ou Média a Rija
			19 – 40	Compacto ou Rija a Dura
			> 40	Muito compacto ou Dura
	SUPERCONSUMO DE CONCRETO (%)		0 – 5	Crítica
			6 – 10	Alerta
			11 – 20	Boa
			20 – 100	Prejuízo
	VARIAÇÃO DA PRESSÃO ARTERIAL DO OPERADOR (mmHg)		3 – 4	Calmo
			4 – 4,75	Agitado
			4,76 – 5,5	Estressado
		5,51 – 7	Raiva	
SAÍDA	ENERGIA (MJ)	0,35 E	0 – 25,2	Boa
		0,65 E	25,61 – 46,80	Media
		1 E	46,81 – 72	Alta
	CAPACIDADE DE CARGA ADMISSÍVEL (kN)		0 – 500	Baixa
			501 – 1.000	Intermediaria
			1.001 – 2.000	Elevada

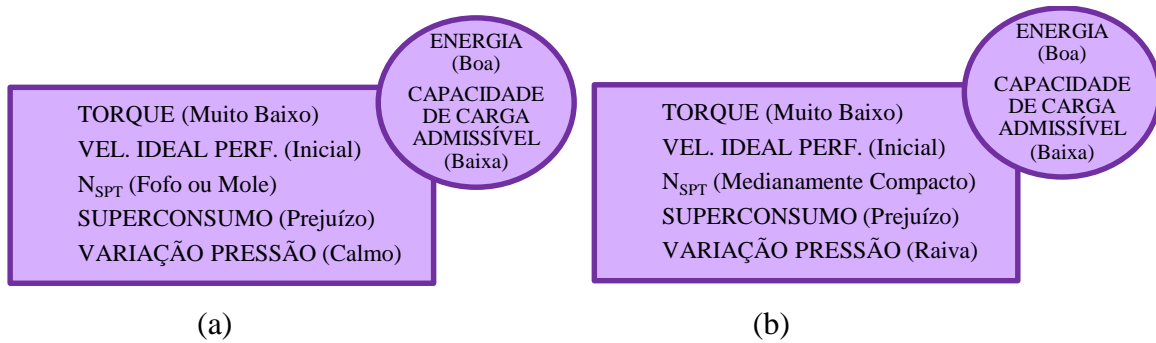


Figura 3.7 – Exemplo das regras: (a) 61 e (b) 72

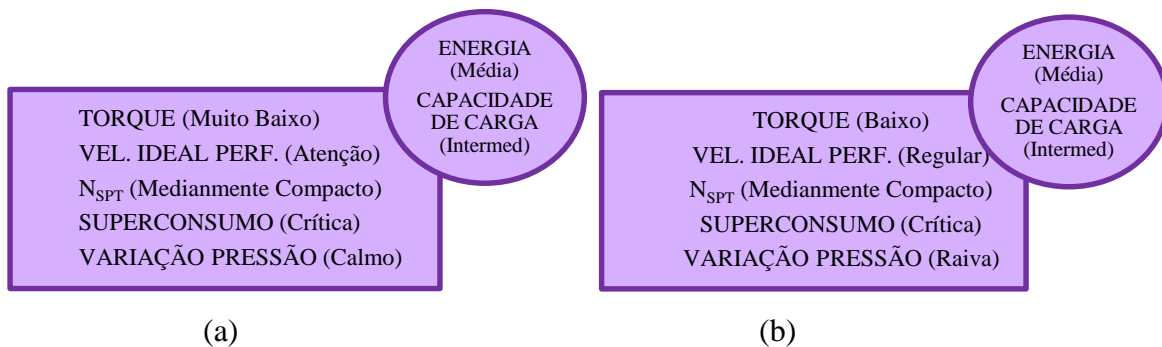


Figura 3.8 – Exemplo das regras: (a) 249 e (b) 420

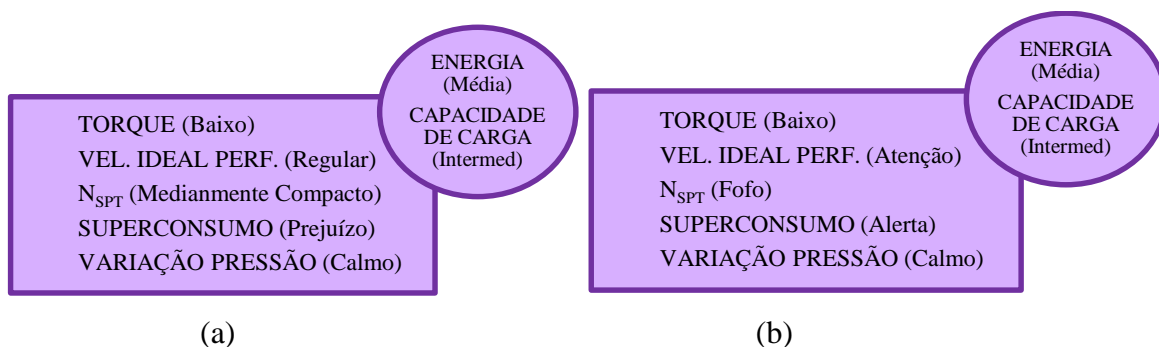


Figura 3.9 – Exemplo das regras: (a) 469 e (b) 581

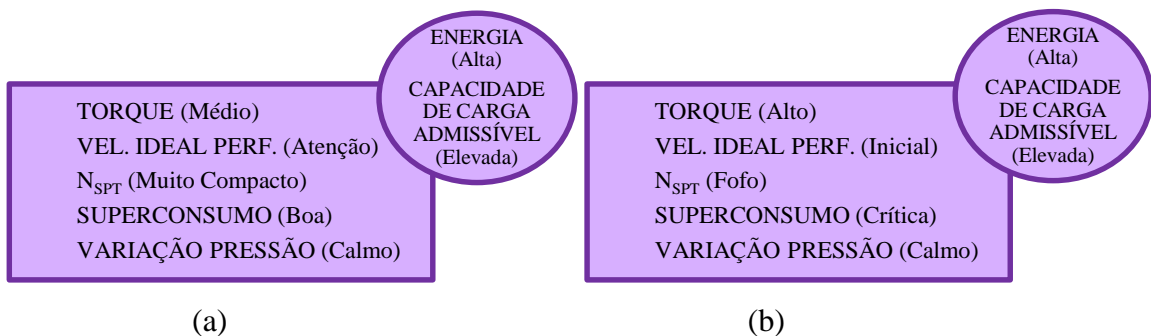


Figura 3.10 – Exemplo das regras: (a) 937 e (b) 961

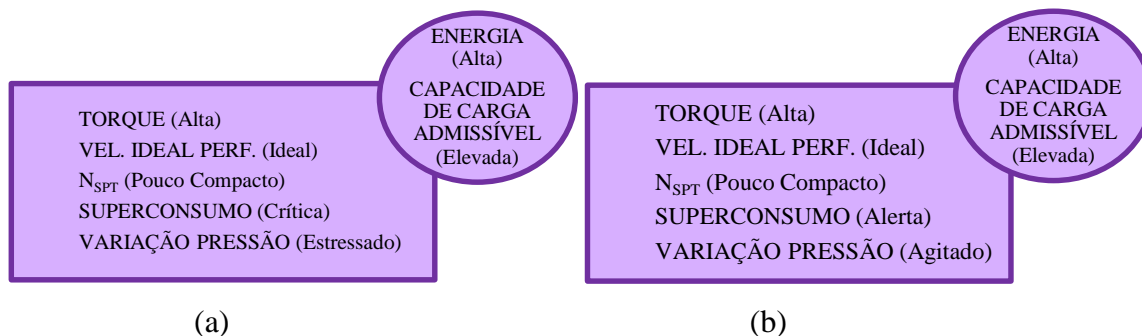


Figura 3.11 – Exemplo das regras: (a) 1127 e (b) 1146

Através do toolbox *Fuzzy Inference System* (FIS) foi modelado todo o raciocínio *fuzzy* (Figura 3.12) que, é composto por um conjunto de transformadores difusos (variáveis linguísticas), funções de pertinência (*membership functions* - MFs) e por uma base de regras, que, após o processo de *defuzzificação* possibilita a visualização da variável ou das variáveis de saída do sistema em termos numéricos e, não mais, qualitativos.

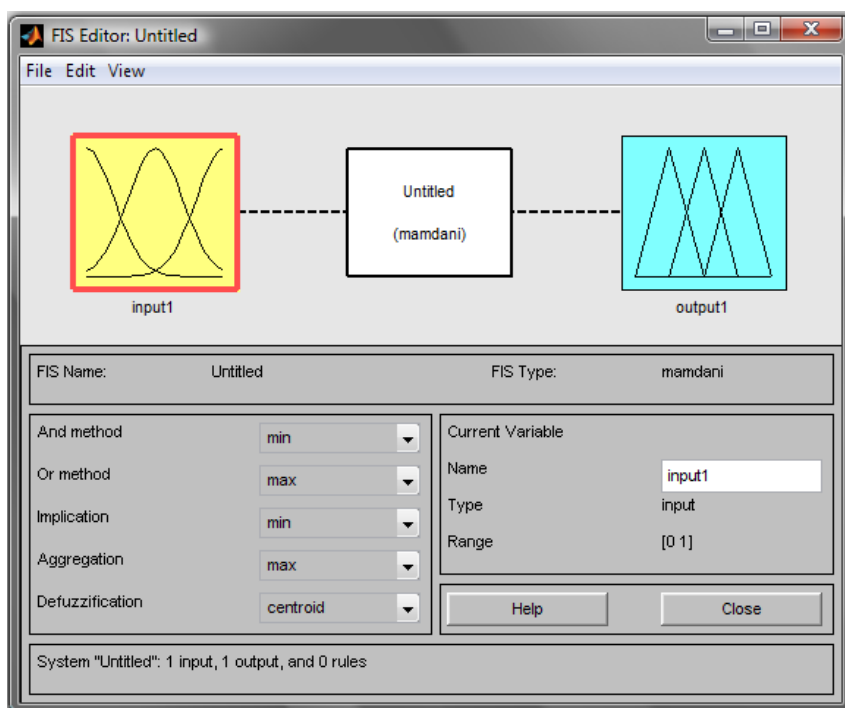


Figura 3.12 – Tela do *Fuzzy Logic Toolbox*®

Conforme a tela inicial apresentada na Figura 3.12, é possível inserir as variáveis linguística de entrada (*input*) e de saída (*output*) que serão utilizadas no sistema inteligente. Também é possível alterar o método de análise. O programa utiliza como padrão o método Mamdani, podendo ainda ser alterado para o método Sugeno.

Para este trabalho, optou-se por utilizar o método de Mamdani, uma vez que ele pressupõe que as regras de *fuzzyficação* possuem relações difusas tanto entre seus antecedentes quanto entre seus consequentes. O método também inclui módulos de interface que transformam as variáveis de entrada em conjuntos difusos e, os conjuntos difusos gerados na saída em grandezas numéricas proporcionais.

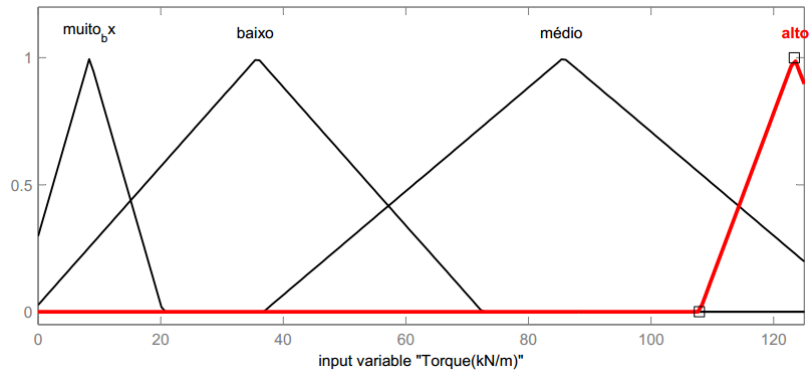
Considerando as várias funções de pertinência que o programa fornece para a análise, realizou-se testes para definir a que melhor representaria o estudo proposto. Nas Figuras 3.13 a 3.16 são apresentadas as funções de todos os parâmetros utilizados na análise numérica.

A Figura 3.13 (a) indica a variação do torque considerando a função de pertinência Triangular, a Figura 3.13 (b), a função de pertinência Trapezoidal, e a Figura 3.13 (c), função de pertinência Gaussiana.

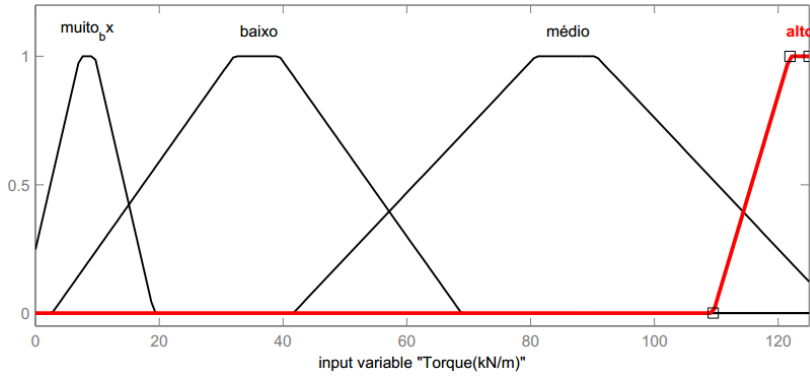
Após uma série de testes, constatou-se que a função de pertinência que melhor se adaptou no processo de calibração e validação do sistema inteligente foi a Gaussiana, conforme estudo preliminar sobre o tema, desenvolvido por Hortegal & Cavalcante (2014), Hortegal & Cavalcante (2016a) e Hortegal & Cavalcante (2016b). Nas Figuras 3.14 a 3.16 são apresentadas as variáveis de entrada e saída utilizadas, porém apenas com a função de pertinência Gaussiana, por ser aquela que melhor se ajustou ao processo de calibração e validação do sistema inteligente proposto na tese.

O sistema de lógica *fuzzy* para o controle de desempenho de estacas hélice continua apresentado nessa tese de doutorado é composto por quatro partes: *fuzzyficador*, base de regras *fuzzy*, área de inferência e o *defuzzyficador*. A função do *fuzzyficador* é transformar os valores determinísticos de entrada em valores *fuzzy*. A base de regras *fuzzy* representa o conhecimento do problema mediante regras da forma: se-então. A área de inferência estabelece a relação entre as variáveis *fuzzy* de entrada e saída. Por fim, o *defuzzyficador* transforma os valores *fuzzy* de saída em valores determinísticos.

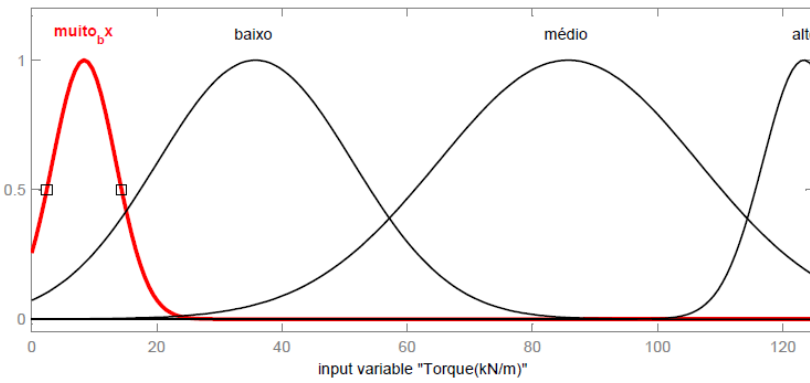
O sistema de lógica *fuzzy* para o controle de desempenho de estacas hélice continua apresentado nessa tese de doutorado é capaz de processar eficientemente informações imprecisas e qualitativas. O modelo de inferência *fuzzy* adotado é adequado em processos que exigem tomadas de decisões por parte de operadores e engenheiros geotécnicos executivos. O sistema representa o conhecimento e a experiência existente sobre o processo executivo das estacas hélice contínua e, a partir da entrada de dados sobre os seus estados atuais, podem ser inferidos uma evolução temporal.



(a)



(b)



(c)

Figura 3.13 –Variação do Torque na função Triangular (a), Trapezoidal (b), Gaussiana (c)

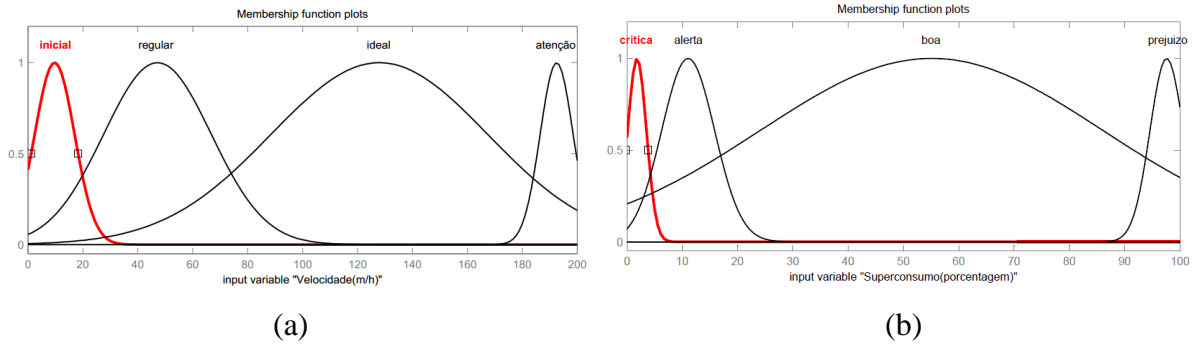


Figura 3.14 – Variação da função Gaussiana: (a) Velocidade de Penetração; (b) Superconsumo de Concreto

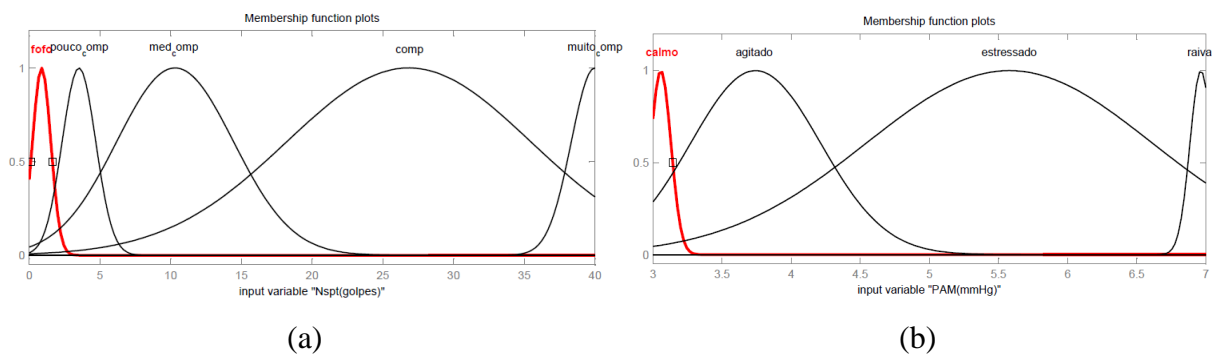


Figura 3.15 – Variação da função Gaussiana: (a) N_{SPT} ; (b) PAM

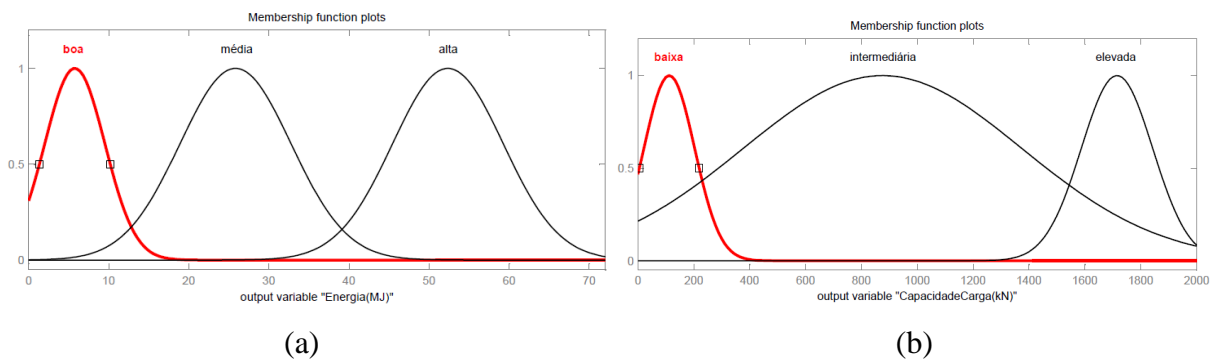


Figura 3.16 – Variação da função Gaussiana: (a) Energia Total de Instalação; (b) Capacidade de Carga Admissível da Estaca

3.3 VALIDAÇÃO DOS ENSAIOS DE CAMPO POR MEIO DE SOLUÇÃO ANALÍTICA

Nesta etapa, será utilizado o programa Wolfram Mathematica® (2015), que é um sistema computacional que combina manipulação simbólica, cálculo numérico, cálculo gráfico e uma

sofisticada linguagem de programação (Silveira, 1998). É um programa que surgiu nos anos 80, com a primeira versão comercial realizada pelo Wolfram Research Inc. em 1988.

Em um primeiro momento, será desenvolvido um código para implementação da solução analítica proposta por Perko (2001) e adaptada nesta tese. A solução analítica permitirá estimar a capacidade de carga de uma estaca hélice contínua através de correlações com o torque aplicado pelo maquinário e, por consequência, com a energia dispendida no processo executivo e com parâmetros geotécnicos definidos pelo modelo.

Considerando as hipóteses iniciais propostas por Perko (2001), em que a energia de instalação da EHC é definida pela soma da energia de penetração e a energia de perda do sistema. E, sabendo que a energia de instalação é função do torque de perfuração e da força descendente, conhecida por força *pull down*. Tem-se que essa força descendente é associada a instalação da EHC e envolve a rotação da hélice dentro do solo. Ressalta-se que, a energia potencial do sistema está inserida dentro da parcela da força descendente, sendo a força descendente somada a força de peso do trado, de modo a ser constante para um mesmo tipo de estaca e profundidade (Figura 3.17).

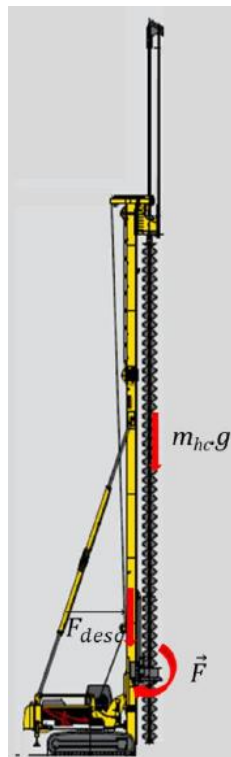


Figura 3.17 – Sistema de perfuração e força de uma *bottom drive* CFA (Silva, 2011)

De posse da Eq. (2.12), e substituindo pelas Eq. (2.7), Eq. (2.10) e Eq. (2.11), segue que:

$$2\pi T + F_{di} p = \frac{\pi}{2} E_s \delta^2 \left[r^2 + \sum_{i=1}^n (R_i^2 - r^2) \right] + \frac{4}{3} \pi^2 E_s \alpha \left[3r^3 \lambda + \sum_{i=1}^n (R_i^3 - r^3) t_i \right] \quad (3.2)$$

Isolando o módulo de elasticidade do solo na Eq. (3.2), pode-se escrever:

$$E_s = \frac{2\pi T + F_{di} p}{\frac{\pi}{2} \delta^2 \left[r^2 + \sum_{i=1}^n (R_i^2 - r^2) \right] + \frac{4}{3} \pi^2 \alpha \left[3r^3 \lambda + \sum_{i=1}^n (R_i^3 - r^3) t_i \right]} \quad (3.3)$$

Desta forma, como a energia de carregamento, por metro, (Eq. 2.13) é igual à energia de penetração, por metro, (Eq. 2.7), pode-se obter a capacidade de carga da EHC dada por:

$$C = \pi E_s \delta \left[r^2 + \sum_{i=1}^n (R_i^2 - r^2) \right] \quad (3.4)$$

Por fim, substituindo a Eq. (3.3) na Eq. (3.4), a capacidade de carga da EHC, em função do torque de execução é dada por:

$$C(T) = \frac{6\delta(2\pi T + F_{di} p) \left[r^2 + \sum_{i=1}^n (R_i^2 - r^2) \right]}{3\delta^2 \left[r^2 + \sum_{i=1}^n (R_i^2 - r^2) \right] + 8\pi\alpha \left[3r^3 \lambda + \sum_{i=1}^n (R_i^3 - r^3) t_i \right]} \quad (3.5)$$

Dessa forma, tem-se que a carga admissível do estaqueamento é dada por:

$$C_{adm} = \frac{C(T)}{FS} \quad (3.6)$$

onde, FS é o fator de segurança.

O fator de segurança a ser utilizado na formulação é o proposto por todas as metodologias (Aoki e Velloso, 1975; Decourt & Quaresma, 1978; Alonso, 1996 e Antunes & Cabral, 1996) de cálculo de estaqueamento, sendo ele igual a 2.

Após a obtenção da equação da capacidade de carga da estaca por metro linear de modo analítico, foi realizada a calibração a partir dos resultados obtidos pela execução das estacas hélice contínua, através da metodologia SCCAP, em três casos de obras reais, sendo duas em Brasília e uma no Rio de Janeiro.

Uma vez calibrada e devidamente validada, a solução analítica se mostrou como uma possível ferramenta para o estudo do comportamento físico da estaca quando da escolha de parâmetros como o torque de execução e a energia total de instalação aplicada ao sistema, o comprimento e o diâmetro da estaca hélice contínua, e os parâmetros geotécnicos elásticos e empíricos do solo, tais como E_s , N_{SPT} , q_c .

3.4 VALIDAÇÃO DOS ENSAIOS DE CAMPO POR MEIO DO SISTEMA INTELIGENTE

Considerando que o programa Wolfram Mathematica® fornece um conjunto de recursos para criar, modificar e visualizar sistemas baseados na lógica *fuzzy* (Ribacionk, 1999), fez-se também a escolha da sua utilização, para uma melhor apresentação dos dados da pesquisa e realização da calibração do sistema inteligente.

Os resultados gerados pelo sistema inteligente implementado no software Matlab® foram exportados para a plataforma Wolfram Mathematica®. Na plataforma Wolfram Mathematica®, os resultados obtidos pela execução das EHC, através da metodologia SCCAP, de dois casos de obras reais, uma em Brasília e uma no Rio de Janeiro, foram utilizados para a validação do sistema. Desta forma, será possível validar respostas quando do controle de dados incertos, e possibilitar a inferência de resultados que modelos convencionais de dimensionamento são incapazes de fornecer.

3.5 APLICAÇÃO DO SISTEMA INTELIGENTE EM PROJETOS DE ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA

Após a calibração e validação dos resultados obtidos a partir da solução analítica de Perko (2001) modificado, foi realizado uma análise paramétrica para melhor compreensão do fenômeno físico da execução das estacas hélices contínua.

Nesta etapa foram realizados três estudos sobre: (1) a energia total de instalação da EHC, (2) a força descendente do trado no solo e (3) a capacidade de carga da estaca hélice contínua.

Da mesma forma, após a calibração e validação dos resultados obtidos a partir das regras *fuzzy* estabelecidas para o sistema inteligente foi possível direcionar a tomada de decisão durante a concepção do projeto de estacas hélice contínua.

Para esta etapa foram realizadas dois estudos sobre: (1) a energia total de instalação da EHC e (2) a capacidade de carga da EHC.

Para essa etapa, apenas 10% dos dados obtidos foram utilizados e escolhidos de forma aleatória.

4. CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO ANALÍTICO E DO SISTEMA INTELIGENTE

Para a realização da calibração foram utilizados os dados referentes as três obras em estudo:

- Obra A: SIA Trecho 5, Lotes 10 a 60, Brasília-DF.
- Obra B: SIA Trecho 1, Lote 780, Brasília-DF.
- Obra C: Avenida Araruama, No. 155, Parque Hotel, Rio de Janeiro-RJ.

Na Obra A foram executadas 390 estacas hélice contínua considerando a metodologia SCCAP no processo executivo. Foram disponibilizados apenas um total de 245 relatórios, correspondentes à 245 estacas.

Na Obra B foram executadas 165 estacas hélice contínua considerando a metodologia SCCAP no processo executivo. Foram disponibilizados todos os relatórios.

Na Obra C foram executadas 81 estacas hélice contínua considerando a metodologia SCCAP no processo executivo. Também foram disponibilizados todos os relatórios.

Para a obtenção dos módulos de elasticidade do solo que foram utilizados nas análises, a formulação do Teixeira e Godoy (1996).

Tabela 4.1 – Módulo de Elasticidade para cada Obra estudada

Obra	N _{SPT} (médio)	E _s (MPa)	
A	23	$E_s = 1,4.N_{SPT}$	$E_s = 30$
B	20	$E_s = 2,1.N_{SPT}$	$E_s = 40$
C	14	$E_s = 1,25.N_{SPT}$	$E_s = 18$

O valor do N_{SPT} médio para cada obra foi obtido a partir dos dados da camada de assentamento da ponta, e através de relações empíricas (Teixeira e Godoy, 1996), esse dado foi convertido para módulo de elasticidade do solo.

4.1 CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MÉTODO ANALÍTICO

4.1.1 OBRA A: SIA TRECHO 5, LOTES 10 A 60, BRASÍLIA-DF

Na Figura 4.1, apresenta-se a calibração do modelo analítico de Perko (2001) modificado nesta tese para a Obra A. Nessa análise consideraram-se apenas as estacas de diâmetro de 80 cm, com ponta assente em uma camada espessa de aproximadamente 15 m de material argilo-siltoso cujo valor do N_{SPT} médio na camada de assentamento é da ordem de 23 (Figura 4.2). Fazendo uso de relações empíricas (Teixeira e Godoy, 1996), o módulo de elasticidade do solo correspondente é aproximadamente igual a 30 MPa. Observa-se que o modelo analítico foi capaz de se ajustar muito bem para diferentes comprimentos de estacas.

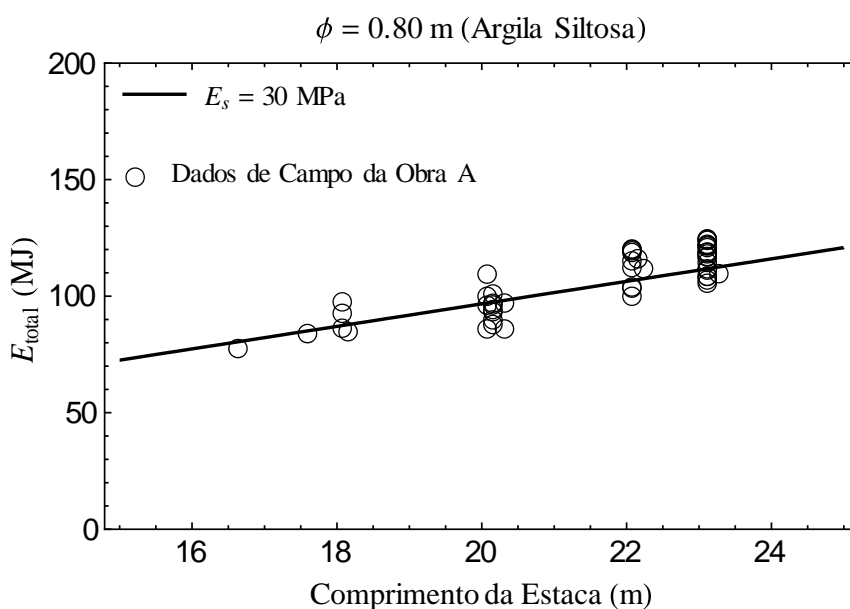


Figura 4.1 – Calibração do Modelo Analítico: Energia Total de Instalação x Comprimento da EHC da Obra A ($\delta = 25 \text{ mm}$, $\alpha = 15 \cdot 10^6$)

Na Figura 4.3, também se apresenta a calibração do modelo analítico de Perko (2001) modificado para a Obra A, no entanto, dessa vez, fixou-se o comprimento da estaca hélice contínua. Para estacas de comprimento 20 m, na análise dos relatórios, foram identificadas estacas executadas com diâmetros de 50 cm, 70 cm e 80 cm. Os dados também foram considerados para estacas com ponta assente na camada espessa de aproximadamente 15 m de material argilo-siltoso, descrita anteriormente.

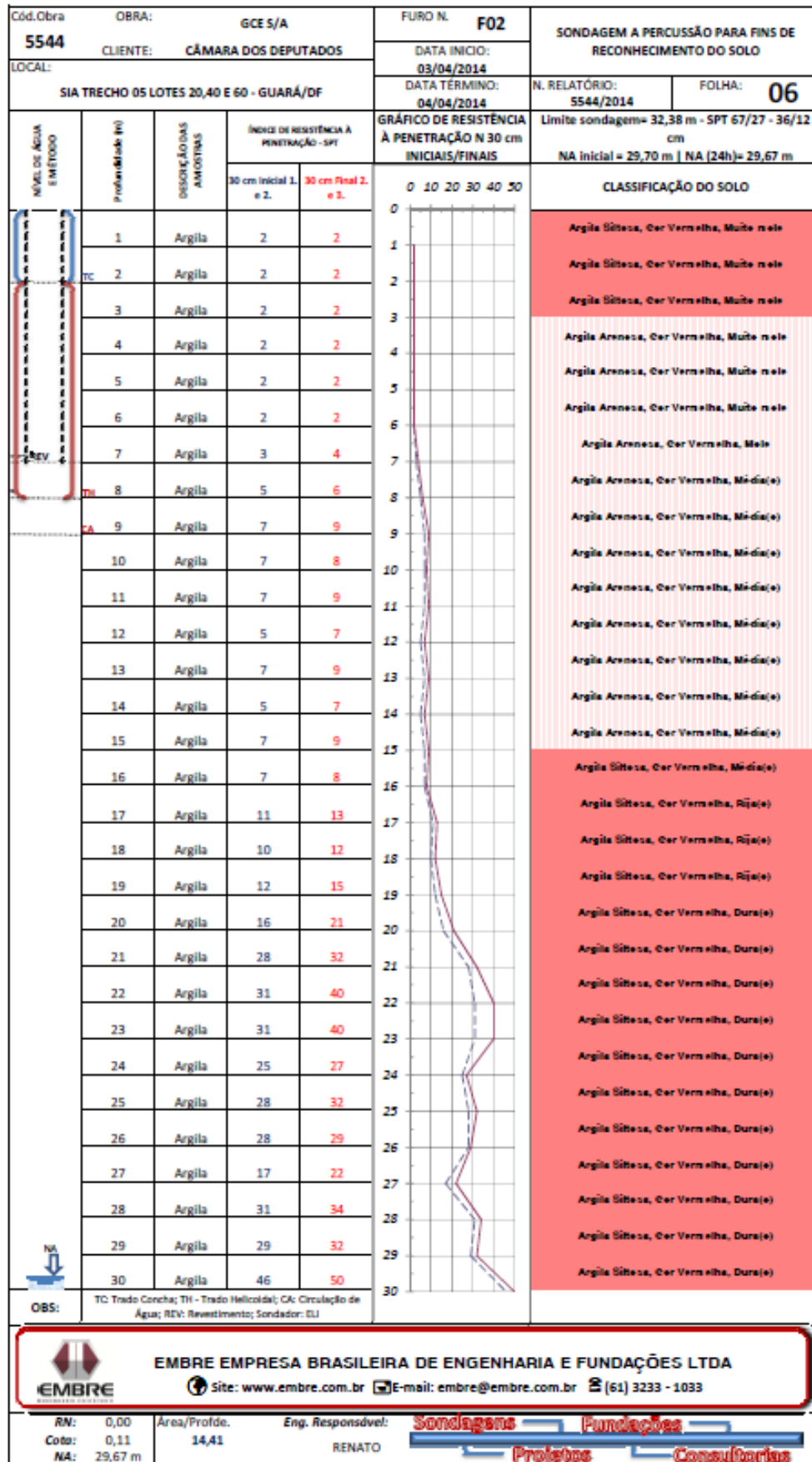


Figura 4.2 – Exemplo de Laudo de Sondagem (Obra A)

Pela Figura 4.3, também se observa que o modelo analítico se ajusta muito bem ao comportamento físico observado no processo executivo, para estacas EHC de diferentes diâmetros.

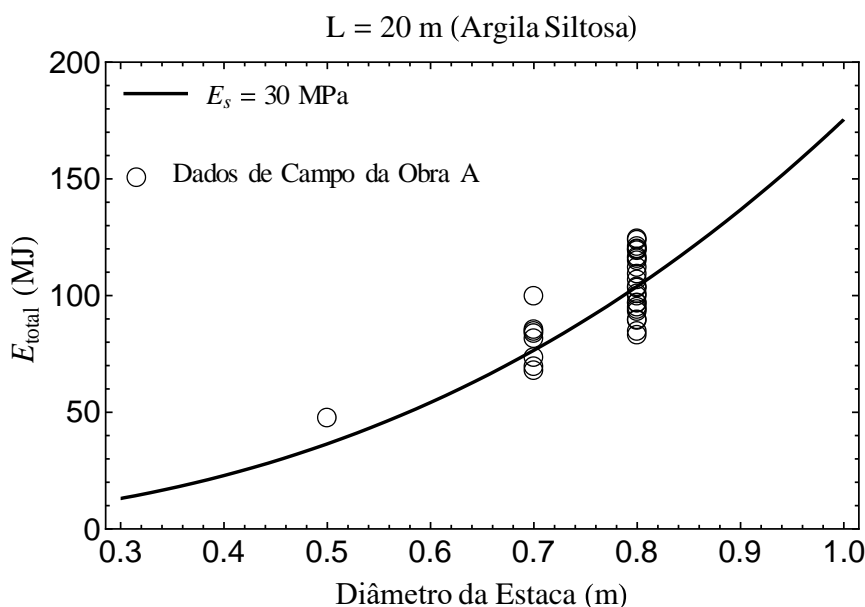


Figura 4.3 – Calibração do Modelo Analítico: Energia Total de Instalação x Diâmetro da EHC da Obra A ($\delta = 25$ mm, $\alpha = 15 \cdot 10^6$)

4.1.2 OBRA B: SIA TRECHO 1, LOTE 780, BRASÍLIA-DF

Na Figura 4.4, apresenta-se a calibração do modelo analítico de Perko (2001) modificado para a Obra B. Nessa análise consideraram-se apenas as estacas de diâmetro 70 cm, com a ponta assente em uma camada espessa de aproximadamente 15 m de material argilo-arenoso cujo valor médio do N_{SPT} é da ordem de 20 (Figura 4.6). Fazendo uso de relações empíricas (Teixeira e Godoy, 1996), o valor foi convertido para módulo de elasticidade do solo, obtendo-se um valor médio de 40 MPa. Observa-se que o modelo analítico foi capaz de se ajustar muito bem para diferentes comprimentos de estacas.

Na Figura 4.5, também se apresenta a calibração do modelo analítico de Perko (2001) modificado para a Obra B, no entanto, desta vez, fixou-se o comprimento da estaca hélice contínua. Para estacas de comprimento 22 m, na análise dos relatórios, foram identificadas estacas executadas com diâmetros de 50 cm, 60 cm, 70 cm e 80 cm. Os dados também foram considerados para estacas com ponta assente na camada espessa de aproximadamente 12 m de material argilo-arenoso, descrita anteriormente.

Pela Figura 4.5, também se observa que o modelo analítico se ajustou muito bem ao comportamento físico observado no processo executivo para EHC de diferentes diâmetros.

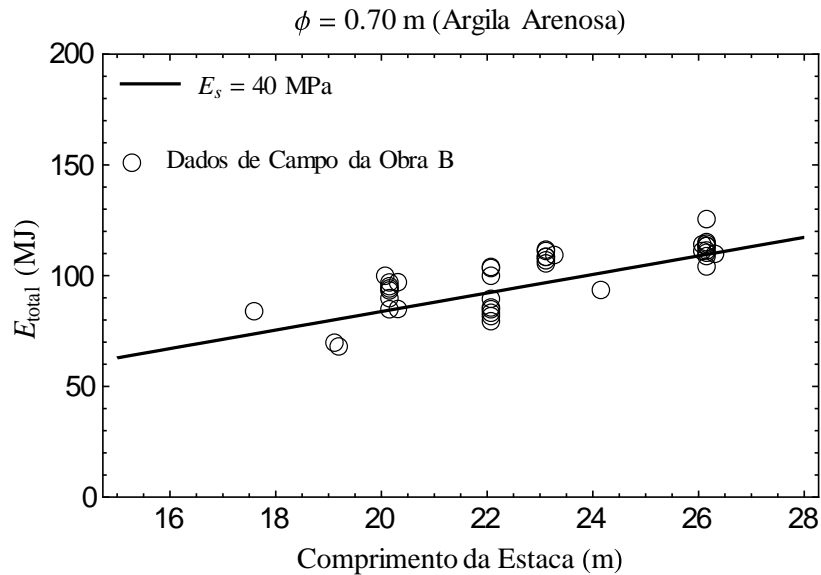


Figura 4.4 – Calibração do Modelo Analítico: Energia Total de Instalação x Comprimento da EHC da Obra B ($\delta = 25 \text{ mm}$, $\alpha = 12 \cdot 10^6$)

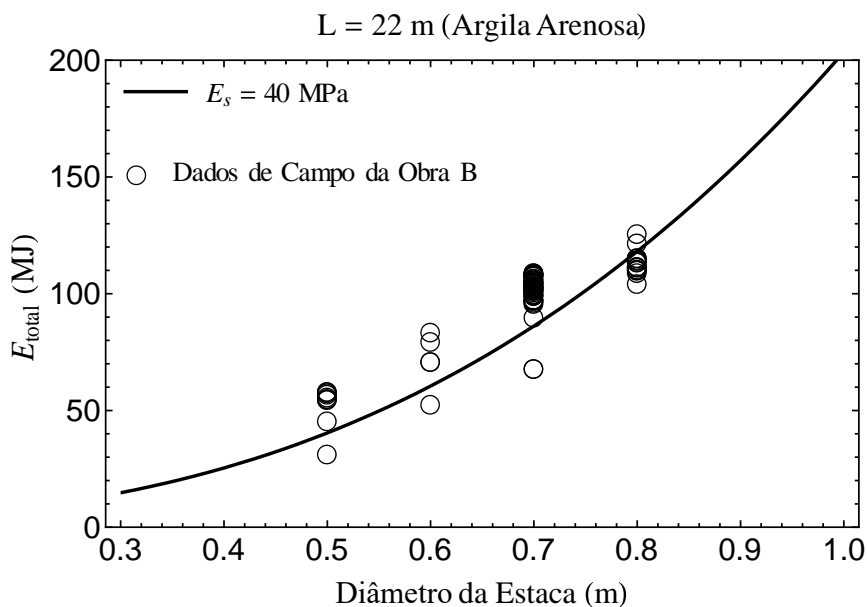


Figura 4.5 – Calibração do Modelo Analítico: Energia Total de Instalação x Diâmetro da EHC da Obra B ($\delta = 25 \text{ mm}$, $\alpha = 12 \cdot 10^6$)

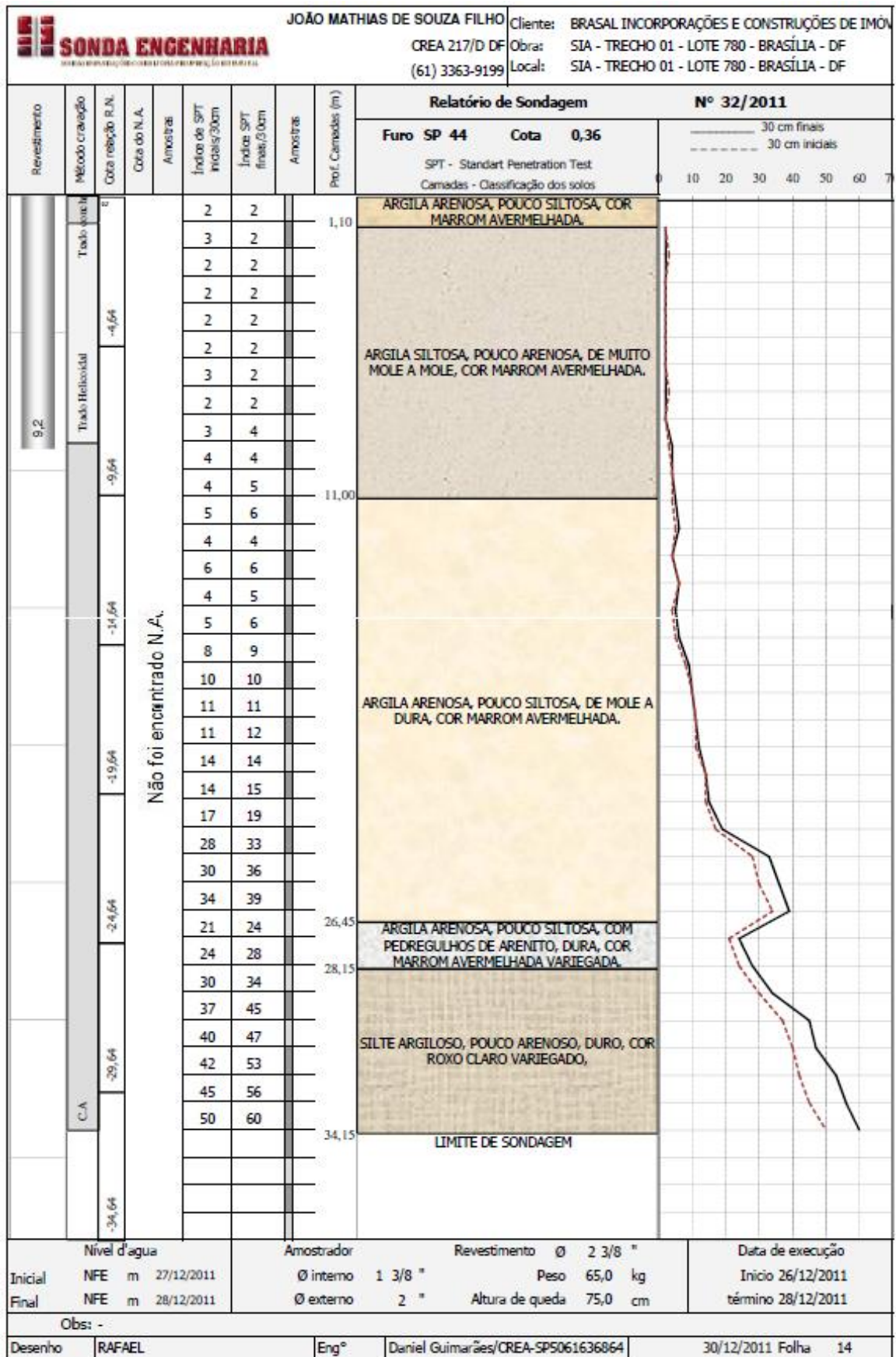


Figura 4.6 – Exemplo de Laudo de Sondagem (Obra B)

4.1.3 OBRA C: AVENIDA ARARUAMA, NO. 155, PARQUE HOTEL, RIO DE JANEIRO-RJ

Nessa obra só foram realizadas estacas hélice contínua de diâmetro 80 cm, com ponta assente em uma camada delgada de aproximadamente 2,5 m de material silte-argiloso cujo valor médio do N_{SPT} é da ordem de 14 (Figura 4.8). Fazendo uso de relações empíricas (Teixeira e Godoy, 1996), o valor foi convertido para módulo de elasticidade do solo, obtendo-se um valor médio de 18 MPa. Na Figura 4.7, apresenta-se a calibração do modelo analítico de Perko (2001) modificado para a Obra C. Observa-se que o modelo analítico foi capaz de se ajustar muito bem para diferentes comprimentos de estacas.

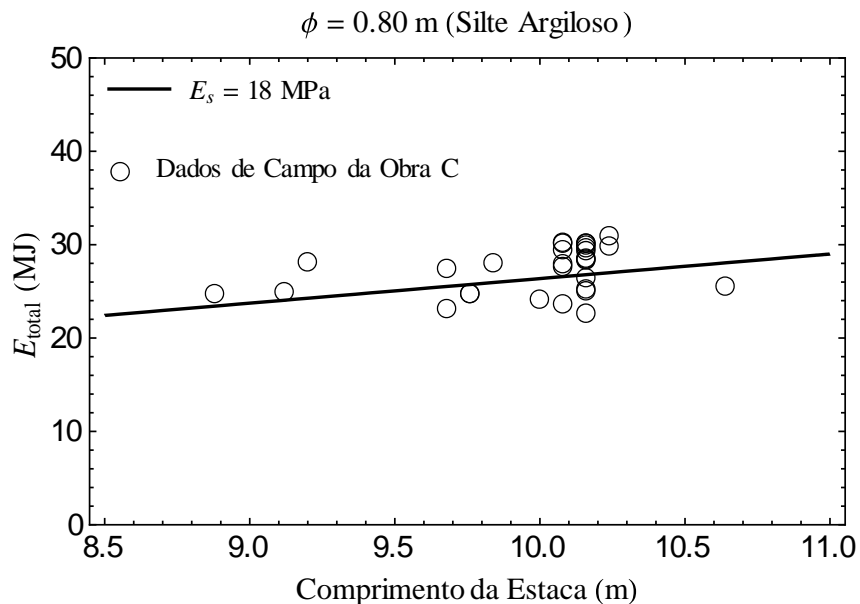


Figura 4.7 – Calibração do Modelo Analítico: Energia Total de Instalação x Comprimento da EHC da Obra C ($\delta = 25 \text{ mm}$, $\alpha = 8.10^6$)

Na Figura 4.9, também se apresenta a calibração do modelo analítico de Perko (2001) para a Obra C, no entanto, desta vez, fixou-se o comprimento da estaca hélice contínua. Para estacas de comprimento 10 m, na análise dos relatórios, foram identificadas estacas executadas apenas com diâmetros de 80 cm.

Os dados também foram considerados para estacas com ponta assente na camada de aproximadamente 2,5 m de material silte-argiloso, descrita anteriormente. Constata-se que o ajuste passa apenas por um único conjunto de pontos, no entanto, os valores de ajuste correspondem aos mesmos parâmetros obtidos para a calibração dos resultados da Figura 4.9, o que caracteriza um bom resultado do ponto de vista computacional.

TESTE SOLO ENGENHARIA LTDA.						SONDAGEM A PERCUSSÃO			
TEL.: (21) 78708019						COTA DA BOCA DO FURO: SP - 2			
Nº DE GOLPES			COTAS			AMOSTRA	PROF. m	CLASSIFICAÇÃO	
10	20	30	I	F	V				
			6	8	-1.00 m N.A		0.20	CAMADA DE VEGETAÇÃO	
			10	13			0.57	AREIA FINA , COR CINZA ESCURO	
			7	14				AREIA FINA A MDEIA , C/ FRAGMENTOS DE MARISCOS P/C COMPACTA A MEDIANAMENTE COMPACTA , COR CINZA CLARO	
			14	22			3.00		
			10	12					
			25	34				ARGILA SILTOSA , P/C ARENOSA, DURA COR CINZA RIJA	
			12	15			6.73		
			10	13				SILTE ARGILOSO , RIJO , COR CINZA C/ VEIOS AMARELADOS	
			8	12			8.65		
			12	15				SILTE ARGILOSO, P/C ARENOSO, RIJO , COR VARIEGADO (CREME)	
			42	55				SILTE ARENOSO , MICACEO , MUITO COMPACTO , COR VARIEGADO (AMARELADO) (SOLO RESIDUAL)	
						11.05			
							11.65	LIMITE DA SONDAAGEM IMPENETRÁVEL AO TREPANO NA LAVAGEM (ROCHA OU MATAÇÃO)	
N-A INICIAL = - 1.00 m I - PENETRAÇÃO 30 cm INICIAIS F - PENETRAÇÃO 30 cm FINAIS AMOSTRADOR Ø" 2" Ø" 1 3/6" MARTELO "65 kg ALTURA DE QUEDA "75 cm N.ª APÓS 24 HORAS						CLIENTE: SOLIDA ENGENHARIA LTDA			
						ENDEREÇO: AV. ARARUAMA - Nº 155 - PARQUE HOTEL ARARUAMA - RIO DE JANEIRO - RJ			
COTAS REFERIDAS À RN = 0.00 MEIO FIO						DATA INICIAL	02/12/13	Paulo G. Campos Magalhães Engº Civil CREA 081003752-D 5ª Região	
						DATA FINAL	02/12/13		
DES.	PAULO								
VISTO	[Assinatura]		ESCALA	DES. Nº	RELATÓRIO				
APROVADO	[Assinatura]		1:100	318					

Figura 4.8 – Exemplo de Laudo de Sondagem (Obra C)

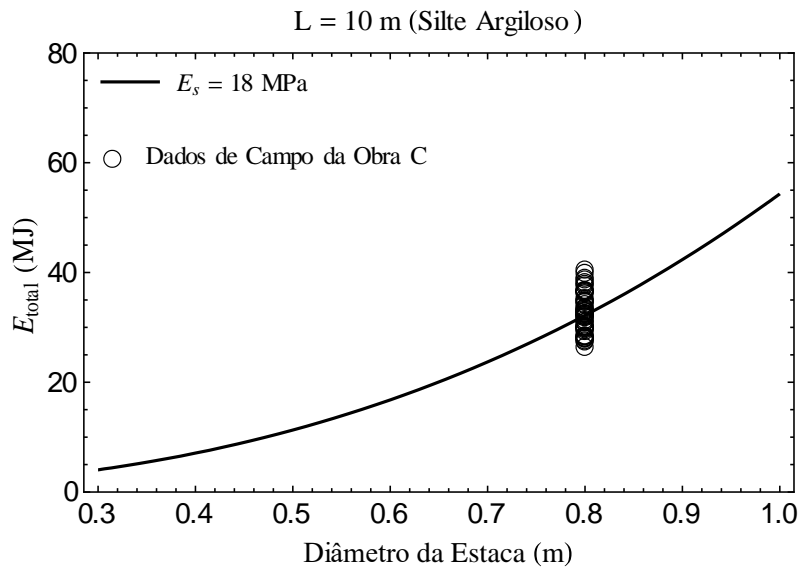


Figura 4.9 – Calibração do Modelo Analítico: Energia Total de Instalação x Diâmetro da EHC da Obra C ($\delta = 25$ mm, $\alpha = 8.10^6$)

4.2 CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO SISTEMA INTELIGENTE

Para a calibração e validação do sistema inteligente foram utilizados apenas os dados dos estaqueamentos provenientes da Obra B (SIA Trecho 1, Lote 780, Brasília-DF) e da Obra C (Avenida Araruama, N°. 155, Parque Hotel, Rio de Janeiro-RJ). O processo de calibração se deu através das medidas de velocidade de perfuração, torque de execução e energia total de instalação; e de velocidade de perfuração, torque de execução e capacidade de carga da estaca.

4.2.1 ENERGIA TOTAL DE INSTALAÇÃO

Na Figura 4.10 são apresentados os resultados provenientes do processo de calibração considerando o torque de execução, a velocidade de penetração e a energia total de instalação. Conforme pode ser observado os valores computados apresentam-se dentro da margem de tolerância aceita pelo sistema inteligente, ou seja, os dados das obras indicaram que os valores médios de torques de execução dos estaqueamentos utilizados não sofreram grandes variações (75 kNm para a Obra B e 65 kNm para a Obra C), a velocidade média de perfuração condizente com os dados executados (125 m/h para a Obra B e 130 m/h para a Obra C), e a energia total média de instalação de 40MJ para a Obra B e 50 MJ para a Obra C. Tal comportamento indicou que as energias utilizadas nesses dois tipos de obra foram totalmente controladas, para uma variação de torque de execução e velocidade de perfuração quase constantes.

4.2.2 CAPACIDADE DE CARGA ADMISSÍVEL DA ESTACA

Na Figura 4.11 são apresentados os resultados provenientes do processo de calibração considerando o torque, a velocidade e a capacidade de carga admissível. Conforme pode ser observado os valores computados (10% dos dados aleatoriamente) apresentam-se dentro da margem de tolerância aceita pelo sistema inteligente, ou seja, os dados das obras indicaram que os valores médios de torques de execução dos estaqueamentos utilizados não sofreram grandes variações (75 kNm para a Obra B e 65 kNm para a Obra C), a velocidade média de perfuração condizente com os dados executados (125 m/h para a Obra B e 130 m/h para a Obra C), e a capacidade de carga média de 1000 kN para a Obra B e 900 MJ para a Obra C. Tal comportamento indicou que a metodologia *fuzzy* refletiu o comportamento do processo executivo adotado nas obras em estudo.

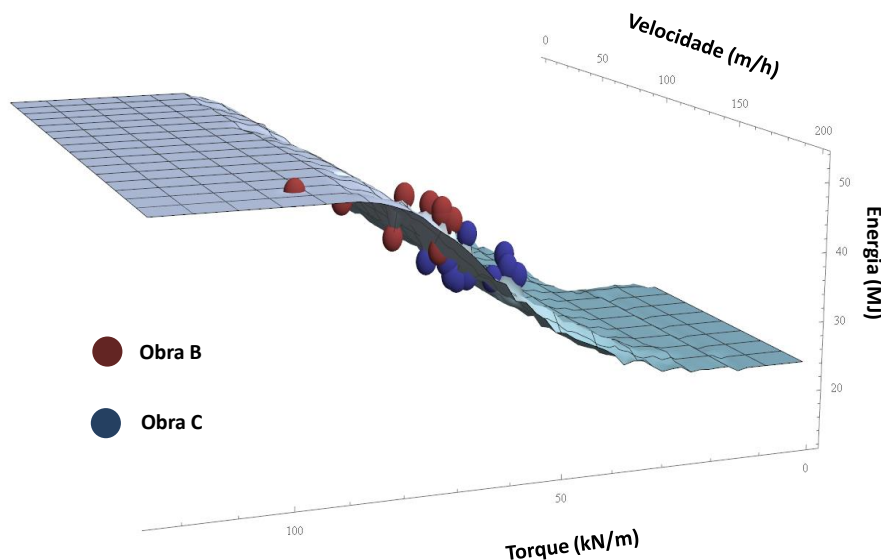


Figura 4.10 – Calibração do Sistema Inteligente: Energia Total de Instalação x Velocidade de Perfuração x Torque de Execução (Obras B e C)

Salienta-se que por meio da validação do sistema inteligente criado, foi possível inferir que as obras utilizadas mantiveram uma constância de valores de torque de execução e velocidade de perfuração, o que configura um maior controle do comportamento dos estaqueamentos realizados, resultando em indicativos de uma boa qualidade de execução e comportamento geotécnico na interação solo-estrutura, além de mostrar que o sistema inteligente foi capaz de reproduzir o comportamento das obras, e os dados de capacidade de carga admissível obtidos através das metodologias de cálculo que são utilizadas para EHC.

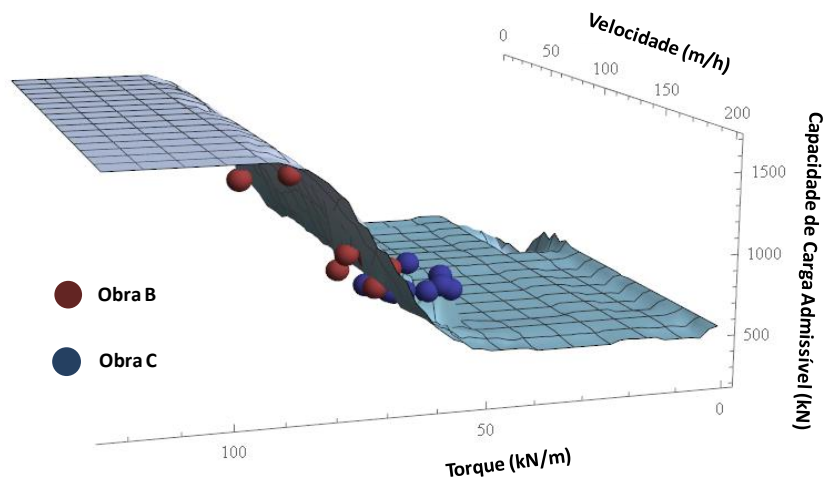


Figura 4.11 – Calibração do Sistema Inteligente: Capacidade de Carga Admissível da Estaca x Velocidade de Perfuração x Torque de Execução (Obras B e C)

5. SISTEMA DE CONTROLE DE QUALIDADE DE ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA

Considerando a metodologia descrita no Capítulo 3, serão apresentados os resultados obtidos a partir das análises paramétricas considerando o modelo modificado de Perko (2001) e o sistema inteligente baseado na lógica *fuzzy*.

5.1 ANÁLISE PARAMÉTRICA DO MODELO ANALÍTICO

Para a obtenção dos resultados, foram considerados alguns parâmetros fixos a fim de reduzir as variáveis do processo executivo e do maquinário, como o passo da lâmina de 0,28 m/rev, o raio do tubo da hélice de 0,05 m, o módulo de elasticidade do solo variou de 18 MPa a 40 MPa (Tabela 4.1), a deflexão da estaca na capacidade de carga obtida por literatura para a etapa de calibração resultou em 25 mm, a espessura da hélice de 0,02 m e a constante do torque devido ao cisalhamento ao longo do tubo variando de $8 \cdot 10^6$ a $15 \cdot 10^6$. Algumas variáveis do solo como o módulo de elasticidade (E_s) foram obtidas a partir de relações empíricas com base em valores médios do SPT na cota de assentamento da estaca, conforme apresentado na Tabela 4.1. A tipologia de solo apresentada deu-se em função da estratigrafia presente na execução das estacas acompanhadas.

5.1.1 ENERGIA TOTAL DE INSTALAÇÃO

Após calibrado o modelo, foi possível realizar uma extensa análise paramétrica com a finalidade de uma melhor compreensão do fenômeno físico observado durante o processo de execução das estacas hélice contínua.

Na Figura 5.1 (a), apresenta-se a energia total de instalação necessária para executar estacas de comprimentos variando de 8 a 20 m, e diâmetro constante de 30 cm em solos arenosiltosos, com módulo de elasticidade variando de 8 a 20 MPa. Constata-se que com o aumento do comprimento da estaca é dispendida uma maior energia no processo executivo, sendo

possível observar que quanto maior o módulo de elasticidade do solo, maior a energia total de instalação dispendida durante a perfuração da estaca devido a maior resistência do maciço durante o processo de perfuração. Tal fato coincide com os comportamentos das energias de penetração e de perda.

Na Figura 5.1 (b), apresenta-se a energia total de instalação necessária para executar estacas de comprimentos variando de 8 a 20 m, e diâmetro constante de 30 cm em solos argilo-arenosos, com módulo de elasticidade variando de 30 a 42 MPa. O comportamento é semelhante aos materiais arenosos, porém a energia total de instalação tende a ter um valor superior em função da coesividade do material que influencia na execução do estaqueamento.

Estacas executadas com o mesmo diâmetro de 30 cm (Figura 5.1), apresentam comportamento similar, independente do tipo de solo, isto é, com o aumento do comprimento da estaca e quanto maior o módulo de elasticidade do solo, maior a energia total de instalação dispendida durante a perfuração da estaca. No entanto, a variação da energia total de instalação calculada pelo método analítico, é menor nos materiais de maior módulo de elasticidade.

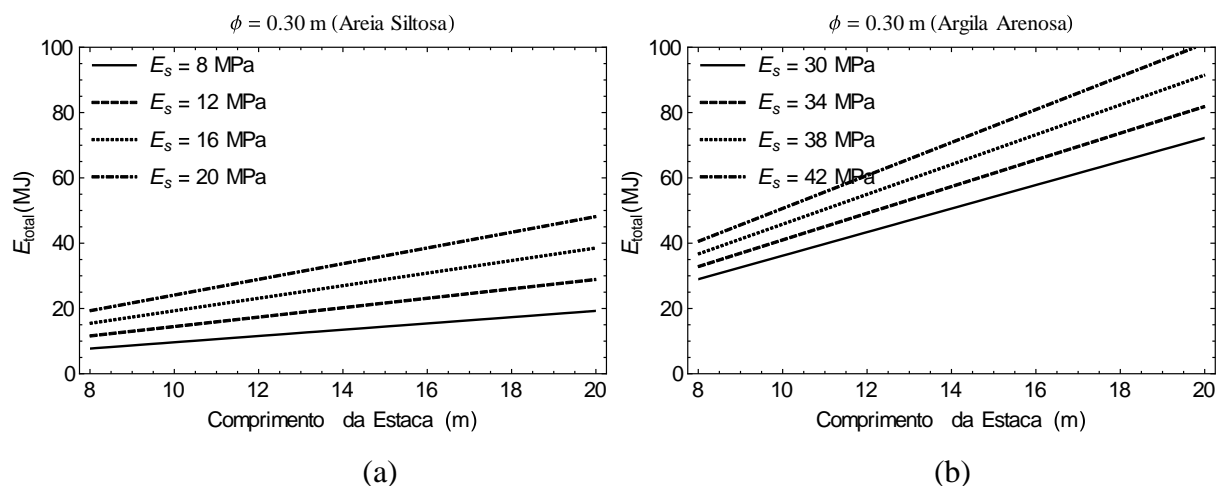


Figura 5.1 – Relação do Comprimento da Estaca *versus* Energia Total: (a) Areia Siltosa e (b) Argila Arenosa

Na Figura 5.2 (a), apresenta-se a energia total de instalação necessária para executar estacas com diâmetros variando de 30 a 100 cm, e comprimento constante de 8 m em solos arenoso-siltoso, com módulo de elasticidade variando de 8 a 20 MPa. Constata-se que com a redução do diâmetro da estaca é dispendida uma menor energia no processo executivo, sendo possível observar que quanto menor o módulo de elasticidade do solo, menor a energia total de instalação dispendida durante a perfuração da estaca devido a menor resistência do maciço durante o processo de perfuração.

Na Figura 5.2 (b), apresenta-se a energia total de instalação necessária para executar estacas com diâmetros variando de 30 a 100 cm, e comprimento constante de 8 m em solos argila-arenosa, com módulo de elasticidade variando de 30 a 42 MPa. O aumento do diâmetro da estaca reflete um acréscimo da energia total de instalação à medida que o módulo de elasticidade do solo aumenta. Observa-se que o valor da energia total de instalação tende a apresentar uma menor variação em relação ao material arenoso-siltoso.

Ao quantificar a energia total de instalação na relação do diâmetro (Figura 5.2) com o comprimento da estaca (Figura 5.1), o valor da energia total de instalação tende a apresentar uma maior variação, refletindo a influência da área circunferencial no dispêndio da energia, ou seja, a atuação do atrito lateral durante a execução do estaqueamento.

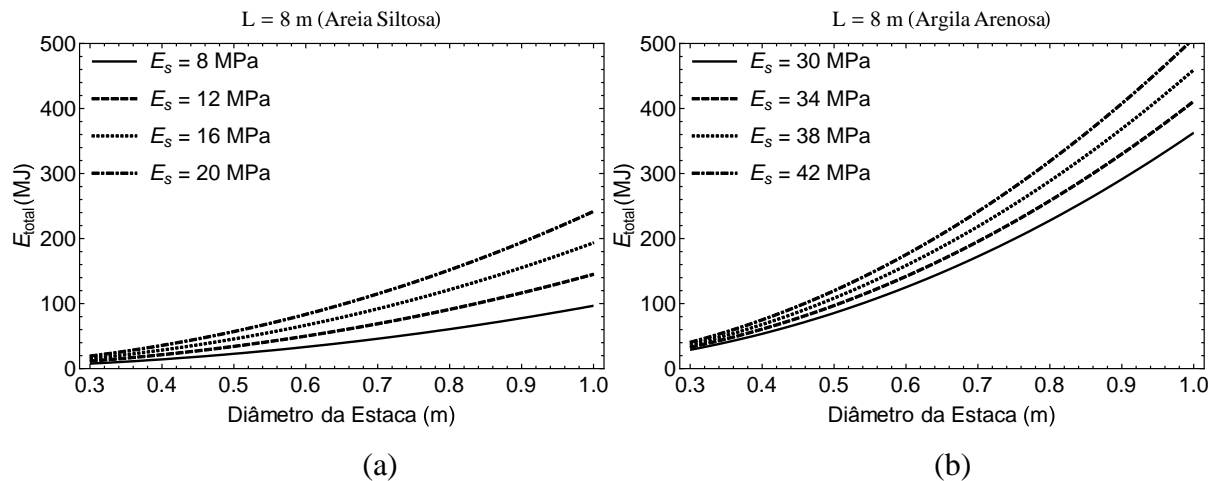


Figura 5.2 – Relação do Diâmetro da Estaca *versus* Energia Total de Instalação: (a) Areia Siltosa e (b) Argila Arenosa

5.1.2 FORÇA DESCENDENTE

Na Figura 5.3 (a), apresenta-se a força necessária para descer o trado em uma areia siltosa, com módulo de elasticidade variando de 8 a 20 MPa, e executar estacas com diâmetros de 30, 60, 80 e 100 cm, e comprimento constante de 8 m com a um torque de 50 kNm. O aumento do diâmetro da estaca reflete um acréscimo da força descendente do trado. Além disso, à medida que o módulo de elasticidade do solo aumenta, também é necessário um acréscimo da força descendente do trado.

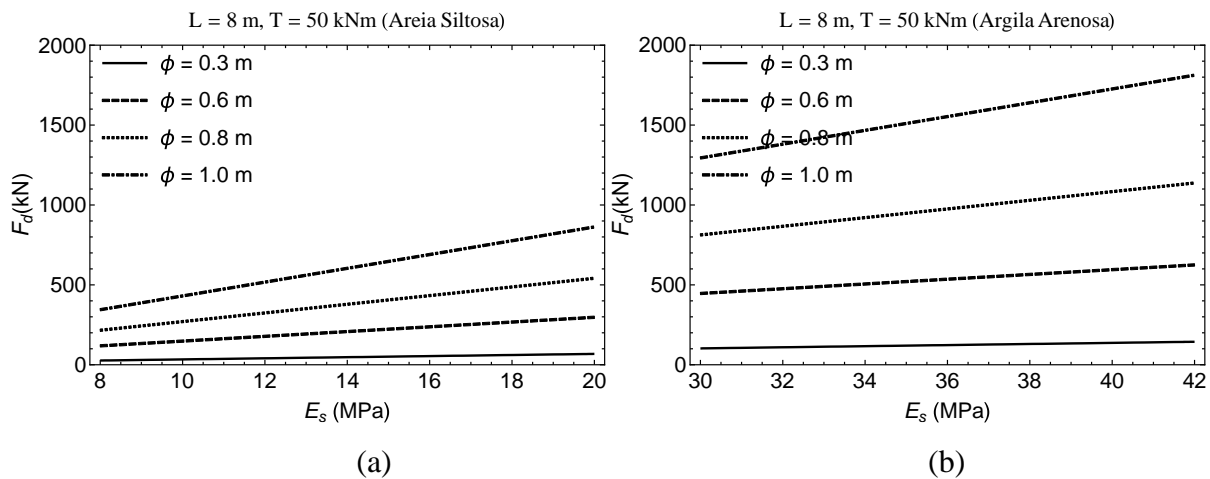


Figura 5.3 – Relação do Módulo de Elasticidade do Solo *versus* Força Descendente do Trado no Solo, para estacas de comprimento 8 m: (a) Areia Siltosa, (b) Argila Arenosa

Na Figura 5.3 (b), apresenta-se a força necessária para descer o trado em uma argila arenosa, com módulo de elasticidade variando de 30 a 42 MPa, e executar estacas com diâmetros de 30, 60, 80 e 100 cm, e comprimento constante de 8 m com a um torque de 50 kNm. Da mesma forma que se observou para o material arenoso, o aumento do diâmetro da estaca reflete um acréscimo da força descendente do trado. Além disso, à medida que o módulo de elasticidade do solo aumenta, também é necessário um acréscimo da força descendente do trado.

Esse comportamento deve-se ao fato da maior área lateral gerar maior esforço para a penetração do trado no solo, principalmente quando da execução em solos argilosos. Além disso, o valor quantitativo tende a ser bem maior devido à influência do material argiloso no trado, ou seja, a coesividade tende a refletir em uma maior força gerada do trado na perfuração.

Na Figura 5.4 (a), apresenta-se a relação do módulo de elasticidade do solo *versus* força descendente do trado no solo em uma estaca hélice contínua de 30 cm de diâmetro e torque de execução de 50 kNm, em uma areia siltosa. Tem-se que o módulo de elasticidade tende a aumentar com a força descendente do trado no solo a medida que o comprimento da hélice aumenta. Considerando o diâmetro fixo, tem-se que solos mais resistentes tendem a produzir no maquinário maior força de perfuração, principalmente quanto maior o comprimento da estaca.

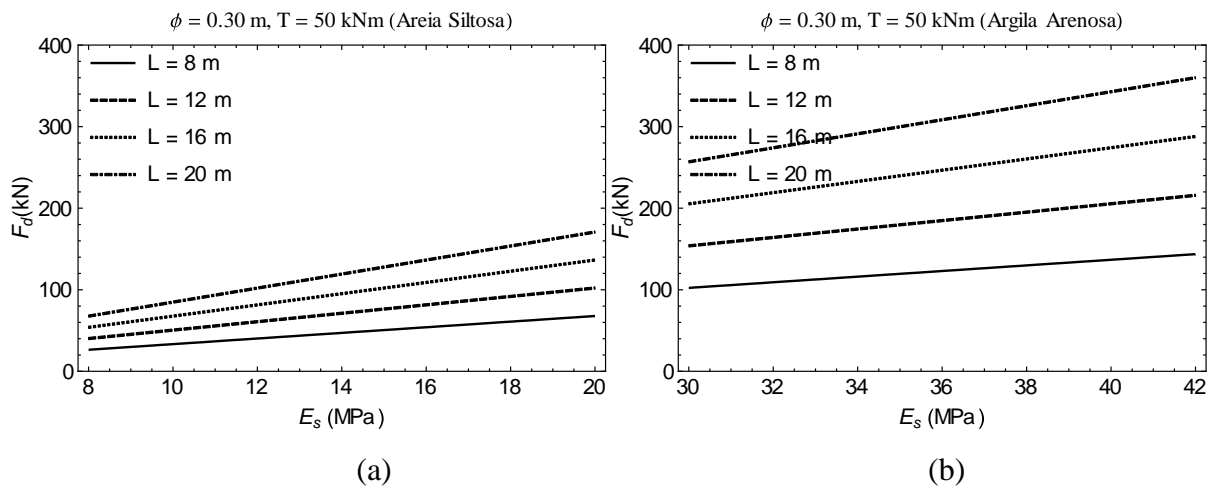


Figura 5.4 – Relação do Módulo de Elasticidade do Solo *versus* Força Descendente do Trado no Solo, para estacas de diâmetro 30 cm: (a) Areia Siltosa, (b) Argila Arenosa

Para uma estaca hélice contínua de 30 cm de diâmetro e torque de 50 kNm executada em uma argila arenosa (Figura 5.4b), a relação do módulo de elasticidade *versus* força descendente indica o aumento do módulo de elasticidade com a força descendente a medida que o comprimento da hélice aumenta. O comportamento é correspondente ao da areia siltosa (Figura 5.4 a), porém o valor quantitativo da força de perfuração é maior devido à estrutura do material argiloso e o efeito coesivo dessa.

5.1.3 CAPACIDADE DE CARGA ADMISSÍVEL DA ESTACA

Relacionando o diâmetro com a capacidade de carga admissível em uma estaca de 15 m de comprimento, torque de 50 kNm e situada em uma areia siltosa (Figura 5.5a), tem-se que quanto maior o diâmetro do estaqueamento e maior o módulo de elasticidade do solo, maior a capacidade de carga admissível da estaca. O valor da capacidade mais baixo tende a refletir as características do material arenoso trabalhar apenas atrito e não ter um efeito coesivo que indique uma aderência na interação solo-estaca.

Tal comportamento coincide com o trabalho de Tshua e Aoki (2008), que mencionam que a porcentagem de capacidade de carga relativa à hélice da ponta aumenta com o diâmetro da hélice e com a densidade da areia, mostrando que o efeito da instalação das hélices na modificação das propriedades iniciais da areia é maior em estacas de hélices de maior diâmetro e em maciços mais compactos. Desta forma, tem-se a veracidade do comportamento nas obras utilizadas nesse trabalho.

Na Figura 5.5 (b), apresenta-se a relação do diâmetro com a capacidade de carga admissível em uma estaca de 15 m de comprimento, torque de 50 kNm e situada em uma argila arenosa. Nota-se que quanto maior o diâmetro do estaqueamento e maior o módulo de elasticidade do solo, maior a capacidade de carga admissível da estaca. Tal comportamento pode ser reflexo da alta aderência do material argiloso na interação solo-estrutura, indicando um maior valor de capacidade de carga admissível.

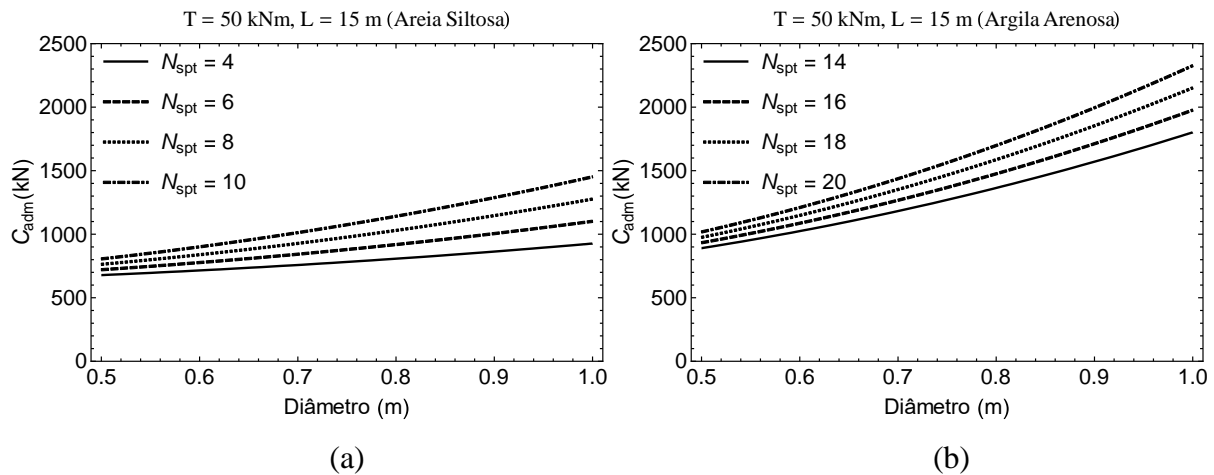


Figura 5.5 – Relação do Diâmetro versus Capacidade de Carga Admissível da Estaca, para diferentes N_{SPT} : (a) Areia Siltosa, (b) Argila Arenosa

Correlacionando o diâmetro com a capacidade de carga admissível em uma estaca de 15 m de profundidade, torque de 50 kNm e situada em uma areia siltosa (Figura 5.6a), com a variação da resistência de ponta (ensaio CPT/CPTU), tem-se que para maiores diâmetro, maior a capacidade de carga admissível da estaca quando se aumenta a resistência de ponta. Tal fato deve-se ao aumento do nível de tensão que ocorrem no solo, o que reflete a maior resistência lateral à medida que se aumenta o diâmetro.

Ressalta-se ainda que esse comportamento se assemelha à solução de Vésic (1970), em que as superfícies de ruptura apresentam uma configuração confinada na base da estaca, além de algumas constatações literárias que indicam a ocorrência na redução do ângulo de resistência ao cisalhamento do solo com o aumento das tensões.

É possível observar ainda que o aumento do diâmetro do estaqueamento, indica aumento na capacidade de carga admissível da estaca quando se aumenta o N_{SPT} . Tal fato é reflexo da influência do solo tanto em termos geotécnicos como em termos de formulação de capacidade de carga admissível, indicando que quanto maior o diâmetro da estaca e mais resistentes o solo, maior a carga que esta suportará.

Na Figura 5.6 (b), apresenta-se a relação do diâmetro com a capacidade de carga admissível em uma estaca de 15 m de profundidade e torque de 50 kNm, situada em uma argila arenosa, com a variação da resistência de ponta (ensaio CPT/CPTU). O comportamento se assemelha à Figura 5.6 (a), de que para maiores diâmetros do estaqueamento, maior a capacidade de carga admissível da estaca quando se aumenta a resistência lateral, além de conter a mesma justificativa descrita anteriormente, principalmente pela redução do ângulo de resistência ao cisalhamento do solo com o aumento das tensões.

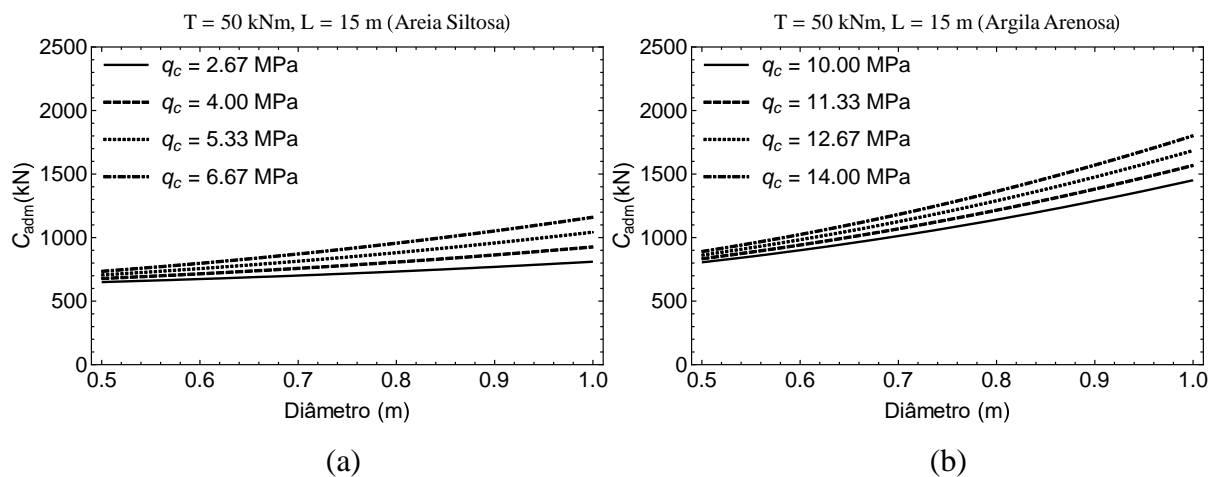


Figura 5.6 – Relação da Profundidade *versus* Capacidade de Carga Admissível, para diferentes q_c (Argila Arenosa)

Para um material de areia siltosa, comprimento de 15 m, módulo de elasticidade de 14 MPa e torque variável (Figura 5.7a), tem-se que com o aumento do diâmetro e o aumento do torque durante a execução, menor a relação da capacidade de carga admissível da estaca por torque produzido.

Na Figura 5.7 (b), apresenta-se os dados de uma estaca hélice contínua com comprimento de 15 m, módulo de elasticidade de 36 MPa, torque variável e executada em uma camada de argila arenosa. Observa-se que quanto maior o diâmetro da estaca e maior o torque durante a execução, menor a relação da capacidade de carga admissível da estaca por torque produzido.

Após a realização da análise analítica, apresenta-se a análise numérica de forma a apresentar o comportamento da estaca perante os parâmetros executivos.

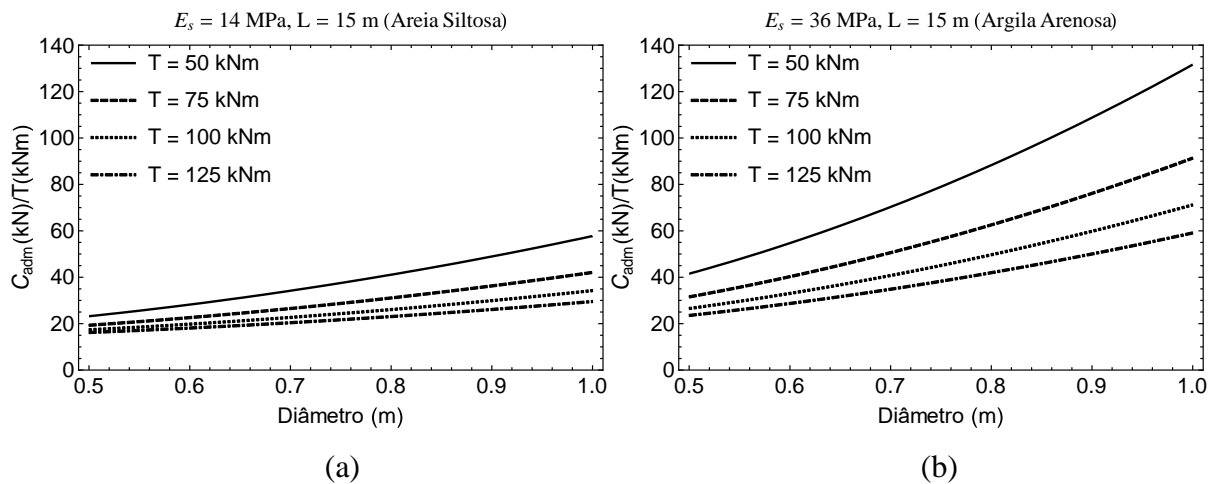


Figura 5.7 – Relação da Profundidade *versus* Capacidade de Carga Admissível da Estaca por Torque de Execução: (a) Areia Siltosa, (b) Argila Arenosa

5.2 DIRETRIZES PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE CONTROLE DE ESTACA HÉLICA CONTÍNUA

Para a análise do sistema *fuzzy* foram realizados testes com as funções de pertinência que melhor se adaptaram à engenharia de fundações, conforme mencionado na metodologia. A seguir são apresentadas algumas das inferências que o sistema inteligente de controle de EHC é capaz de gerar.

5.2.1 ENERGIA TOTAL DE INSTALAÇÃO

Na Figura 5.8 apresentam-se no eixo x , o torque de execução, no eixo y , a velocidade de perfuração e, no eixo z , a energia total de instalação. Observa-se que quanto maior o torque de execução aplicado e maior a velocidade de perfuração, maior a energia total de instalação dispendida no processo executivo da estaca hélice contínua, até um momento em que a estaca mantém o seu dispêndio de energia total de instalação mesmo com o aumento da demais variáveis, indicando a não necessidade de aumentos elevados de torque de execução com a velocidade de perfuração para obtenção de maiores energias totais de instalação obtidas durante a execução da EHC.

Na Figura 5.9 apresentam-se no eixo x , o torque de execução, no eixo y , o superconsumo de concreto e, no eixo z , a energia total de instalação. Nota-se que o torque não apresenta relação física com o superconsumo, o que corrobora a prática de obra. A energia total de instalação tende a aumentar devido apenas à parcela de torque que variou conforme a execução.

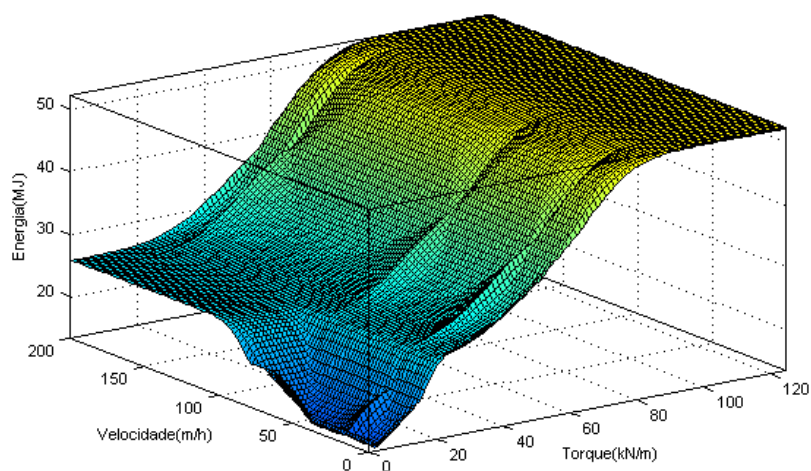


Figura 5.8 – Variação Torque de Execução x Velocidade de Perfuração x Energia Total de Instalação

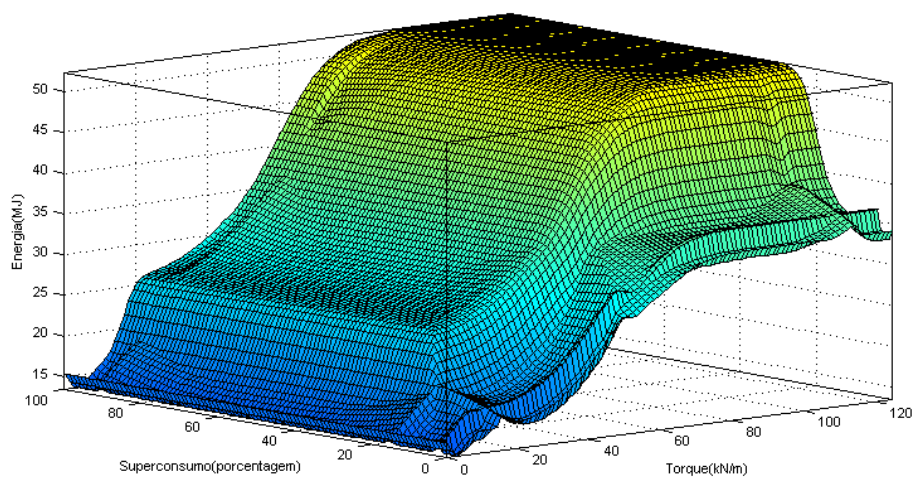


Figura 5.9 – Variação Torque de Execução x Superconsumo de Concreto x Energia Total de Instalação

Na Figura 5.10 apresentam-se no eixo x , a variação da pressão arterial do operador, no eixo y , a velocidade de perfuração e, no eixo z , a energia total de instalação. Observa-se que quanto maior a velocidade de perfuração aplicada e maior a variação da pressão arterial do operador, maior a energia total de instalação dispendida no processo executivo da estaca hélice contínua. Esse fato deve-se ao comportamento do operador durante a execução da estaca, que conforme mencionado na revisão bibliográfica influencia nos parâmetros do estaqueamento, ou seja, quanto maior o seu estado de humor maior a velocidade de instalação aplicada durante o processo de perfuração da estaca.

Na Figura 5.11 apresentam-se no eixo x , o superconsumo de concreto, no eixo y , o N_{SPT} médio da camada de assentamento e, no eixo z , a energia total de instalação. Observa-se que

quanto maior o superconsumo de concreto e maior o N_{SPT} médio da camada de assentamento, maior a energia total de instalação dispendida no processo executivo da estaca hélice contínua.

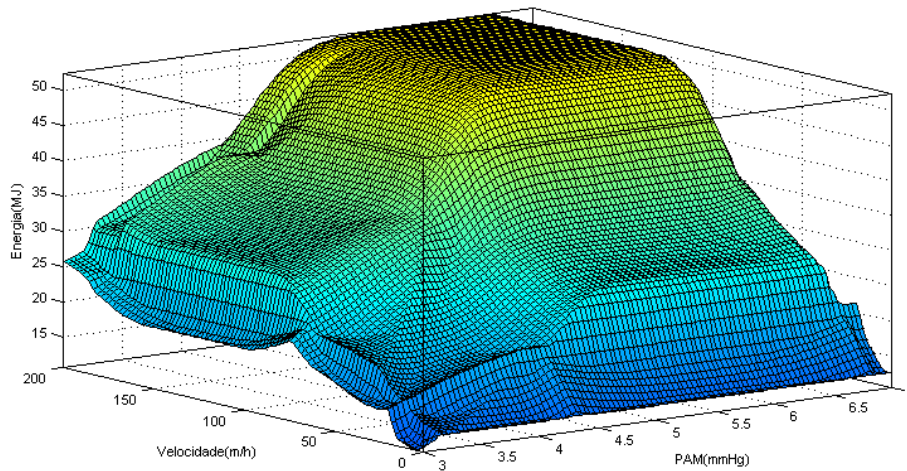


Figura 5.10 – Variação Velocidade de Perfuração x PAM x Energia Total de Instalação

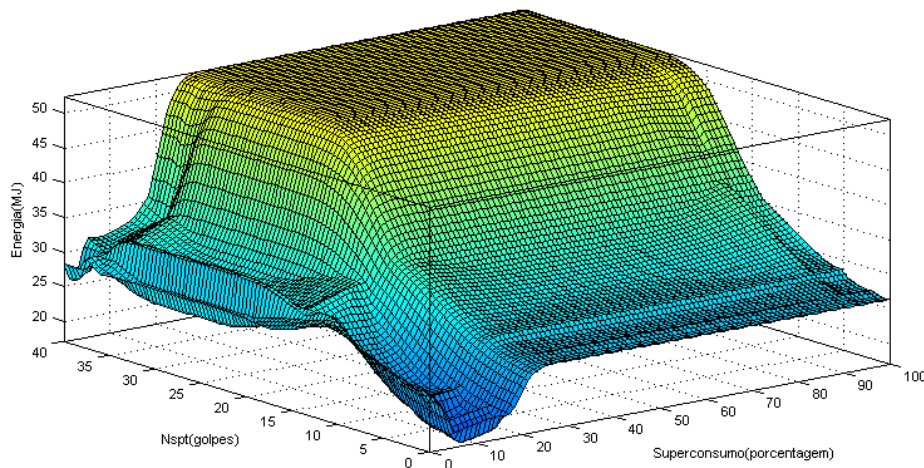


Figura 5.11 - Variação Superconsumo de Concreto x N_{SPT} Médio da Camada de Assentamento x Energia Total de Instalação

Ressalta-se que todos os comportamentos apresentados quando da presença de energias constantes deve-se ao total controle da obra se dá pela energia, o que indica que as obras estudadas não obtiveram energias maiores do que as estipuladas no projeto de EHC.

5.2.2 CAPACIDADE DE CARGA ADMISSÍVEL DA ESTACA

Na Figura 5.12 apresentam-se no eixo x , o torque de execução, no eixo y , a velocidade de penetração e, no eixo z , a capacidade de carga admissível da estaca. Observa-se que quanto

maior o torque e maior a velocidade de perfuração aplicada, maior a capacidade de carga admissível da estaca hélice contínua. Tal fato é semelhante ao mencionado na Figura 5.8, uma vez que o comportamento da capacidade de carga admissível é semelhante ao da energia. Nota-se que para torque de execução maior que 100 kNm a estaca mantém a sua capacidade de carga admissível mesmo com o aumento da velocidade de penetração, indicando a não necessidade de aumentos elevados de torque de execução com a velocidade de penetração para obtenção de maiores capacidade de carga da EHC.

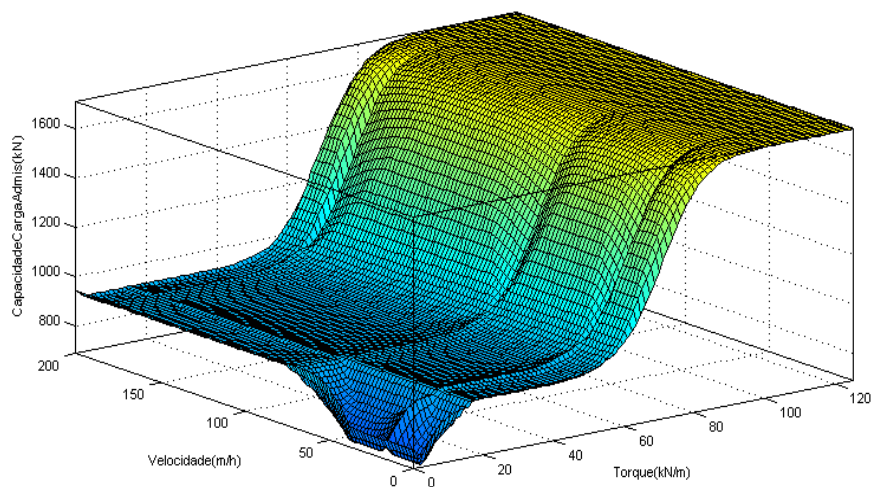


Figura 5.12 – Variação Torque de Execução x Velocidade de Perfuração x Capacidade de Carga Admissível da Estaca

Na Figura 5.13 apresentam-se no eixo x , o torque de perfuração, no eixo y , o superconsumo de concreto e, no eixo z , a capacidade de carga da estaca. Nota-se que o torque não apresenta relação física com o superconsumo, o que corrobora a prática de obra. A capacidade de carga admissível da estaca tende a aumentar devido apenas à parcela de torque que variou conforme a execução.

Na Figura 5.14 apresentam-se no eixo x , a variação da pressão arterial do operador, no eixo y , a velocidade e, no eixo z , a capacidade de carga admissível. Observa-se que quanto maior a velocidade de perfuração aplicada e maior a variação da pressão arterial do operador, maior a capacidade de carga admissível da estaca hélice contínua. Nota-se que no intuito de verificar a influência da pressão arterial do operador na execução da EHC e nos parâmetros de qualidade do estaqueamento, tem-se que o seu controle se dá apenas na variável velocidade de penetração, de modo que essa aumenta com a variação do status emocional, o que significa o aumento da PAM durante a execução da estaca.

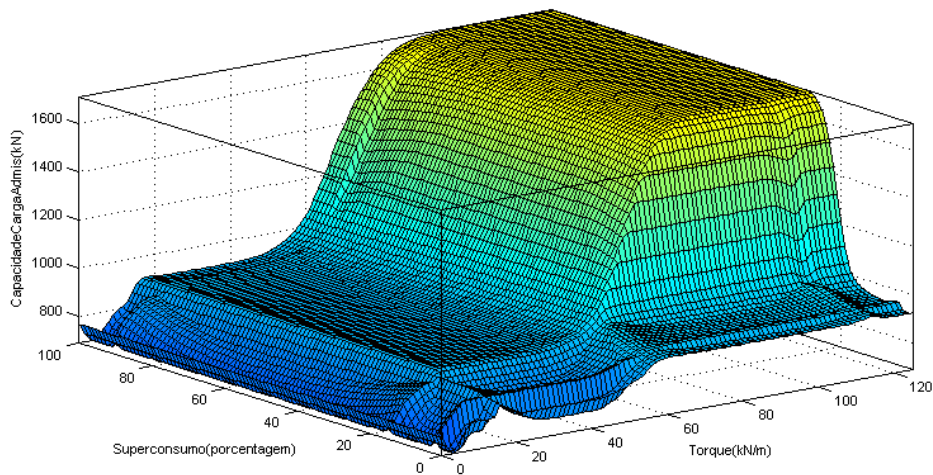


Figura 5.13 – Variação Torque de Execução x Superconsumo de Concreto x Capacidade de Carga Admissível da Estaca

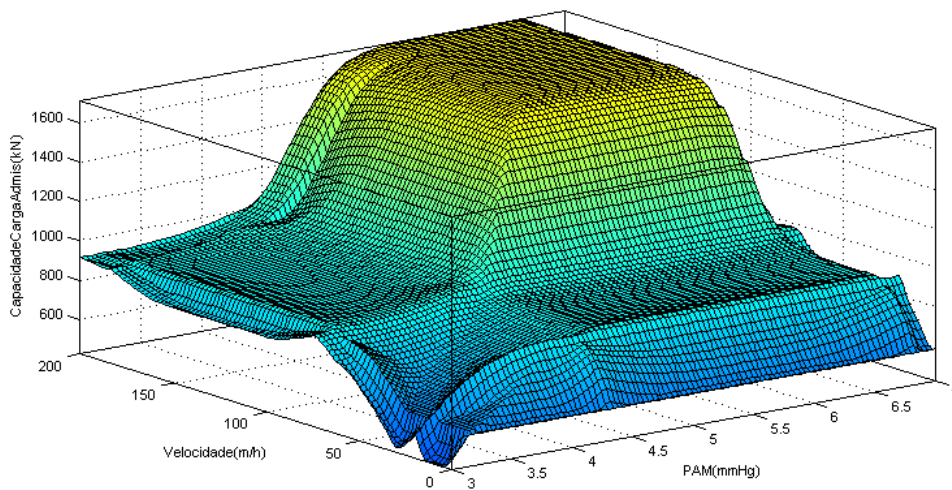


Figura 5.14 – Variação Velocidade de Perfuração x PAM x Capacidade de Carga Admissível da Estaca

Na Figura 5.15 apresentam-se no eixo x , o superconsumo de concreto, no eixo y , o N_{SPT} médio da camada de assentamento da fundação e, no eixo z , a capacidade de carga admissível da estaca. Observa-se que quanto maior o superconsumo e maior o N_{SPT} , maior a capacidade de carga admissível da estaca hélice contínua. Tal fato deve-se à condição de resistência do solo que eleva a capacidade de carga admissível da estaca, conforme mencionado na análise paramétrica presente na Figura 5.5.

O sistema inteligente de controle de EHC apresenta-se como uma ferramenta capaz de dar orientações ao engenheiro executor da fundação durante o andamento da obra e quando necessário no redimensionamento de projeto, em tempo real, permitindo inferências que não

são possíveis pelos tradicionais métodos analíticos de dimensionamento. No entanto, vale ressaltar que quanto mais acurado é a base de regras *fuzzy*, melhor é o desempenho do sistema inteligente.

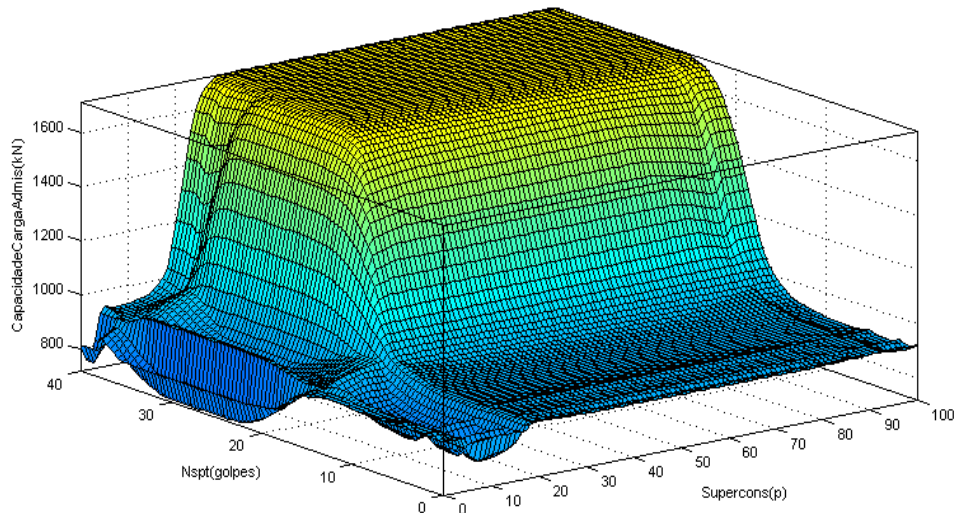


Figura 5.15 - Variação Superconsumo de Concreto x N_{SPT} Médio da camada de Assentamento x Capacidade de Carga Admissível da Estaca

Ressalta-se que todos os comportamentos apresentados quando da presença de capacidades de carga admissível constantes deve-se ao total controle da obra que se dá pela energia, o que indica que as obras estudadas não obtiveram energias maiores do que as estipuladas no projeto de EHC. Isto faz com que as capacidades de carga tornem-se constantes a partir de uma determinada velocidade utilizada.

A calibração de um sistema inteligente com tantas variáveis como o apresentado nessa tese de doutorado não requer um custo computacional alto e um tempo de processamento dispendioso, e uma vez estabelecido uma base de regras *fuzzy* fundamentada, sua implantação e utilização se mostrou bastante viável do ponto de vista operacional, constituindo-se uma ferramenta de grande valia para o meio técnico.

6. CONCLUSÕES

A presente tese apresenta a aplicação da lógica *fuzzy* no controle do desempenho de estacas hélice contínua. Nesse trabalho foi realizada uma análise de campo visando auxiliar na validação do sistema inteligente implantando. Para tal, iniciou-se o estudo com o levantamento de todas as variáveis envolvidas no processo executivo, além do conhecimento dos tipos de maquinários utilizados em obras reais. Para o controle de qualidade dos estaqueamentos tipo hélice contínua, observou-se que um dos aspectos mais relevante da execução da EHC é a tecnologia presente no equipamento, que a partir de dados coletados por sensores permite o monitoramento de todo o processo executivo da estaca.

Vários são os parâmetros obtidos através dos sensores como a inclinação da haste, a profundidade da perfuração, o torque e a velocidade de rotação da hélice, a pressão de injeção, as perdas e o consumo de concreto. Sendo que os parâmetros que mais influencia o comportamento das estacas são torque de execução e a velocidade de penetração.

Quanto ao controle do estaqueamento, foi possível verificar através da etapa de aquisição de dados de campo, ou seja, do monitoramento das estacas hélice contínua que durante a perfuração deve-se evitar que o volume de solo transportado não seja excessivo, pois o transporte excessivo de solo para a superfície pode desconfinar o solo, reduzir os parâmetros de energia e de capacidade de carga da estaca. Outro importante parâmetro que deve ser monitorado é a energia gerada durante o processo de execução, pois é a partir da energia instalação ou do trabalho realizado durante a escavação da estaca, que é possível verificar a resistência do solo e a capacidade de carga da estaca durante a execução. Conseqüentemente, verificou-se que a partir da determinação da energia de instalação ou do trabalho necessário para escavar uma estaca, grandeza que é diretamente proporcional a capacidade de carga admissível da estaca, conferiu-se ao estaqueamento uniformidade e confiabilidade, como proposto pela metodologia SCCAP.

Considerando o total controle dos parâmetros e a obtenção da energia total de instalação, foi apresentada uma formulação da capacidade de carga para uma estaca hélice contínua, obtida

a partir das energias utilizadas durante o processo executivo, além de considerar parâmetros como o torque, a força descendente, o passo e a espessura da lâmina, o raio do trado e do helicóide. Assim, será possível a implantação da formulação no sistema de monitoramento do maquinário e, conseqüentemente, a obtenção durante o monitoramento da capacidade de carga da estaca.

Verificou-se também a influência de um parâmetro subjetivo presente na execução do estaqueamento, no caso, o operador do maquinário. Observou-se que embora os maquinários sejam dotados de sistemas de captura de dados para o monitoramento da execução, o operador não detém do controle total sobre as suas ações e reações, pois em alguns casos são motivados por fatores externos ao trabalho.

Com as variáveis escolhidas para o controle elaborou-se um sistema inteligente através da lógica *fuzzy* para obter, por meio de variáveis linguísticas, valores reais para as situações presentes no controle da estaca.

Para a realização da pesquisa, foram utilizadas três obras (duas situadas em Brasília e a terceira no Rio de Janeiro) com controle total dos parâmetros, sendo que nas duas obras executadas em Brasília também controlou-se a pressão arterial dos operadores dos equipamentos tipo hélice contínua. Para a elaboração do sistema inteligente, foram geradas 1280 regras a partir da combinação das variáveis linguísticas escolhidas e utilização da função de pertinência Gaussiana por ser a que melhor se ajustou ao controle proposto no trabalho.

Na etapa de calibração do modelo analítico foram utilizadas 245 relatórios para a Obra A, 165 relatórios para a Obra B e 81 relatórios para a Obra C, porém foram apresentados em gráficos apenas uma parcela de 10% dos relatórios para melhor visualização. Verificou-se que o modelo analítico quando confrontados ou comparados com os dados das obras apresentou um bom ajuste para os diferentes comprimentos executados, independente do tipo de solo. Salienta-se que nas análises de energia *versus* diâmetro ou comprimento foram utilizados módulos de elasticidade do solo de 30 MPa, 40 MPa e 18 MPa para as Obras A, B, C, respectivamente.

Para a calibração do sistema inteligente foram utilizados apenas os dados de velocidade de perfuração, torque de execução e energia total de instalação provenientes da Obra B e da Obra C, e pode-se inferir que as obras utilizadas mantiveram uma constância de valores de torque de execução e velocidade de perfuração, o que configurou um maior controle do comportamento dos estaqueamentos realizados, resultando em indicativos de uma boa qualidade do estaqueamento.

Por fim, para direcionar a utilização do sistema de controle de estaca hélice contínua foram realizadas análises com todas as variáveis no intuito de verificar o seu comportamento com as variáveis de energia total de instalação e capacidade de carga admissível da estaca, semelhante ao realizado nas análises numéricas. Assim, obteve-se que para a análise do torque de execução, velocidade de perfuração e energia total de instalação, quanto maior o torque aplicado e maior a velocidade de perfuração, maior a energia total de instalação dispendida, o que indicou a não necessidade de aumentos elevados de torque com a velocidade para obtenção de maiores energias obtidas durante a execução da EHC. Para a velocidade de perfuração, variação da pressão arterial média do operador e a energia total de instalação, tem-se que quanto maior a velocidade de perfuração aplicada e maior a variação da pressão arterial média do operador, maior a energia total de instalação dispendida no processo executivo da estaca hélice contínua, corroborando a tendência da influência nos parâmetros do estaqueamento.

Ao relacionar a variação da pressão arterial média do operador, a velocidade de perfuração e a energia total de instalação, observou-se que o aumento da velocidade de perfuração aplicada está relacionada com o aumento da pressão arterial do operador e a energia total de instalação dispendida no processo executivo da estaca hélice contínua, devido ao comportamento do operador durante a execução da estaca.

Analisando o torque de execução, a velocidade de perfuração e a capacidade de carga da estaca, quanto maior o torque e maior a velocidade de perfuração aplicada, maior a capacidade de carga admissível da estaca hélice contínua, fato esse que se assemelha ao mencionado na análise torque, velocidade de perfuração e energia total de instalação. Para o torque de execução, o superconsumo de concreto e a capacidade de carga admissível da estaca, tem-se que quanto maior o torque e maior o superconsumo de concreto, maior a capacidade de carga admissível da estaca hélice contínua.

Para a variação da pressão arterial média do operador, a velocidade de perfuração e a capacidade de carga admissível da estaca, tem-se que para maior velocidade de perfuração aplicada e maior a variação da pressão arterial média do operador, maior a capacidade de carga da estaca hélice contínua. E para o superconsumo de concreto, o N_{SPT} médio da camada de assentamento e a capacidade de carga admissível, quanto maior o superconsumo e maior o N_{SPT} médio da camada de assentamento, maior a capacidade de carga admissível da estaca hélice contínua, o que indica a condição de resistência do solo proporcional ao aumento da capacidade de carga admissível da estaca, mas também o aumento da seção média da estaca.

Assim, tem-se que através da metodologia *fuzzy* utilizada nessa tese para controle de desempenho de EHC, associada à análise analítica foi possível por meio da validação mostrar que o sistema inteligente proposto reflete o comportamento de campo. Indicando que a proposta pode ser utilizada para obter os dados de energia total de instalação e, conseqüentemente, prever a capacidade de carga admissível durante a execução das EHC.

6.1 RECOMENDAÇÕES FUTURAS

Recomenda-se desenvolver diretrizes para o uso da lógica *fuzzy* em sistemas de controle de estacas hélice contínua, tipo SCAAP, a partir de códigos C++ para implantação nos computadores de bordo nos maquinários das EHC.

Recomenda-se a criação de um questionário para ser enviado a todos engenheiros projetistas e executores, a nível Brasil e exterior, com a finalidade de melhorar a qualidade das regras *fuzzy* utilizadas no sistema de controle.

Recomenda-se calibrar e validar o sistema inteligente a partir de outras obras, com diferentes condições de solo, e diferentes maquinários.

Recomenda-se a inclusão da formulação analítica da capacidade de carga em função da energia, fundamentada nas hipóteses de Perko (2001) e modificada nesta tese, no software de monitoramento da EHC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAR (2004). <http://www.pucsp.br/~logica/Fuzzy.htm>. Acesso 01/08/2013
- ABDRABBO, F. M.; GAAVER, K. E. (2012). Installation effects of auger cast-in-place piles. **Alexandria Engineering Journal**, 2012 – Elsevier. Volume 51, Issue 4, December 2012, Pages 281d–292
- ADAM, D.; MARKIEWICZ, R.; DEIX, J. D. (2013). Donau City Tower 1 – Deep foundation, excavation and dewatering scheme for the 220 m tall high-rise building in Vienna. **Vplyv vody na geotechnické konštrukcie**, Bratislava. http://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_218465.pdf, acesso em 25/12/2013.
- AGUADO, A. G., Cantanhede, M. A. (2010). **Lógica Fuzzy**. http://www.ft.unicamp.br/liag/wp/monografias/monografias/2010._IA_FT_UNICAMP_1ogicaFuzzi.pdf. Acesso em: 12/11/13
- ALBUQUERQUE, P.J.R. (2001). Estacas escavadas, hélice contínua e ômega: estudo do comportamento à compressão em solo residual de diabásio, através de provas de carga instrumentadas em profundidade. **Tese de Doutorado**, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, SP, 260 p.
- ALMEIDA NETO, J.A. de. (2002). Análise do Desempenho de Estacas Hélice Contínua e Ômega: Aspectos executivos. **Dissertação Mestrado**. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 174 p.
- ALONSO, U.R. (1996). Estacas hélice contínua com monitoração eletrônica provisão da capacidade de carga através do ensaio SPTT. **3º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais - SEFE III**, São Paulo, SP, 2: 425-429.
- ALONSO, U.R. (2000). Contribuição Para a Formação de Uu Banco de Dados de Provas de Carga Estáticas em Estacas Hélice Contínua. **4º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia**, São Paulo, 2: p.430 – 450.
- ALONSO, U.R. (2002). Complementação do Banco de Dados de Provas de Carga Estáticas em Estacas Hélice Contínua. **12º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica**, Sao Paulo, p.1557 - 1568.
- ALONSO, U.R. (2004 a). Complementação do Banco de Dados de Provas de Carga Estáticas em Estacas Hélice Contínua. **5º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia**, São Paulo, 1: p. 517 - 526.
- ALONSO, U.R. (2004 b). Projeto e Desempenho das Fundações (Retrospectiva da Experiência Brasileira). In: **Seminário de Engenharia de Fundações Especiais – SEFE V**, São Paulo, SP, 2: 1-34.
- ALVES M. G.M.; CHOR D.; FAERSTEIN T.; LOPES C. S.; WERNECK G. L. (2004). Versão resumida da "job stress scale": adaptação para o português. **Revista Saúde Pública**. São Paulo v.38, p. 164-71, Abril.
- ALVINO, A. E.I. (2003). Aplicação da Lógica Nebulosa ao Modelo Muhlbauer Para Análise de Risco em Dutos. Rio de Janeiro. **Tese de Doutorado** - Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 223p.

- ANTUNES, W.R.; CABRAL, D.A. (1996). Capacidade de Carga de Estacas Hélice Contínua. **3º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia**, São Paulo, 2: p.105 - 109.
- ARRUDA, D. M.; ABUD, G. M. D.; PONTES, F. A.; PONTES, R. M.; OLIVEIRA, B. B. F. de (2013). Análise comparativa de ferramentas computacionais para modelagem de lógica *fuzzy*. **X Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, Outubro. <http://www.aedb.br/seget/artigos13/39418400.pdf>
- BASSETT, R.H. (1978). Underreamed Ground Anchors. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, Vol. 18, No. 1, December Springer, Berlin/Heidelberg, pp. 11–17.
- BROWN, D. A.; DAPP, S. D.; THOMPSON, W. R.; LAZARTE, C. A. (2007). Design and Construction of Continuous Flight Auger (CFA) Piles. **Geotechnical Engineering**. No. 8.
- CANO VINDEL, A.; MIGUEL TOBAL, J.J. (2000). Emociones Negativas (Ansiedad, Depresión e Ira). Paper apresentado no **1º Congresso Virtual de Psiquiatria**, Conferencia 28-CI-A: 2.000, <http://www.psiquiatria.com>.
- COX E. (1994). The *fuzzy* systems handbook: a practitioner's guide to building, using, and maintaining *fuzzy* systems. New York: **AP Professional**.
- DECOURT, L.; QUARESMA FILHO, A.R. (1978). Capacidade de Carga de Estacas a Partir de Valores de SPT. **VI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações**, ABMS, 1: p.45-53.
- DECOURT, L.; ALBIERO, J.H.; CINTRA, J.C.A. (1996). Análise e Projeto de Fundações Profundas. **Fundações: Teoria e Prática**, Hachich, W., Falconi, F., Saes, J.L., Frota, R.G.Q., Carvalho, C.S. & Niyama, S. (eds), Editora PINI Ltda, Sao Paulo, SP, p.265-327.
- DOWNEY, S. (2008). "A Quality Foundation." Presented at the Proceedings of **Helical Foundations and Tie-Backs Specialty Seminar** (November) Deep Foundation Institute, Los Angeles, CA. Duncan, J.M. 2000.
- ELSAMEE, W. (2013). New Method for Prediction Pile Capacity Executed by Continuous Flight Auger (CFA), **Engineering**, Vol. 5 No. 4, 2013, pp. 344-354. doi: 10.4236/eng.2013.54047.
- FONSECA, F. de C. A.; COELHO R. Z.; NICOLATO R.; MALLOY-DINIZ L. F.; SILVA FILHO H. C. da (2009). A influência de fatores emocionais sobre a hipertensão arterial. **Jornal Brasileiro de Psiquiatria**. Vol. 58, nº. 2, p. 128-134. ISSN 0047-2085. <http://dx.doi.org/10.1590/S0047-20852009000200011>.
- GABRIEL FILHO, L. R. A.; SATO, K. Y.; PERUZZI, N. J. (2012). Análise das superfícies geradas pelo sistema baseado em regras *fuzzy* de avaliação do risco de segurança do trânsito em rodovias em relação às condições e fluxo da rodovia, do ambiente e da velocidade do automóvel. **Recentes Avanços em Sistemas Fuzzy...: SBMAC - Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional**. v. 1, p. 424-439, 1ed. São Carlos.
- GOMIDE, F. A. C.; GUDWIN R. R. (1994). Modelagem, controle, sistemas e lógica *fuzzy*, **Revista da SBA Controle & Automação**, Vol. 4, No. 3, pp. 97-115.
- GOTLIEB, M.; PENNA, A.S.D; ROMANO JR, R.; RODRIGUES, L.H.B. (2000). Um Método Simples Para a Avaliação da Tensão Admissível no Topo de Estacas Tipo Helice Contínua. **4º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia**, São Paulo, 1: p.312 - 319.

- HACHICH, W.; FALCONI, F.; SAES, J.L.; FROTA; R.G.Q.; CARVALHO, C.S.; NIYAMA, S. (1999). **Fundações: Teoria e Prática**, (eds), Editora PINI LTDA, São Paulo, SP, pp. 119-162.
- HEISS, F.L. (2008). Manifestações Patológicas em Estacas do Tipo Hélice Contínua. **Trabalho de Especialização**. Universidade Tuiuti do Paraná, Curitiba, PR, 82p.
- HEINE, B. (1970). Approaches to the etiology and treatment of psychosomatic disorder. **Proceedings of Royal Society of Medicine**, v. 63, p. 1267-1270.
- HICKS, R. (2014). <http://www.webmd.boots.com/hypertension-high-blood-pressure/guide/diastolic-systolic?page=2>. January 31, Acesso em: 12/09/2014.
- HORTEGAL, M.V. (2011). Avaliação do Comportamento de Estacas Hélice Contínua a Partir de Resultados de Laboratório e de Campo. **Dissertação de Mestrado**, Publicação G.DM-195/11, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 173 p.
- HORTEGAL, M. V.; CAVALCANTE, A. L. B. (2014). Controle de Estacas Hélice Contínua através da Lógica *Fuzzy*. In: **14 CNG Congresso Nacional de Geotecnia - Geotecnia nas Infraestruturas**, Covilhã, Portugal, v. 1. p. 243-254.
- HORTEGAL, M. V.; CAVALCANTE, A. L. B. (2016a). Utilização do Mathematica no Controle de Estacas Hélice Contínuas. In: **XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica**, Minas Gerais. XVIII Cobramseg, p.1-8.
- HORTEGAL, M. V.; CAVALCANTE, A. L. B. (2016b). Controle do Desempenho de Estacas Hélice Contínuas através da Lógica Fuzzy. In: **XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica**, Buzios. XVIII Cobramseg, p.1-8..
- HOYT, R.M.; CLEMENCE, S.P. (1989). Uplift Capacity of Helical Anchors in Soil. Proceedings of the 12th International **Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering**, Rio de Janeiro, Brazil Vol. 2, pp. 1019–1022.
- LINDQUIST T.L.; BERLIN L.J.; KNUIMAN M.W. (1997). Influence of lifestyle, coping and job stress on blood pressure in men and woman. **Journal of Hypertension**, vol. 29 p. 1-7.
- LIPP, M.E.N. (2005). Blood Pressure Reactivity to Social Stress in an Experimental Situation. **Revista de Ciências Médicas**, vol. 14(4), p. 317-26.
- LIPP, M.E.N.; PEREIRA, M.M.B.; JUSTO, A.P.; MATOS, T.M.G. (2006). Cardiovascular reactivity in hypertensives: differential effect of expressing and inhibiting emotions during moments of interpersonal stress. **Span Journal Psychol**, vol. 9(2), p. 154-61.
- LIPP, M. E. N.; ROCHA, J. C. (2007). **Pressão Alta e Stress: O que fazer agora? Um guia de vida para o hipertenso**. Campinas, Ed. Papirus.
- MATHWORKS, Inc (2009). **Matlab® Creating Graphical User Interfaces**, Version 7.8.0.347, Natick, MA, USA.
- MAGALHÃES, P. H.; SALES, M. M.; CUNHA, R. P. da (2006). Capacidade de Carga em Estacas Hélice-Contínua Monitorada: Provas de Carga x Previsão de Métodos Empíricos. In: **XIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica**, Curitiba. XIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. São Paulo: ABMS, p. 861-866

- MOXOTO, G. de F. A.; MALAGRIS, L. E. N. (2015). Raiva, Stress Emocional e Hipertensão: Um Estudo Comparativo. **Psicologia: Teoria e Pesquisa**, Brasília, v. 31, n. 2, p. 221-227.
- MUCHETI, A.S. (2008). Estacas hélice segmentada: execução, verificação de integridade e estudo do comportamento. **Dissertação de Mestrado**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 123p.
- NARASIMHA RAO, S.; PRASAD Y.V.S.N.; SHETTY M.D. (1991). The Behavior of Model Screw Piles in Cohesive Soils. **Soil and Foundations**, Vol. 31, No. 2, pp. 35–50.
- NARASIMHA RAO, S.; PRASAD Y.V.S.N.; VEERESH C. (1993). Behavior of Embedded Model Screw Anchors in Soft Clays. **Geotechnique**, Vol. 43, pp. 605–614.
- NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH (2002). <http://www.nhlbi.nih.gov/health/health-topics/topics/hbp/>. Acesso em: 12/09/2014
- PICKERING, T.G. (2001). Mental Stress as a Causal Factor in the Development of Hypertension and Cardiovascular Disease. **Current Hypertension Reports**, vol. 3:249-54.
- PERKO, H.A. (2001). Energy Method for Predicting the Installation Torque of Helical Foundations and Anchors. In *New Technological and Design Developments in Deep Foundations*, pp. 342–352. Reston, VA: **American Society of Civil Engineers**.
- PERKO, H. A. (2009). **Helical piles: A practical guide to design and installation**. J. Wiley, New Jersey, 528p.
- PLAYER, M. S.; KING, D. E.; MAINOUS, A. G.; GEESEY, M. E. (2007). Psychosocial factors and progression from prehypertension to hypertension or coronary heart disease. **Annals of Family Medicine**, 5(5), 403-411.
- POOLE, J. C.; SNIEDER, H.; DAVIS, H. C.; TREIBER, F. A. (2006). Anger suppression and adiposity modulate association between ADRB2 haplotype and cardiovascular stress reactivity **Psychosomatic Medicine**, 68 (2), 207-212
- RAMOS, B.M.G.; SABOYA, Jr F.; MAIA P. C. DE A. (2010). Aplicação da Lógica Difusa na Avaliação de Capacidade de Carga Fundações Profundas. In: **Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica**, Gramado. v.1. p. 16-23.
- RAMOS, R.E. (2011). Análise do Comportamento Energético de Estacas Monitoradas Tipo Hélice Contínua. **Monografia de Projeto Final**, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 96p.
- RIBACIONKA, F. (1999). Sistemas Computacionais baseados em Lógica *Fuzzy*. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica – Área de Concentração: Engenharia da Computação)** – Universidade Mackenzie, São Paulo, 115p.
- RICHTER, S.; DETER, H. C.; RUDAT, M.; SCHÄCHINGER, H.; ZIMMERMANN-VIEHOFF, F.; WEBER C. (2011). Anger and cardiovascular startle reactivity in normotensive young males. **International Journal of Psychophysiology**, 79(3), 364-370
- RILHO, A.S. (2011). Aplicação de métodos probabilísticos e análise da decisão em projetos de fundações profundas. **Trabalho de Diplomação em Engenharia Civil**. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. 74f.
- RUPIPER, S. (2000). **Personal communication**, San Jose, CA

- SANZ, J.; GARCÍA-VERA, M.P.; ESPINOSA, R.; FORTÚN, M.; MAGÁN, I.; SEGURA, J. (2010). Psychological factors associated with poor hypertension control: differences in personality and stress between patients with controlled and uncontrolled hypertension. **Psychological Reports**, 107(3), 923-938.
- SEIDER, G. (2004). "Helical Foundations: What an Engineer Needs to Know." **Structure Magazine**, Vol. 11, nº 6, pp. 27–28
- SELYE, H. (1950). Cardiovascular Diseases of Adaptation. In: Selve H. The physiology and pathology of exposure to stress. Montreal, Canada: Acta Inc. **Medical Publishers**; 1950, p. 558-76.
- SHEFFIELD D.; SMITH G.D.; CARROLL D.; SHIPLEY M.; MARMOT M.G. (1997). The effects of blood pressure resting level and labiality on cardiovascular reactions to laboratory stress. **International Journal Psychophysiology**. Vol. 27(2):79-86.
- SILVA, C.M. (2011). Energia e Confiabilidade Aplicadas aos Estaqueamentos Tipo Hélice Contínua. **Tese de Doutorado**, Publicação G.TD-070/11, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 311p.
- SILVA, C. M.; CAVALCANTE, A. L. B.; CAMAPUM DE CARVALHO, J. (2012). On Modelling Continuous Flight Auger Pilings by means of Energy. **International Journal of Science and Engineering Investigations**, v. 1, p. 11-16.
- SILVA, C. M.; CAMAPUM DE CARVALHO, J. (2014). Metodologia SCCAP Aplicada a Estaqueamentos Tipo Hélice Contínua. **Concreto & Construção**, v. 01, p. 78.
- SILVA, C.M., CARVALHO, J.C.; CAVALCANTE, A.L.B. (2014). The SCCAP Methodology Applied to Design Continuous Flight Auger Pilings. **The Electronic Journal of Geotechnical Engineering**. V. 19 (Z4), pp. 16909-16919
- SILVEIRA, F. A. R. (1998). Utilização do Mathematica como ferramenta de apoio ao ensino de matemática. **Dissertação de Mestrado**, Inst. de Informática, PUCRS, Porto Alegre, 129f.
- SPIELBERGER, C. D. (1992). Inventário de Expressão de Raiva como Estado e Traço (STAXI) (A. Biaggio, trans.). São Paulo: **Vetor Editora Psicopedagógica**.
- SUGENO, M.; KANG, G. T. (1986). **Structure identification of fuzzy model**. *Fuzzy Sets and Systems*, 28, pp. 329–346.
- TAKAGI, T.; SUGENO, M. (1985). *Fuzzy* identification of systems and its applications to modeling and control. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, 15(1), pp. 116–132.
- TAVARES, C.A.A. (2009). Elaboração e aplicação de uma metodologia de controle de qualidade para o processo executivo de estacas hélice contínua monitoradas. **Dissertação de Mestrado**. Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 117 p.
- TSHUA, C. H. C. (2007). Modelo teórico para controle de qualidade da capacidade de carga à tração de estacas metálicas helicoidais em solos arenosos. **Tese de Doutorado**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 245p.
- TSUHA, C.H.C.; AOKI, N. (2008). Efeito do Número de Hélices na Capacidade de Carga à Tração de Estacas Metálicas Helicoidais Instaladas em Areia. In: XIV **Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica**, Buzios. XIV Cobramseg, 2008. v. 2

TOMASI, N. G. S (1996). Convivência em grupo: uma modalidade para aprender e ensinar a enfrentar a situação crônica de saúde. **Dissertação Mestrado** em Enfermagem. Florianópolis: Escola de Enfermagem da UFSC, 110p.

WOLFRAM RESEARCH, Inc (2015). **Mathematica**, Version 10.1, Champaign, IL.

ZADEH, L. A. (1965). **Fuzzy Sets**. Information and Control, vol. 8, pp 338-353

ZAYED, T. (2005). Selecting Pile Construction Method Using *Fuzzy* Approach. **Construction Research Congress** 2005: pp. 1-10. doi: 10.1061/40754(183)135

ZHANG, Z.; TUMAY, M. (1999). Statistical to *Fuzzy* Approach toward CPT Soil Classification. **ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, 125, No. 3, pp. 179-186.

www.geodigitus.com.br

APÊNDICE A – DEFINIÇÃO DAS REGRAS FUZZY PELOS ESPECIALISTAS

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
1	muito baixo	inicial	critica	fofo	calmo	boa	baixa
2	muito baixo	inicial	critica	fofo	agitado	boa	baixa
3	muito baixo	inicial	critica	fofo	estressado	boa	baixa
4	muito baixo	inicial	critica	fofo	raiva	boa	baixa
5	muito baixo	inicial	critica	pouco compac	calmo	boa	baixa
6	muito baixo	inicial	critica	pouco compac	agitado	boa	baixa
7	muito baixo	inicial	critica	pouco compac	estressado	boa	baixa
8	muito baixo	inicial	critica	pouco compac	raiva	boa	baixa
9	muito baixo	inicial	critica	median compac	calmo	boa	baixa
10	muito baixo	inicial	critica	median compac	agitado	boa	baixa
11	muito baixo	inicial	critica	median compac	estressado	boa	baixa
12	muito baixo	inicial	critica	median compac	raiva	boa	baixa
13	muito baixo	inicial	critica	compact	calmo	boa	baixa
14	muito baixo	inicial	critica	compact	agitado	boa	baixa
15	muito baixo	inicial	critica	compact	estressado	boa	baixa
16	muito baixo	inicial	critica	compact	raiva	boa	baixa
17	muito baixo	inicial	critica	muito compac	calmo	boa	baixa
18	muito baixo	inicial	critica	muito compac	agitado	boa	baixa
19	muito baixo	inicial	critica	muito compac	estressado	boa	baixa
20	muito baixo	inicial	critica	muito compac	raiva	boa	baixa
21	muito baixo	inicial	alerta	fofo	calmo	boa	baixa
22	muito baixo	inicial	alerta	fofo	agitado	boa	baixa
23	muito baixo	inicial	alerta	fofo	estressado	boa	baixa
24	muito baixo	inicial	alerta	fofo	raiva	boa	baixa
25	muito baixo	inicial	alerta	pouco compac	calmo	boa	baixa
26	muito baixo	inicial	alerta	pouco compac	agitado	boa	baixa
27	muito baixo	inicial	alerta	pouco compac	estressado	boa	baixa
28	muito baixo	inicial	alerta	pouco compac	raiva	boa	baixa
29	muito baixo	inicial	alerta	median compac	calmo	boa	baixa
30	muito baixo	inicial	alerta	median compac	agitado	boa	baixa
31	muito baixo	inicial	alerta	median compac	estressado	boa	baixa
32	muito baixo	inicial	alerta	median compac	raiva	boa	baixa

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
33	muito baixo	inicial	alerta	compact	calmo	boa	baixa
34	muito baixo	inicial	alerta	compact	agitado	boa	baixa
35	muito baixo	inicial	alerta	compact	estressado	boa	baixa
36	muito baixo	inicial	alerta	compact	raiva	boa	baixa
37	muito baixo	inicial	alerta	muito compac	calmo	boa	baixa
38	muito baixo	inicial	alerta	muito compac	agitado	boa	baixa
39	muito baixo	inicial	alerta	muito compac	estressado	boa	baixa
40	muito baixo	inicial	alerta	muito compac	raiva	boa	baixa
41	muito baixo	inicial	boa	fofo	calmo	boa	baixa
42	muito baixo	inicial	boa	fofo	agitado	boa	baixa
43	muito baixo	inicial	boa	fofo	estressado	boa	baixa
44	muito baixo	inicial	boa	fofo	raiva	boa	baixa
45	muito baixo	inicial	boa	pouco compac	calmo	boa	baixa
46	muito baixo	inicial	boa	pouco compac	agitado	boa	baixa
47	muito baixo	inicial	boa	pouco compac	estressado	boa	baixa
48	muito baixo	inicial	boa	pouco compac	raiva	boa	baixa
49	muito baixo	inicial	boa	median compac	calmo	boa	baixa
50	muito baixo	inicial	boa	median compac	agitado	boa	baixa
51	muito baixo	inicial	boa	median compac	estressado	boa	baixa
52	muito baixo	inicial	boa	median compac	raiva	boa	baixa
53	muito baixo	inicial	boa	compact	calmo	boa	baixa
54	muito baixo	inicial	boa	compact	agitado	boa	baixa
55	muito baixo	inicial	boa	compact	estressado	boa	baixa
56	muito baixo	inicial	boa	compact	raiva	boa	baixa
57	muito baixo	inicial	boa	muito compac	calmo	boa	baixa
58	muito baixo	inicial	boa	muito compac	agitado	boa	baixa
59	muito baixo	inicial	boa	muito compac	estressado	boa	baixa
60	muito baixo	inicial	boa	muito compac	raiva	boa	baixa
61	muito baixo	inicial	prejuizo	fofo	calmo	boa	baixa
62	muito baixo	inicial	prejuizo	fofo	agitado	boa	baixa
63	muito baixo	inicial	prejuizo	fofo	estressado	boa	baixa
64	muito baixo	inicial	prejuizo	fofo	raiva	boa	baixa
65	muito baixo	inicial	prejuizo	pouco compac	calmo	boa	baixa
66	muito baixo	inicial	prejuizo	pouco compac	agitado	boa	baixa
67	muito baixo	inicial	prejuizo	pouco compac	estressado	boa	baixa

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
68	muito baixo	inicial	prejuizo	pouco compac	raiva	boa	baixa
69	muito baixo	inicial	prejuizo	median compac	calmo	boa	baixa
70	muito baixo	inicial	prejuizo	median compac	agitado	boa	baixa
71	muito baixo	inicial	prejuizo	median compac	estressado	boa	baixa
72	muito baixo	inicial	prejuizo	median compac	raiva	boa	baixa
73	muito baixo	inicial	prejuizo	compact	calmo	boa	baixa
74	muito baixo	inicial	prejuizo	compact	agitado	boa	baixa
75	muito baixo	inicial	prejuizo	compact	estressado	boa	baixa
76	muito baixo	inicial	prejuizo	compact	raiva	boa	baixa
77	muito baixo	inicial	prejuizo	muito compac	calmo	boa	baixa
78	muito baixo	inicial	prejuizo	muito compac	agitado	boa	baixa
79	muito baixo	inicial	prejuizo	muito compac	estressado	boa	baixa
80	muito baixo	inicial	prejuizo	muito compac	raiva	boa	baixa
81	muito baixo	regular	critica	fofo	calmo	boa	baixa
82	muito baixo	regular	critica	fofo	agitado	boa	baixa
83	muito baixo	regular	critica	fofo	estressado	boa	baixa
84	muito baixo	regular	critica	fofo	raiva	boa	baixa
85	muito baixo	regular	critica	pouco compac	calmo	boa	baixa
86	muito baixo	regular	critica	pouco compac	agitado	boa	baixa
87	muito baixo	regular	critica	pouco compac	estressado	boa	baixa
88	muito baixo	regular	critica	pouco compac	raiva	boa	baixa
89	muito baixo	regular	critica	median compac	calmo	boa	baixa
90	muito baixo	regular	critica	median compac	agitado	boa	baixa
91	muito baixo	regular	critica	median compac	estressado	boa	baixa
92	muito baixo	regular	critica	median compac	raiva	boa	baixa
93	muito baixo	regular	critica	compact	calmo	boa	baixa
94	muito baixo	regular	critica	compact	agitado	boa	baixa
95	muito baixo	regular	critica	compact	estressado	boa	baixa
96	muito baixo	regular	critica	compact	raiva	boa	baixa
97	muito baixo	regular	critica	muito compac	calmo	boa	baixa
98	muito baixo	regular	critica	muito compac	agitado	boa	baixa
99	muito baixo	regular	critica	muito compac	estressado	boa	baixa
100	muito baixo	regular	critica	muito compac	raiva	boa	baixa
101	muito baixo	regular	alerta	fofo	calmo	boa	baixa

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
102	muito baixo	regular	alerta	fofo	agitado	boa	baixa
103	muito baixo	regular	alerta	fofo	estressado	boa	baixa
104	muito baixo	regular	alerta	fofo	raiva	boa	baixa
105	muito baixo	regular	alerta	pouco compac	calmo	boa	baixa
106	muito baixo	regular	alerta	pouco compac	agitado	boa	baixa
107	muito baixo	regular	alerta	pouco compac	estressado	boa	baixa
108	muito baixo	regular	alerta	pouco compac	raiva	boa	baixa
109	muito baixo	regular	alerta	median compac	calmo	boa	baixa
110	muito baixo	regular	alerta	median compac	agitado	boa	baixa
111	muito baixo	regular	alerta	median compac	estressado	boa	baixa
112	muito baixo	regular	alerta	median compac	raiva	boa	baixa
113	muito baixo	regular	alerta	compact	calmo	boa	baixa
114	muito baixo	regular	alerta	compact	agitado	boa	baixa
115	muito baixo	regular	alerta	compact	estressado	boa	baixa
116	muito baixo	regular	alerta	compact	raiva	boa	baixa
117	muito baixo	regular	alerta	muito compac	calmo	boa	baixa
118	muito baixo	regular	alerta	muito compac	agitado	boa	baixa
119	muito baixo	regular	alerta	muito compac	estressado	boa	baixa
120	muito baixo	regular	alerta	muito compac	raiva	boa	baixa
121	muito baixo	regular	boa	fofo	calmo	boa	baixa
122	muito baixo	regular	boa	fofo	agitado	boa	baixa
123	muito baixo	regular	boa	fofo	estressado	boa	baixa
124	muito baixo	regular	boa	fofo	raiva	boa	baixa
125	muito baixo	regular	boa	pouco compac	calmo	boa	baixa
126	muito baixo	regular	boa	pouco compac	agitado	boa	baixa
127	muito baixo	regular	boa	pouco compac	estressado	boa	baixa
128	muito baixo	regular	boa	pouco compac	raiva	boa	baixa
129	muito baixo	regular	boa	median compac	calmo	boa	baixa
130	muito baixo	regular	boa	median compac	agitado	boa	baixa
131	muito baixo	regular	boa	median compac	estressado	boa	baixa
132	muito baixo	regular	boa	median compac	raiva	boa	baixa
133	muito baixo	regular	boa	compact	calmo	boa	baixa
134	muito baixo	regular	boa	compact	agitado	boa	baixa
135	muito baixo	regular	boa	compact	estressado	boa	baixa
136	muito baixo	regular	boa	compact	raiva	boa	baixa

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
137	muito baixo	regular	boa	muito compac	calmo	boa	baixa
138	muito baixo	regular	boa	muito compac	agitado	boa	baixa
139	muito baixo	regular	boa	muito compac	estressado	boa	baixa
140	muito baixo	regular	boa	muito compac	raiva	boa	baixa
141	muito baixo	regular	prejuizo	fofo	calmo	boa	baixa
142	muito baixo	regular	prejuizo	fofo	agitado	boa	baixa
143	muito baixo	regular	prejuizo	fofo	estressado	boa	baixa
144	muito baixo	regular	prejuizo	fofo	raiva	boa	baixa
145	muito baixo	regular	prejuizo	pouco compac	calmo	boa	baixa
146	muito baixo	regular	prejuizo	pouco compac	agitado	boa	baixa
147	muito baixo	regular	prejuizo	pouco compac	estressado	boa	baixa
148	muito baixo	regular	prejuizo	pouco compac	raiva	boa	baixa
149	muito baixo	regular	prejuizo	median compac	calmo	boa	baixa
150	muito baixo	regular	prejuizo	median compac	agitado	boa	baixa
151	muito baixo	regular	prejuizo	median compac	estressado	boa	baixa
152	muito baixo	regular	prejuizo	median compac	raiva	boa	baixa
153	muito baixo	regular	prejuizo	compact	calmo	boa	baixa
154	muito baixo	regular	prejuizo	compact	agitado	boa	baixa
155	muito baixo	regular	prejuizo	compact	estressado	boa	baixa
156	muito baixo	regular	prejuizo	compact	raiva	boa	baixa
157	muito baixo	regular	prejuizo	muito compac	calmo	boa	baixa
158	muito baixo	regular	prejuizo	muito compac	agitado	boa	baixa
159	muito baixo	regular	prejuizo	muito compac	estressado	boa	baixa
160	muito baixo	regular	prejuizo	muito compac	raiva	boa	baixa
161	muito baixo	ideal	critica	fofo	calmo	media	intermediaria
162	muito baixo	ideal	critica	fofo	agitado	media	intermediaria
163	muito baixo	ideal	critica	fofo	estressado	media	intermediaria
164	muito baixo	ideal	critica	fofo	raiva	media	intermediaria
165	muito baixo	ideal	critica	pouco compac	calmo	media	intermediaria
166	muito baixo	ideal	critica	pouco compac	agitado	media	intermediaria
167	muito baixo	ideal	critica	pouco compac	estressado	media	intermediaria
168	muito baixo	ideal	critica	pouco compac	raiva	media	intermediaria
169	muito baixo	ideal	critica	median compac	calmo	media	intermediaria

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
170	muito baixo	ideal	critica	median compac	agitado	media	intermediaria
171	muito baixo	ideal	critica	median compac	estressado	media	intermediaria
172	muito baixo	ideal	critica	median compac	raiva	media	intermediaria
173	muito baixo	ideal	critica	compact	calmo	media	intermediaria
174	muito baixo	ideal	critica	compact	agitado	media	intermediaria
175	muito baixo	ideal	critica	compact	estressado	media	intermediaria
176	muito baixo	ideal	critica	compact	raiva	media	intermediaria
177	muito baixo	ideal	critica	muito compac	calmo	media	intermediaria
178	muito baixo	ideal	critica	muito compac	agitado	media	intermediaria
179	muito baixo	ideal	critica	muito compac	estressado	media	intermediaria
180	muito baixo	ideal	critica	muito compac	raiva	media	intermediaria
181	muito baixo	ideal	alerta	fofo	calmo	media	intermediaria
182	muito baixo	ideal	alerta	fofo	agitado	media	intermediaria
183	muito baixo	ideal	alerta	fofo	estressado	media	intermediaria
184	muito baixo	ideal	alerta	fofo	raiva	media	intermediaria
185	muito baixo	ideal	alerta	pouco compac	calmo	media	intermediaria
186	muito baixo	ideal	alerta	pouco compac	agitado	media	intermediaria
187	muito baixo	ideal	alerta	pouco compac	estressado	media	intermediaria
188	muito baixo	ideal	alerta	pouco compac	raiva	media	intermediaria
189	muito baixo	ideal	alerta	median compac	calmo	media	intermediaria
190	muito baixo	ideal	alerta	median compac	agitado	media	intermediaria
191	muito baixo	ideal	alerta	median compac	estressado	media	intermediaria
192	muito baixo	ideal	alerta	median compac	raiva	media	intermediaria
193	muito baixo	ideal	alerta	compact	calmo	media	intermediaria
194	muito baixo	ideal	alerta	compact	agitado	media	intermediaria
195	muito baixo	ideal	alerta	compact	estressado	media	intermediaria
196	muito baixo	ideal	alerta	compact	raiva	media	intermediaria
197	muito baixo	ideal	alerta	muito compac	calmo	media	intermediaria
198	muito baixo	ideal	alerta	muito compac	agitado	media	intermediaria
199	muito baixo	ideal	alerta	muito compac	estressado	media	intermediaria
200	muito baixo	ideal	alerta	muito compac	raiva	media	intermediaria
201	muito baixo	ideal	boa	fofo	calmo	media	intermediaria
202	muito baixo	ideal	boa	fofo	agitado	media	intermediaria
203	muito baixo	ideal	boa	fofo	estressado	media	intermediaria
204	muito baixo	ideal	boa	fofo	raiva	media	intermediaria

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
205	muito baixo	ideal	boa	pouco compac	calmo	media	intermediaria
206	muito baixo	ideal	boa	pouco compac	agitado	media	intermediaria
207	muito baixo	ideal	boa	pouco compac	estressado	media	intermediaria
208	muito baixo	ideal	boa	pouco compac	raiva	media	intermediaria
209	muito baixo	ideal	boa	median compac	calmo	media	intermediaria
210	muito baixo	ideal	boa	median compac	agitado	media	intermediaria
211	muito baixo	ideal	boa	median compac	estressado	media	intermediaria
212	muito baixo	ideal	boa	median compac	raiva	media	intermediaria
213	muito baixo	ideal	boa	compact	calmo	media	intermediaria
214	muito baixo	ideal	boa	compact	agitado	media	intermediaria
215	muito baixo	ideal	boa	compact	estressado	media	intermediaria
216	muito baixo	ideal	boa	compact	raiva	media	intermediaria
217	muito baixo	ideal	boa	muito compac	calmo	media	intermediaria
218	muito baixo	ideal	boa	muito compac	agitado	media	intermediaria
219	muito baixo	ideal	boa	muito compac	estressado	media	intermediaria
220	muito baixo	ideal	boa	muito compac	raiva	media	intermediaria
221	muito baixo	ideal	prejuizo	fofo	calmo	media	intermediaria
222	muito baixo	ideal	prejuizo	fofo	agitado	media	intermediaria
223	muito baixo	ideal	prejuizo	fofo	estressado	media	intermediaria
224	muito baixo	ideal	prejuizo	fofo	raiva	media	intermediaria
225	muito baixo	ideal	prejuizo	pouco compac	calmo	media	intermediaria
226	muito baixo	ideal	prejuizo	pouco compac	agitado	media	intermediaria
227	muito baixo	ideal	prejuizo	pouco compac	estressado	media	intermediaria
228	muito baixo	ideal	prejuizo	pouco compac	raiva	media	intermediaria
229	muito baixo	ideal	prejuizo	median compac	calmo	media	intermediaria
230	muito baixo	ideal	prejuizo	median compac	agitado	media	intermediaria
231	muito baixo	ideal	prejuizo	median compac	estressado	media	intermediaria
232	muito baixo	ideal	prejuizo	median compac	raiva	media	intermediaria
233	muito baixo	ideal	prejuizo	compact	calmo	media	intermediaria
234	muito baixo	ideal	prejuizo	compact	agitado	media	intermediaria
235	muito baixo	ideal	prejuizo	compact	estressado	media	intermediaria
236	muito baixo	ideal	prejuizo	compact	raiva	media	intermediaria
237	muito baixo	ideal	prejuizo	muito compac	calmo	media	intermediaria

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
238	muito baixo	ideal	prejuizo	muito compac	agitado	media	intermediaria
239	muito baixo	ideal	prejuizo	muito compac	estressado	media	intermediaria
240	muito baixo	ideal	prejuizo	muito compac	raiva	media	intermediaria
241	muito baixo	atenção	critica	fofo	calmo	media	intermediaria
242	muito baixo	atenção	critica	fofo	agitado	media	intermediaria
243	muito baixo	atenção	critica	fofo	estressado	media	intermediaria
244	muito baixo	atenção	critica	fofo	raiva	media	intermediaria
245	muito baixo	atenção	critica	pouco compac	calmo	media	intermediaria
246	muito baixo	atenção	critica	pouco compac	agitado	media	intermediaria
247	muito baixo	atenção	critica	pouco compac	estressado	media	intermediaria
248	muito baixo	atenção	critica	pouco compac	raiva	media	intermediaria
249	muito baixo	atenção	critica	median compac	calmo	media	intermediaria
250	muito baixo	atenção	critica	median compac	agitado	media	intermediaria
251	muito baixo	atenção	critica	median compac	estressado	media	intermediaria
252	muito baixo	atenção	critica	median compac	raiva	media	intermediaria
253	muito baixo	atenção	critica	compact	calmo	media	intermediaria
254	muito baixo	atenção	critica	compact	agitado	media	intermediaria
255	muito baixo	atenção	critica	compact	estressado	media	intermediaria
256	muito baixo	atenção	critica	compact	raiva	media	intermediaria
257	muito baixo	atenção	critica	muito compac	calmo	media	intermediaria
258	muito baixo	atenção	critica	muito compac	agitado	media	intermediaria
259	muito baixo	atenção	critica	muito compac	estressado	media	intermediaria
260	muito baixo	atenção	critica	muito compac	raiva	media	intermediaria
261	muito baixo	atenção	alerta	fofo	calmo	media	intermediaria
262	muito baixo	atenção	alerta	fofo	agitado	media	intermediaria
263	muito baixo	atenção	alerta	fofo	estressado	media	intermediaria
264	muito baixo	atenção	alerta	fofo	raiva	media	intermediaria
265	muito baixo	atenção	alerta	pouco compac	calmo	media	intermediaria
266	muito baixo	atenção	alerta	pouco compac	agitado	media	intermediaria
267	muito baixo	atenção	alerta	pouco compac	estressado	media	intermediaria
268	muito baixo	atenção	alerta	pouco compac	raiva	media	intermediaria
269	muito baixo	atenção	alerta	median compac	calmo	media	intermediaria
270	muito baixo	atenção	alerta	median compac	agitado	media	intermediaria

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
271	muito baixo	atenção	alerta	median compac	estressado	media	intermediaria
272	muito baixo	atenção	alerta	median compac	raiva	media	intermediaria
273	muito baixo	atenção	alerta	compact	calmo	media	intermediaria
274	muito baixo	atenção	alerta	compact	agitado	media	intermediaria
275	muito baixo	atenção	alerta	compact	estressado	media	intermediaria
276	muito baixo	atenção	alerta	compact	raiva	media	intermediaria
277	muito baixo	atenção	alerta	muito compac	calmo	media	intermediaria
278	muito baixo	atenção	alerta	muito compac	agitado	media	intermediaria
279	muito baixo	atenção	alerta	muito compac	estressado	media	intermediaria
280	muito baixo	atenção	alerta	muito compac	raiva	media	intermediaria
281	muito baixo	atenção	boa	fofo	calmo	media	intermediaria
282	muito baixo	atenção	boa	fofo	agitado	media	intermediaria
283	muito baixo	atenção	boa	fofo	estressado	media	intermediaria
284	muito baixo	atenção	boa	fofo	raiva	media	intermediaria
285	muito baixo	atenção	boa	pouco compac	calmo	media	intermediaria
286	muito baixo	atenção	boa	pouco compac	agitado	media	intermediaria
287	muito baixo	atenção	boa	pouco compac	estressado	media	intermediaria
288	muito baixo	atenção	boa	pouco compac	raiva	media	intermediaria
289	muito baixo	atenção	boa	median compac	calmo	media	intermediaria
290	muito baixo	atenção	boa	median compac	agitado	media	intermediaria
291	muito baixo	atenção	boa	median compac	estressado	media	intermediaria
292	muito baixo	atenção	boa	median compac	raiva	media	intermediaria
293	muito baixo	atenção	boa	compact	calmo	media	intermediaria
294	muito baixo	atenção	boa	compact	agitado	media	intermediaria
295	muito baixo	atenção	boa	compact	estressado	media	intermediaria
296	muito baixo	atenção	boa	compact	raiva	media	intermediaria
297	muito baixo	atenção	boa	muito compac	calmo	media	intermediaria
298	muito baixo	atenção	boa	muito compac	agitado	media	intermediaria
299	muito baixo	atenção	boa	muito compac	estressado	media	intermediaria
300	muito baixo	atenção	boa	muito compac	raiva	media	intermediaria
301	muito baixo	atenção	prejuizo	fofo	calmo	media	intermediaria
302	muito baixo	atenção	prejuizo	fofo	agitado	media	intermediaria
303	muito baixo	atenção	prejuizo	fofo	estressado	media	intermediaria
304	muito baixo	atenção	prejuizo	fofo	raiva	media	intermediaria
305	muito baixo	atenção	prejuizo	pouco compac	calmo	media	intermediaria

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
306	muito baixo	atenção	prejuizo	pouco compac	agitado	media	intermediaria
307	muito baixo	atenção	prejuizo	pouco compac	estressado	media	intermediaria
308	muito baixo	atenção	prejuizo	pouco compac	raiva	media	intermediaria
309	muito baixo	atenção	prejuizo	median compac	calmo	media	intermediaria
310	muito baixo	atenção	prejuizo	median compac	agitado	media	intermediaria
311	muito baixo	atenção	prejuizo	median compac	estressado	media	intermediaria
312	muito baixo	atenção	prejuizo	median compac	raiva	media	intermediaria
313	muito baixo	atenção	prejuizo	compact	calmo	media	intermediaria
314	muito baixo	atenção	prejuizo	compact	agitado	media	intermediaria
315	muito baixo	atenção	prejuizo	compact	estressado	media	intermediaria
316	muito baixo	atenção	prejuizo	compact	raiva	media	intermediaria
317	muito baixo	atenção	prejuizo	muito compac	calmo	media	intermediaria
318	muito baixo	atenção	prejuizo	muito compac	agitado	media	intermediaria
319	muito baixo	atenção	prejuizo	muito compac	estressado	media	intermediaria
320	muito baixo	atenção	prejuizo	muito compac	raiva	media	intermediaria
321	baixo	inicial	critica	fofo	calmo	media	intermediaria
322	baixo	inicial	critica	fofo	agitado	media	intermediaria
323	baixo	inicial	critica	fofo	estressado	media	intermediaria
324	baixo	inicial	critica	fofo	raiva	media	intermediaria
325	baixo	inicial	critica	pouco compac	calmo	media	intermediaria
326	baixo	inicial	critica	pouco compac	agitado	media	intermediaria
327	baixo	inicial	critica	pouco compac	estressado	media	intermediaria
328	baixo	inicial	critica	pouco compac	raiva	media	intermediaria
329	baixo	inicial	critica	median compac	calmo	media	intermediaria
330	baixo	inicial	critica	median compac	agitado	media	intermediaria
331	baixo	inicial	critica	median compac	estressado	media	intermediaria
332	baixo	inicial	critica	median compac	raiva	media	intermediaria
333	baixo	inicial	critica	compact	calmo	media	intermediaria
334	baixo	inicial	critica	compact	agitado	media	intermediaria
335	baixo	inicial	critica	compact	estressado	media	intermediaria
336	baixo	inicial	critica	compact	raiva	media	intermediaria
337	baixo	inicial	critica	muito compac	calmo	media	intermediaria
338	baixo	inicial	critica	muito compac	agitado	media	intermediaria

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
339	baixo	inicial	critica	muito compac	estressado	media	intermediaria
340	baixo	inicial	critica	muito compac	raiva	media	intermediaria
341	baixo	inicial	alerta	fofo	calmo	media	intermediaria
342	baixo	inicial	alerta	fofo	agitado	media	intermediaria
343	baixo	inicial	alerta	fofo	estressado	media	intermediaria
344	baixo	inicial	alerta	fofo	raiva	media	intermediaria
345	baixo	inicial	alerta	pouco compac	calmo	media	intermediaria
346	baixo	inicial	alerta	pouco compac	agitado	media	intermediaria
347	baixo	inicial	alerta	pouco compac	estressado	media	intermediaria
348	baixo	inicial	alerta	pouco compac	raiva	media	intermediaria
349	baixo	inicial	alerta	median compac	calmo	media	intermediaria
350	baixo	inicial	alerta	median compac	agitado	media	intermediaria
351	baixo	inicial	alerta	median compac	estressado	media	intermediaria
352	baixo	inicial	alerta	median compac	raiva	media	intermediaria
353	baixo	inicial	alerta	compact	calmo	media	intermediaria
354	baixo	inicial	alerta	compact	agitado	media	intermediaria
355	baixo	inicial	alerta	compact	estressado	media	intermediaria
356	baixo	inicial	alerta	compact	raiva	media	intermediaria
357	baixo	inicial	alerta	muito compac	calmo	media	intermediaria
358	baixo	inicial	alerta	muito compac	agitado	media	intermediaria
359	baixo	inicial	alerta	muito compac	estressado	media	intermediaria
360	baixo	inicial	alerta	muito compac	raiva	media	intermediaria
361	baixo	inicial	boa	fofo	calmo	media	intermediaria
362	baixo	inicial	boa	fofo	agitado	media	intermediaria
363	baixo	inicial	boa	fofo	estressado	media	intermediaria
364	baixo	inicial	boa	fofo	raiva	media	intermediaria
365	baixo	inicial	boa	pouco compac	calmo	media	intermediaria
366	baixo	inicial	boa	pouco compac	agitado	media	intermediaria
367	baixo	inicial	boa	pouco compac	estressado	media	intermediaria
368	baixo	inicial	boa	pouco compac	raiva	media	intermediaria
369	baixo	inicial	boa	median compac	calmo	media	intermediaria
370	baixo	inicial	boa	median compac	agitado	media	intermediaria
371	baixo	inicial	boa	median compac	estressado	media	intermediaria

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
372	baixo	inicial	boa	median compac	raiva	media	intermediaria
373	baixo	inicial	boa	compact	calmo	media	intermediaria
374	baixo	inicial	boa	compact	agitado	media	intermediaria
375	baixo	inicial	boa	compact	estressado	media	intermediaria
376	baixo	inicial	boa	compact	raiva	media	intermediaria
377	baixo	inicial	boa	muito compac	calmo	media	intermediaria
378	baixo	inicial	boa	muito compac	agitado	media	intermediaria
379	baixo	inicial	boa	muito compac	estressado	media	intermediaria
380	baixo	inicial	boa	muito compac	raiva	media	intermediaria
381	baixo	inicial	prejuizo	fofo	calmo	media	intermediaria
382	baixo	inicial	prejuizo	fofo	agitado	media	intermediaria
383	baixo	inicial	prejuizo	fofo	estressado	media	intermediaria
384	baixo	inicial	prejuizo	fofo	raiva	media	intermediaria
385	baixo	inicial	prejuizo	pouco compac	calmo	media	intermediaria
386	baixo	inicial	prejuizo	pouco compac	agitado	media	intermediaria
387	baixo	inicial	prejuizo	pouco compac	estressado	media	intermediaria
388	baixo	inicial	prejuizo	pouco compac	raiva	media	intermediaria
389	baixo	inicial	prejuizo	median compac	calmo	media	intermediaria
390	baixo	inicial	prejuizo	median compac	agitado	media	intermediaria
391	baixo	inicial	prejuizo	median compac	estressado	media	intermediaria
392	baixo	inicial	prejuizo	median compac	raiva	media	intermediaria
393	baixo	inicial	prejuizo	compact	calmo	media	intermediaria
394	baixo	inicial	prejuizo	compact	agitado	media	intermediaria
395	baixo	inicial	prejuizo	compact	estressado	media	intermediaria
396	baixo	inicial	prejuizo	compact	raiva	media	intermediaria
397	baixo	inicial	prejuizo	muito compac	calmo	media	intermediaria
398	baixo	inicial	prejuizo	muito compac	agitado	media	intermediaria
399	baixo	inicial	prejuizo	muito compac	estressado	media	intermediaria
400	baixo	inicial	prejuizo	muito compac	raiva	media	intermediaria
401	baixo	regular	critica	fofo	calmo	media	intermediaria
402	baixo	regular	critica	fofo	agitado	media	intermediaria
403	baixo	regular	critica	fofo	estressado	media	intermediaria
404	baixo	regular	critica	fofo	raiva	media	intermediaria
405	baixo	regular	critica	pouco compac	calmo	media	intermediaria
406	baixo	regular	critica	pouco compac	agitado	media	intermediaria

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
407	baixo	regular	critica	pouco compac	estressado	media	intermediaria
408	baixo	regular	critica	pouco compac	raiva	media	intermediaria
409	baixo	regular	critica	median compac	calmo	media	intermediaria
410	baixo	regular	critica	median compac	agitado	media	intermediaria
411	baixo	regular	critica	median compac	estressado	media	intermediaria
412	baixo	regular	critica	median compac	raiva	media	intermediaria
413	baixo	regular	critica	compact	calmo	media	intermediaria
414	baixo	regular	critica	compact	agitado	media	intermediaria
415	baixo	regular	critica	compact	estressado	media	intermediaria
416	baixo	regular	critica	compact	raiva	media	intermediaria
417	baixo	regular	critica	muito compac	calmo	media	intermediaria
418	baixo	regular	critica	muito compac	agitado	media	intermediaria
419	baixo	regular	critica	muito compac	estressado	media	intermediaria
420	baixo	regular	critica	muito compac	raiva	media	intermediaria
421	baixo	regular	alerta	fofo	calmo	media	intermediaria
422	baixo	regular	alerta	fofo	agitado	media	intermediaria
423	baixo	regular	alerta	fofo	estressado	media	intermediaria
424	baixo	regular	alerta	fofo	raiva	media	intermediaria
425	baixo	regular	alerta	pouco compac	calmo	media	intermediaria
426	baixo	regular	alerta	pouco compac	agitado	media	intermediaria
427	baixo	regular	alerta	pouco compac	estressado	media	intermediaria
428	baixo	regular	alerta	pouco compac	raiva	media	intermediaria
429	baixo	regular	alerta	median compac	calmo	media	intermediaria
430	baixo	regular	alerta	median compac	agitado	media	intermediaria
431	baixo	regular	alerta	median compac	estressado	media	intermediaria
432	baixo	regular	alerta	median compac	raiva	media	intermediaria
433	baixo	regular	alerta	compact	calmo	media	intermediaria
434	baixo	regular	alerta	compact	agitado	media	intermediaria
435	baixo	regular	alerta	compact	estressado	media	intermediaria
436	baixo	regular	alerta	compact	raiva	media	intermediaria
437	baixo	regular	alerta	muito compac	calmo	media	intermediaria
438	baixo	regular	alerta	muito compac	agitado	media	intermediaria
439	baixo	regular	alerta	muito compac	estressado	media	intermediaria

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
440	baixo	regular	alerta	muito compac	raiva	media	intermediaria
441	baixo	regular	boa	fofo	calmo	media	intermediaria
442	baixo	regular	boa	fofo	agitado	media	intermediaria
443	baixo	regular	boa	fofo	estressado	media	intermediaria
444	baixo	regular	boa	fofo	raiva	media	intermediaria
445	baixo	regular	boa	pouco compac	calmo	media	intermediaria
446	baixo	regular	boa	pouco compac	agitado	media	intermediaria
447	baixo	regular	boa	pouco compac	estressado	media	intermediaria
448	baixo	regular	boa	pouco compac	raiva	media	intermediaria
449	baixo	regular	boa	median compac	calmo	media	intermediaria
450	baixo	regular	boa	median compac	agitado	media	intermediaria
451	baixo	regular	boa	median compac	estressado	media	intermediaria
452	baixo	regular	boa	median compac	raiva	media	intermediaria
453	baixo	regular	boa	compact	calmo	media	intermediaria
454	baixo	regular	boa	compact	agitado	media	intermediaria
455	baixo	regular	boa	compact	estressado	media	intermediaria
456	baixo	regular	boa	compact	raiva	media	intermediaria
457	baixo	regular	boa	muito compac	calmo	media	intermediaria
458	baixo	regular	boa	muito compac	agitado	media	intermediaria
459	baixo	regular	boa	muito compac	estressado	media	intermediaria
460	baixo	regular	boa	muito compac	raiva	media	intermediaria
461	baixo	regular	prejuizo	fofo	calmo	media	intermediaria
462	baixo	regular	prejuizo	fofo	agitado	media	intermediaria
463	baixo	regular	prejuizo	fofo	estressado	media	intermediaria
464	baixo	regular	prejuizo	fofo	raiva	media	intermediaria
465	baixo	regular	prejuizo	pouco compac	calmo	media	intermediaria
466	baixo	regular	prejuizo	pouco compac	agitado	media	intermediaria
467	baixo	regular	prejuizo	pouco compac	estressado	media	intermediaria
468	baixo	regular	prejuizo	pouco compac	raiva	media	intermediaria
469	baixo	regular	prejuizo	median compac	calmo	media	intermediaria
470	baixo	regular	prejuizo	median compac	agitado	media	intermediaria
471	baixo	regular	prejuizo	median compac	estressado	media	intermediaria
472	baixo	regular	prejuizo	median compac	raiva	media	intermediaria
473	baixo	regular	prejuizo	compact	calmo	media	intermediaria

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
474	baixo	regular	prejuizo	compact	agitado	media	intermediaria
475	baixo	regular	prejuizo	compact	estressado	media	intermediaria
476	baixo	regular	prejuizo	compact	raiva	media	intermediaria
477	baixo	regular	prejuizo	muito compac	calmo	media	intermediaria
478	baixo	regular	prejuizo	muito compac	agitado	media	intermediaria
479	baixo	regular	prejuizo	muito compac	estressado	media	intermediaria
480	baixo	regular	prejuizo	muito compac	raiva	media	intermediaria
481	baixo	ideal	critica	fofo	calmo	media	intermediaria
482	baixo	ideal	critica	fofo	agitado	media	intermediaria
483	baixo	ideal	critica	fofo	estressado	media	intermediaria
484	baixo	ideal	critica	fofo	raiva	media	intermediaria
485	baixo	ideal	critica	pouco compac	calmo	media	intermediaria
486	baixo	ideal	critica	pouco compac	agitado	media	intermediaria
487	baixo	ideal	critica	pouco compac	estressado	media	intermediaria
488	baixo	ideal	critica	pouco compac	raiva	media	intermediaria
489	baixo	ideal	critica	median compac	calmo	media	intermediaria
490	baixo	ideal	critica	median compac	agitado	media	intermediaria
491	baixo	ideal	critica	median compac	estressado	media	intermediaria
492	baixo	ideal	critica	median compac	raiva	media	intermediaria
493	baixo	ideal	critica	compact	calmo	media	intermediaria
494	baixo	ideal	critica	compact	agitado	media	intermediaria
495	baixo	ideal	critica	compact	estressado	media	intermediaria
496	baixo	ideal	critica	compact	raiva	media	intermediaria
497	baixo	ideal	critica	muito compac	calmo	media	intermediaria
498	baixo	ideal	critica	muito compac	agitado	media	intermediaria
499	baixo	ideal	critica	muito compac	estressado	media	intermediaria
500	baixo	ideal	critica	muito compac	raiva	media	intermediaria
501	baixo	ideal	alerta	fofo	calmo	media	intermediaria
502	baixo	ideal	alerta	fofo	agitado	media	intermediaria
503	baixo	ideal	alerta	fofo	estressado	media	intermediaria
504	baixo	ideal	alerta	fofo	raiva	media	intermediaria
505	baixo	ideal	alerta	pouco compac	calmo	media	intermediaria
506	baixo	ideal	alerta	pouco compac	agitado	media	intermediaria
507	baixo	ideal	alerta	pouco compac	estressado	media	intermediaria
508	baixo	ideal	alerta	pouco compac	raiva	media	intermediaria

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
509	baixo	ideal	alerta	median compac	calmo	media	intermediaria
510	baixo	ideal	alerta	median compac	agitado	media	intermediaria
511	baixo	ideal	alerta	median compac	estressado	media	intermediaria
512	baixo	ideal	alerta	median compac	raiva	media	intermediaria
513	baixo	ideal	alerta	compact	calmo	media	intermediaria
514	baixo	ideal	alerta	compact	agitado	media	intermediaria
515	baixo	ideal	alerta	compact	estressado	media	intermediaria
516	baixo	ideal	alerta	compact	raiva	media	intermediaria
517	baixo	ideal	alerta	muito compac	calmo	media	intermediaria
518	baixo	ideal	alerta	muito compac	agitado	media	intermediaria
519	baixo	ideal	alerta	muito compac	estressado	media	intermediaria
520	baixo	ideal	alerta	muito compac	raiva	media	intermediaria
521	baixo	ideal	boa	fofo	calmo	media	intermediaria
522	baixo	ideal	boa	fofo	agitado	media	intermediaria
523	baixo	ideal	boa	fofo	estressado	media	intermediaria
524	baixo	ideal	boa	fofo	raiva	media	intermediaria
525	baixo	ideal	boa	pouco compac	calmo	media	intermediaria
526	baixo	ideal	boa	pouco compac	agitado	media	intermediaria
527	baixo	ideal	boa	pouco compac	estressado	media	intermediaria
528	baixo	ideal	boa	pouco compac	raiva	media	intermediaria
529	baixo	ideal	boa	median compac	calmo	media	intermediaria
530	baixo	ideal	boa	median compac	agitado	media	intermediaria
531	baixo	ideal	boa	median compac	estressado	media	intermediaria
532	baixo	ideal	boa	median compac	raiva	media	intermediaria
533	baixo	ideal	boa	compact	calmo	media	intermediaria
534	baixo	ideal	boa	compact	agitado	media	intermediaria
535	baixo	ideal	boa	compact	estressado	media	intermediaria
536	baixo	ideal	boa	compact	raiva	media	intermediaria
537	baixo	ideal	boa	muito compac	calmo	media	intermediaria
538	baixo	ideal	boa	muito compac	agitado	media	intermediaria
539	baixo	ideal	boa	muito compac	estressado	media	intermediaria
540	baixo	ideal	boa	muito compac	raiva	media	intermediaria
541	baixo	ideal	prejuizo	fofo	calmo	media	intermediaria
542	baixo	ideal	prejuizo	fofo	agitado	media	intermediaria
543	baixo	ideal	prejuizo	fofo	estressado	media	intermediaria

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
544	baixo	ideal	prejuizo	fofo	raiva	media	intermediaria
545	baixo	ideal	prejuizo	pouco compac	calmo	media	intermediaria
546	baixo	ideal	prejuizo	pouco compac	agitado	media	intermediaria
547	baixo	ideal	prejuizo	pouco compac	estressado	media	intermediaria
548	baixo	ideal	prejuizo	pouco compac	raiva	media	intermediaria
549	baixo	ideal	prejuizo	median compac	calmo	media	intermediaria
550	baixo	ideal	prejuizo	median compac	agitado	media	intermediaria
551	baixo	ideal	prejuizo	median compac	estressado	media	intermediaria
552	baixo	ideal	prejuizo	median compac	raiva	media	intermediaria
553	baixo	ideal	prejuizo	compact	calmo	media	intermediaria
554	baixo	ideal	prejuizo	compact	agitado	media	intermediaria
555	baixo	ideal	prejuizo	compact	estressado	media	intermediaria
556	baixo	ideal	prejuizo	compact	raiva	media	intermediaria
557	baixo	ideal	prejuizo	muito compac	calmo	media	intermediaria
558	baixo	ideal	prejuizo	muito compac	agitado	media	intermediaria
559	baixo	ideal	prejuizo	muito compac	estressado	media	intermediaria
560	baixo	ideal	prejuizo	muito compac	raiva	media	intermediaria
561	baixo	atenção	critica	fofo	calmo	media	intermediaria
562	baixo	atenção	critica	fofo	agitado	media	intermediaria
563	baixo	atenção	critica	fofo	estressado	media	intermediaria
564	baixo	atenção	critica	fofo	raiva	media	intermediaria
565	baixo	atenção	critica	pouco compac	calmo	media	intermediaria
566	baixo	atenção	critica	pouco compac	agitado	media	intermediaria
567	baixo	atenção	critica	pouco compac	estressado	media	intermediaria
568	baixo	atenção	critica	pouco compac	raiva	media	intermediaria
569	baixo	atenção	critica	median compac	calmo	media	intermediaria
570	baixo	atenção	critica	median compac	agitado	media	intermediaria
571	baixo	atenção	critica	median compac	estressado	media	intermediaria
572	baixo	atenção	critica	median compac	raiva	media	intermediaria
573	baixo	atenção	critica	compact	calmo	media	intermediaria
574	baixo	atenção	critica	compact	agitado	media	intermediaria
575	baixo	atenção	critica	compact	estressado	media	intermediaria
576	baixo	atenção	critica	compact	raiva	media	intermediaria
577	baixo	atenção	critica	muito compac	calmo	media	intermediaria

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
578	baixo	atenção	critica	muito compac	agitado	media	intermediaria
579	baixo	atenção	critica	muito compac	estressado	media	intermediaria
580	baixo	atenção	critica	muito compac	raiva	media	intermediaria
581	baixo	atenção	alerta	fofo	calmo	media	intermediaria
582	baixo	atenção	alerta	fofo	agitado	media	intermediaria
583	baixo	atenção	alerta	fofo	estressado	media	intermediaria
584	baixo	atenção	alerta	fofo	raiva	media	intermediaria
585	baixo	atenção	alerta	pouco compac	calmo	media	intermediaria
586	baixo	atenção	alerta	pouco compac	agitado	media	intermediaria
587	baixo	atenção	alerta	pouco compac	estressado	media	intermediaria
588	baixo	atenção	alerta	pouco compac	raiva	media	intermediaria
589	baixo	atenção	alerta	median compac	calmo	media	intermediaria
590	baixo	atenção	alerta	median compac	agitado	media	intermediaria
591	baixo	atenção	alerta	median compac	estressado	media	intermediaria
592	baixo	atenção	alerta	median compac	raiva	media	intermediaria
593	baixo	atenção	alerta	compact	calmo	media	intermediaria
594	baixo	atenção	alerta	compact	agitado	media	intermediaria
595	baixo	atenção	alerta	compact	estressado	media	intermediaria
596	baixo	atenção	alerta	compact	raiva	media	intermediaria
597	baixo	atenção	alerta	muito compac	calmo	media	intermediaria
598	baixo	atenção	alerta	muito compac	agitado	media	intermediaria
599	baixo	atenção	alerta	muito compac	estressado	media	intermediaria
600	baixo	atenção	alerta	muito compac	raiva	media	intermediaria
601	baixo	atenção	boa	fofo	calmo	media	intermediaria
602	baixo	atenção	boa	fofo	agitado	media	intermediaria
603	baixo	atenção	boa	fofo	estressado	media	intermediaria
604	baixo	atenção	boa	fofo	raiva	media	intermediaria
605	baixo	atenção	boa	pouco compac	calmo	media	intermediaria
606	baixo	atenção	boa	pouco compac	agitado	media	intermediaria
607	baixo	atenção	boa	pouco compac	estressado	media	intermediaria
608	baixo	atenção	boa	pouco compac	raiva	media	intermediaria
609	baixo	atenção	boa	median compac	calmo	media	intermediaria
610	baixo	atenção	boa	median compac	agitado	media	intermediaria

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
611	baixo	atenção	boa	median compac	estressado	media	intermediaria
612	baixo	atenção	boa	median compac	raiva	media	intermediaria
613	baixo	atenção	boa	compact	calmo	media	intermediaria
614	baixo	atenção	boa	compact	agitado	media	intermediaria
615	baixo	atenção	boa	compact	estressado	media	intermediaria
616	baixo	atenção	boa	compact	raiva	media	intermediaria
617	baixo	atenção	boa	muito compac	calmo	media	intermediaria
618	baixo	atenção	boa	muito compac	agitado	media	intermediaria
619	baixo	atenção	boa	muito compac	estressado	media	intermediaria
620	baixo	atenção	boa	muito compac	raiva	media	intermediaria
621	baixo	atenção	prejuizo	fofo	calmo	media	intermediaria
622	baixo	atenção	prejuizo	fofo	agitado	media	intermediaria
623	baixo	atenção	prejuizo	fofo	estressado	media	intermediaria
624	baixo	atenção	prejuizo	fofo	raiva	media	intermediaria
625	baixo	atenção	prejuizo	pouco compac	calmo	media	intermediaria
626	baixo	atenção	prejuizo	pouco compac	agitado	media	intermediaria
627	baixo	atenção	prejuizo	pouco compac	estressado	media	intermediaria
628	baixo	atenção	prejuizo	pouco compac	raiva	media	intermediaria
629	baixo	atenção	prejuizo	median compac	calmo	media	intermediaria
630	baixo	atenção	prejuizo	median compac	agitado	media	intermediaria
631	baixo	atenção	prejuizo	median compac	estressado	media	intermediaria
632	baixo	atenção	prejuizo	median compac	raiva	media	intermediaria
633	baixo	atenção	prejuizo	compact	calmo	media	intermediaria
634	baixo	atenção	prejuizo	compact	agitado	media	intermediaria
635	baixo	atenção	prejuizo	compact	estressado	media	intermediaria
636	baixo	atenção	prejuizo	compact	raiva	media	intermediaria
637	baixo	atenção	prejuizo	muito compac	calmo	media	intermediaria
638	baixo	atenção	prejuizo	muito compac	agitado	media	intermediaria
639	baixo	atenção	prejuizo	muito compac	estressado	media	intermediaria
640	baixo	atenção	prejuizo	muito compac	raiva	media	intermediaria
641	medio	inicial	critica	fofo	calmo	alta	elevada
642	medio	inicial	critica	fofo	agitado	alta	elevada
643	medio	inicial	critica	fofo	estressado	alta	elevada
644	medio	inicial	critica	fofo	raiva	alta	elevada
645	medio	inicial	critica	pouco compac	calmo	alta	elevada

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
646	medio	inicial	critica	pouco compac	agitado	alta	elevada
647	medio	inicial	critica	pouco compac	estressado	alta	elevada
648	medio	inicial	critica	pouco compac	raiva	alta	elevada
649	medio	inicial	critica	median compac	calmo	alta	elevada
650	medio	inicial	critica	median compac	agitado	alta	elevada
651	medio	inicial	critica	median compac	estressado	alta	elevada
652	medio	inicial	critica	median compac	raiva	alta	elevada
653	medio	inicial	critica	compact	calmo	alta	elevada
654	medio	inicial	critica	compact	agitado	alta	elevada
655	medio	inicial	critica	compact	estressado	alta	elevada
656	medio	inicial	critica	compact	raiva	alta	elevada
657	medio	inicial	critica	muito compac	calmo	alta	elevada
658	medio	inicial	critica	muito compac	agitado	alta	elevada
659	medio	inicial	critica	muito compac	estressado	alta	elevada
660	medio	inicial	critica	muito compac	raiva	alta	elevada
661	medio	inicial	alerta	fofo	calmo	alta	elevada
662	medio	inicial	alerta	fofo	agitado	alta	elevada
663	medio	inicial	alerta	fofo	estressado	alta	elevada
664	medio	inicial	alerta	fofo	raiva	alta	elevada
665	medio	inicial	alerta	pouco compac	calmo	alta	elevada
666	medio	inicial	alerta	pouco compac	agitado	alta	elevada
667	medio	inicial	alerta	pouco compac	estressado	alta	elevada
668	medio	inicial	alerta	pouco compac	raiva	alta	elevada
669	medio	inicial	alerta	median compac	calmo	alta	elevada
670	medio	inicial	alerta	median compac	agitado	alta	elevada
671	medio	inicial	alerta	median compac	estressado	alta	elevada
672	medio	inicial	alerta	median compac	raiva	alta	elevada
673	medio	inicial	alerta	compact	calmo	alta	elevada
674	medio	inicial	alerta	compact	agitado	alta	elevada
675	medio	inicial	alerta	compact	estressado	alta	elevada
676	medio	inicial	alerta	compact	raiva	alta	elevada
677	medio	inicial	alerta	muito compac	calmo	alta	elevada
678	medio	inicial	alerta	muito compac	agitado	alta	elevada

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
679	medio	inicial	alerta	muito compac	estressado	alta	elevada
680	medio	inicial	alerta	muito compac	raiva	alta	elevada
681	medio	inicial	boa	fofo	calmo	alta	elevada
682	medio	inicial	boa	fofo	agitado	alta	elevada
683	medio	inicial	boa	fofo	estressado	alta	elevada
684	medio	inicial	boa	fofo	raiva	alta	elevada
685	medio	inicial	boa	pouco compac	calmo	alta	elevada
686	medio	inicial	boa	pouco compac	agitado	alta	elevada
687	medio	inicial	boa	pouco compac	estressado	alta	elevada
688	medio	inicial	boa	pouco compac	raiva	alta	elevada
689	medio	inicial	boa	median compac	calmo	alta	elevada
690	medio	inicial	boa	median compac	agitado	alta	elevada
691	medio	inicial	boa	median compac	estressado	alta	elevada
692	medio	inicial	boa	median compac	raiva	alta	elevada
693	medio	inicial	boa	compact	calmo	alta	elevada
694	medio	inicial	boa	compact	agitado	alta	elevada
695	medio	inicial	boa	compact	estressado	alta	elevada
696	medio	inicial	boa	compact	raiva	alta	elevada
697	medio	inicial	boa	muito compac	calmo	alta	elevada
698	medio	inicial	boa	muito compac	agitado	alta	elevada
699	medio	inicial	boa	muito compac	estressado	alta	elevada
700	medio	inicial	boa	muito compac	raiva	alta	elevada
701	medio	inicial	prejuizo	fofo	calmo	alta	elevada
702	medio	inicial	prejuizo	fofo	agitado	alta	elevada
703	medio	inicial	prejuizo	fofo	estressado	alta	elevada
704	medio	inicial	prejuizo	fofo	raiva	alta	elevada
705	medio	inicial	prejuizo	pouco compac	calmo	alta	elevada
706	medio	inicial	prejuizo	pouco compac	agitado	alta	elevada
707	medio	inicial	prejuizo	pouco compac	estressado	alta	elevada
708	medio	inicial	prejuizo	pouco compac	raiva	alta	elevada
709	medio	inicial	prejuizo	median compac	calmo	alta	elevada
710	medio	inicial	prejuizo	median compac	agitado	alta	elevada
711	medio	inicial	prejuizo	median compac	estressado	alta	elevada

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
712	medio	inicial	prejuizo	median compac	raiva	alta	elevada
713	medio	inicial	prejuizo	compact	calmo	alta	elevada
714	medio	inicial	prejuizo	compact	agitado	alta	elevada
715	medio	inicial	prejuizo	compact	estressado	alta	elevada
716	medio	inicial	prejuizo	compact	raiva	alta	elevada
717	medio	inicial	prejuizo	muito compac	calmo	alta	elevada
718	medio	inicial	prejuizo	muito compac	agitado	alta	elevada
719	medio	inicial	prejuizo	muito compac	estressado	alta	elevada
720	medio	inicial	prejuizo	muito compac	raiva	alta	elevada
721	medio	regular	critica	fofo	calmo	alta	elevada
722	medio	regular	critica	fofo	agitado	alta	elevada
723	medio	regular	critica	fofo	estressado	alta	elevada
724	medio	regular	critica	fofo	raiva	alta	elevada
725	medio	regular	critica	pouco compac	calmo	alta	elevada
726	medio	regular	critica	pouco compac	agitado	alta	elevada
727	medio	regular	critica	pouco compac	estressado	alta	elevada
728	medio	regular	critica	pouco compac	raiva	alta	elevada
729	medio	regular	critica	median compac	calmo	alta	elevada
730	medio	regular	critica	median compac	agitado	alta	elevada
731	medio	regular	critica	median compac	estressado	alta	elevada
732	medio	regular	critica	median compac	raiva	alta	elevada
733	medio	regular	critica	compact	calmo	alta	elevada
734	medio	regular	critica	compact	agitado	alta	elevada
735	medio	regular	critica	compact	estressado	alta	elevada
736	medio	regular	critica	compact	raiva	alta	elevada
737	medio	regular	critica	muito compac	calmo	alta	elevada
738	medio	regular	critica	muito compac	agitado	alta	elevada
739	medio	regular	critica	muito compac	estressado	alta	elevada
740	medio	regular	critica	muito compac	raiva	alta	elevada
741	medio	regular	alerta	fofo	calmo	alta	elevada
742	medio	regular	alerta	fofo	agitado	alta	elevada
743	medio	regular	alerta	fofo	estressado	alta	elevada
744	medio	regular	alerta	fofo	raiva	alta	elevada
745	medio	regular	alerta	pouco compac	calmo	alta	elevada
746	medio	regular	alerta	pouco compac	agitado	alta	elevada

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
747	medio	regular	alerta	pouco compac	estressado	alta	elevada
748	medio	regular	alerta	pouco compac	raiva	alta	elevada
749	medio	regular	alerta	median compac	calmo	alta	elevada
750	medio	regular	alerta	median compac	agitado	alta	elevada
751	medio	regular	alerta	median compac	estressado	alta	elevada
752	medio	regular	alerta	median compac	raiva	alta	elevada
753	medio	regular	alerta	compact	calmo	alta	elevada
754	medio	regular	alerta	compact	agitado	alta	elevada
755	medio	regular	alerta	compact	estressado	alta	elevada
756	medio	regular	alerta	compact	raiva	alta	elevada
757	medio	regular	alerta	muito compac	calmo	alta	elevada
758	medio	regular	alerta	muito compac	agitado	alta	elevada
759	medio	regular	alerta	muito compac	estressado	alta	elevada
760	medio	regular	alerta	muito compac	raiva	alta	elevada
761	medio	regular	boa	fofo	calmo	alta	elevada
762	medio	regular	boa	fofo	agitado	alta	elevada
763	medio	regular	boa	fofo	estressado	alta	elevada
764	medio	regular	boa	fofo	raiva	alta	elevada
765	medio	regular	boa	pouco compac	calmo	alta	elevada
766	medio	regular	boa	pouco compac	agitado	alta	elevada
767	medio	regular	boa	pouco compac	estressado	alta	elevada
768	medio	regular	boa	pouco compac	raiva	alta	elevada
769	medio	regular	boa	median compac	calmo	alta	elevada
770	medio	regular	boa	median compac	agitado	alta	elevada
771	medio	regular	boa	median compac	estressado	alta	elevada
772	medio	regular	boa	median compac	raiva	alta	elevada
773	medio	regular	boa	compact	calmo	alta	elevada
774	medio	regular	boa	compact	agitado	alta	elevada
775	medio	regular	boa	compact	estressado	alta	elevada
776	medio	regular	boa	compact	raiva	alta	elevada
777	medio	regular	boa	muito compac	calmo	alta	elevada
778	medio	regular	boa	muito compac	agitado	alta	elevada
779	medio	regular	boa	muito compac	estressado	alta	elevada

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
780	medio	regular	boa	muito compac	raiva	alta	elevada
781	medio	regular	prejuizo	fofo	calmo	alta	elevada
782	medio	regular	prejuizo	fofo	agitado	alta	elevada
783	medio	regular	prejuizo	fofo	estressado	alta	elevada
784	medio	regular	prejuizo	fofo	raiva	alta	elevada
785	medio	regular	prejuizo	pouco compac	calmo	alta	elevada
786	medio	regular	prejuizo	pouco compac	agitado	alta	elevada
787	medio	regular	prejuizo	pouco compac	estressado	alta	elevada
788	medio	regular	prejuizo	pouco compac	raiva	alta	elevada
789	medio	regular	prejuizo	median compac	calmo	alta	elevada
790	medio	regular	prejuizo	median compac	agitado	alta	elevada
791	medio	regular	prejuizo	median compac	estressado	alta	elevada
792	medio	regular	prejuizo	median compac	raiva	alta	elevada
793	medio	regular	prejuizo	compact	calmo	alta	elevada
794	medio	regular	prejuizo	compact	agitado	alta	elevada
795	medio	regular	prejuizo	compact	estressado	alta	elevada
796	medio	regular	prejuizo	compact	raiva	alta	elevada
797	medio	regular	prejuizo	muito compac	calmo	alta	elevada
798	medio	regular	prejuizo	muito compac	agitado	alta	elevada
799	medio	regular	prejuizo	muito compac	estressado	alta	elevada
800	medio	regular	prejuizo	muito compac	raiva	alta	elevada
801	medio	ideal	critica	fofo	calmo	alta	elevada
802	medio	ideal	critica	fofo	agitado	alta	elevada
803	medio	ideal	critica	fofo	estressado	alta	elevada
804	medio	ideal	critica	fofo	raiva	alta	elevada
805	medio	ideal	critica	pouco compac	calmo	alta	elevada
806	medio	ideal	critica	pouco compac	agitado	alta	elevada
807	medio	ideal	critica	pouco compac	estressado	alta	elevada
808	medio	ideal	critica	pouco compac	raiva	alta	elevada
809	medio	ideal	critica	median compac	calmo	alta	elevada
810	medio	ideal	critica	median compac	agitado	alta	elevada
811	medio	ideal	critica	median compac	estressado	alta	elevada
812	medio	ideal	critica	median compac	raiva	alta	elevada
813	medio	ideal	critica	compact	calmo	alta	elevada

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
814	medio	ideal	critica	compact	agitado	alta	elevada
815	medio	ideal	critica	compact	estressado	alta	elevada
816	medio	ideal	critica	compact	raiva	alta	elevada
817	medio	ideal	critica	muito compac	calmo	alta	elevada
818	medio	ideal	critica	muito compac	agitado	alta	elevada
819	medio	ideal	critica	muito compac	estressado	alta	elevada
820	medio	ideal	critica	muito compac	raiva	alta	elevada
821	medio	ideal	alerta	fofo	calmo	alta	elevada
822	medio	ideal	alerta	fofo	agitado	alta	elevada
823	medio	ideal	alerta	fofo	estressado	alta	elevada
824	medio	ideal	alerta	fofo	raiva	alta	elevada
825	medio	ideal	alerta	pouco compac	calmo	alta	elevada
826	medio	ideal	alerta	pouco compac	agitado	alta	elevada
827	medio	ideal	alerta	pouco compac	estressado	alta	elevada
828	medio	ideal	alerta	pouco compac	raiva	alta	elevada
829	medio	ideal	alerta	median compac	calmo	alta	elevada
830	medio	ideal	alerta	median compac	agitado	alta	elevada
831	medio	ideal	alerta	median compac	estressado	alta	elevada
832	medio	ideal	alerta	median compac	raiva	alta	elevada
833	medio	ideal	alerta	compact	calmo	alta	elevada
834	medio	ideal	alerta	compact	agitado	alta	elevada
835	medio	ideal	alerta	compact	estressado	alta	elevada
836	medio	ideal	alerta	compact	raiva	alta	elevada
837	medio	ideal	alerta	muito compac	calmo	alta	elevada
838	medio	ideal	alerta	muito compac	agitado	alta	elevada
839	medio	ideal	alerta	muito compac	estressado	alta	elevada
840	medio	ideal	alerta	muito compac	raiva	alta	elevada
841	medio	ideal	boa	fofo	calmo	alta	elevada
842	medio	ideal	boa	fofo	agitado	alta	elevada
843	medio	ideal	boa	fofo	estressado	alta	elevada
844	medio	ideal	boa	fofo	raiva	alta	elevada
845	medio	ideal	boa	pouco compac	calmo	alta	elevada
846	medio	ideal	boa	pouco compac	agitado	alta	elevada
847	medio	ideal	boa	pouco compac	estressado	alta	elevada
848	medio	ideal	boa	pouco compac	raiva	alta	elevada

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
849	medio	ideal	boa	median compac	calmo	alta	elevada
850	medio	ideal	boa	median compac	agitado	alta	elevada
851	medio	ideal	boa	median compac	estressado	alta	elevada
852	medio	ideal	boa	median compac	raiva	alta	elevada
853	medio	ideal	boa	compact	calmo	alta	elevada
854	medio	ideal	boa	compact	agitado	alta	elevada
855	medio	ideal	boa	compact	estressado	alta	elevada
856	medio	ideal	boa	compact	raiva	alta	elevada
857	medio	ideal	boa	muito compac	calmo	alta	elevada
858	medio	ideal	boa	muito compac	agitado	alta	elevada
859	medio	ideal	boa	muito compac	estressado	alta	elevada
860	medio	ideal	boa	muito compac	raiva	alta	elevada
861	medio	ideal	prejuizo	fofo	calmo	alta	elevada
862	medio	ideal	prejuizo	fofo	agitado	alta	elevada
863	medio	ideal	prejuizo	fofo	estressado	alta	elevada
864	medio	ideal	prejuizo	fofo	raiva	alta	elevada
865	medio	ideal	prejuizo	pouco compac	calmo	alta	elevada
866	medio	ideal	prejuizo	pouco compac	agitado	alta	elevada
867	medio	ideal	prejuizo	pouco compac	estressado	alta	elevada
868	medio	ideal	prejuizo	pouco compac	raiva	alta	elevada
869	medio	ideal	prejuizo	median compac	calmo	alta	elevada
870	medio	ideal	prejuizo	median compac	agitado	alta	elevada
871	medio	ideal	prejuizo	median compac	estressado	alta	elevada
872	medio	ideal	prejuizo	median compac	raiva	alta	elevada
873	medio	ideal	prejuizo	compact	calmo	alta	elevada
874	medio	ideal	prejuizo	compact	agitado	alta	elevada
875	medio	ideal	prejuizo	compact	estressado	alta	elevada
876	medio	ideal	prejuizo	compact	raiva	alta	elevada
877	medio	ideal	prejuizo	muito compac	calmo	alta	elevada
878	medio	ideal	prejuizo	muito compac	agitado	alta	elevada
879	medio	ideal	prejuizo	muito compac	estressado	alta	elevada
880	medio	ideal	prejuizo	muito compac	raiva	alta	elevada
881	medio	atenção	critica	fofo	calmo	alta	elevada
882	medio	atenção	critica	fofo	agitado	alta	elevada
883	medio	atenção	critica	fofo	estressado	alta	elevada

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
884	medio	atenção	critica	fofo	raiva	alta	elevada
885	medio	atenção	critica	pouco compac	calmo	alta	elevada
886	medio	atenção	critica	pouco compac	agitado	alta	elevada
887	medio	atenção	critica	pouco compac	estressado	alta	elevada
888	medio	atenção	critica	pouco compac	raiva	alta	elevada
889	medio	atenção	critica	median compac	calmo	alta	elevada
890	medio	atenção	critica	median compac	agitado	alta	elevada
891	medio	atenção	critica	median compac	estressado	alta	elevada
892	medio	atenção	critica	median compac	raiva	alta	elevada
893	medio	atenção	critica	compact	calmo	alta	elevada
894	medio	atenção	critica	compact	agitado	alta	elevada
895	medio	atenção	critica	compact	estressado	alta	elevada
896	medio	atenção	critica	compact	raiva	alta	elevada
897	medio	atenção	critica	muito compac	calmo	alta	elevada
898	medio	atenção	critica	muito compac	agitado	alta	elevada
899	medio	atenção	critica	muito compac	estressado	alta	elevada
900	medio	atenção	critica	muito compac	raiva	alta	elevada
901	medio	atenção	alerta	fofo	calmo	alta	elevada
902	medio	atenção	alerta	fofo	agitado	alta	elevada
903	medio	atenção	alerta	fofo	estressado	alta	elevada
904	medio	atenção	alerta	fofo	raiva	alta	elevada
905	medio	atenção	alerta	pouco compac	calmo	alta	elevada
906	medio	atenção	alerta	pouco compac	agitado	alta	elevada
907	medio	atenção	alerta	pouco compac	estressado	alta	elevada
908	medio	atenção	alerta	pouco compac	raiva	alta	elevada
909	medio	atenção	alerta	median compac	calmo	alta	elevada
910	medio	atenção	alerta	median compac	agitado	alta	elevada
911	medio	atenção	alerta	median compac	estressado	alta	elevada
912	medio	atenção	alerta	median compac	raiva	alta	elevada
913	medio	atenção	alerta	compact	calmo	alta	elevada
914	medio	atenção	alerta	compact	agitado	alta	elevada
915	medio	atenção	alerta	compact	estressado	alta	elevada
916	medio	atenção	alerta	compact	raiva	alta	elevada
917	medio	atenção	alerta	muito compac	calmo	alta	elevada

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
918	medio	atenção	alerta	muito compac	agitado	alta	elevada
919	medio	atenção	alerta	muito compac	estressado	alta	elevada
920	medio	atenção	alerta	muito compac	raiva	alta	elevada
921	medio	atenção	boa	fofo	calmo	alta	elevada
922	medio	atenção	boa	fofo	agitado	alta	elevada
923	medio	atenção	boa	fofo	estressado	alta	elevada
924	medio	atenção	boa	fofo	raiva	alta	elevada
925	medio	atenção	boa	pouco compac	calmo	alta	elevada
926	medio	atenção	boa	pouco compac	agitado	alta	elevada
927	medio	atenção	boa	pouco compac	estressado	alta	elevada
928	medio	atenção	boa	pouco compac	raiva	alta	elevada
929	medio	atenção	boa	median compac	calmo	alta	elevada
930	medio	atenção	boa	median compac	agitado	alta	elevada
931	medio	atenção	boa	median compac	estressado	alta	elevada
932	medio	atenção	boa	median compac	raiva	alta	elevada
933	medio	atenção	boa	compact	calmo	alta	elevada
934	medio	atenção	boa	compact	agitado	alta	elevada
935	medio	atenção	boa	compact	estressado	alta	elevada
936	medio	atenção	boa	compact	raiva	alta	elevada
937	medio	atenção	boa	muito compac	calmo	alta	elevada
938	medio	atenção	boa	muito compac	agitado	alta	elevada
939	medio	atenção	boa	muito compac	estressado	alta	elevada
940	medio	atenção	boa	muito compac	raiva	alta	elevada
941	medio	atenção	prejuizo	fofo	calmo	alta	elevada
942	medio	atenção	prejuizo	fofo	agitado	alta	elevada
943	medio	atenção	prejuizo	fofo	estressado	alta	elevada
944	medio	atenção	prejuizo	fofo	raiva	alta	elevada
945	medio	atenção	prejuizo	pouco compac	calmo	alta	elevada
946	medio	atenção	prejuizo	pouco compac	agitado	alta	elevada
947	medio	atenção	prejuizo	pouco compac	estressado	alta	elevada
948	medio	atenção	prejuizo	pouco compac	raiva	alta	elevada
949	medio	atenção	prejuizo	median compac	calmo	alta	elevada
950	medio	atenção	prejuizo	median compac	agitado	alta	elevada

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
951	medio	atenção	prejuizo	median compac	estressado	alta	elevada
952	medio	atenção	prejuizo	median compac	raiva	alta	elevada
953	medio	atenção	prejuizo	compact	calmo	alta	elevada
954	medio	atenção	prejuizo	compact	agitado	alta	elevada
955	medio	atenção	prejuizo	compact	estressado	alta	elevada
956	medio	atenção	prejuizo	compact	raiva	alta	elevada
957	medio	atenção	prejuizo	muito compac	calmo	alta	elevada
958	medio	atenção	prejuizo	muito compac	agitado	alta	elevada
959	medio	atenção	prejuizo	muito compac	estressado	alta	elevada
960	medio	atenção	prejuizo	muito compac	raiva	alta	elevada
961	alta	inicial	critica	fofo	calmo	alta	elevada
962	alta	inicial	critica	fofo	agitado	alta	elevada
963	alta	inicial	critica	fofo	estressado	alta	elevada
964	alta	inicial	critica	fofo	raiva	alta	elevada
965	alta	inicial	critica	pouco compac	calmo	alta	elevada
966	alta	inicial	critica	pouco compac	agitado	alta	elevada
967	alta	inicial	critica	pouco compac	estressado	alta	elevada
968	alta	inicial	critica	pouco compac	raiva	alta	elevada
969	alta	inicial	critica	median compac	calmo	alta	elevada
970	alta	inicial	critica	median compac	agitado	alta	elevada
971	alta	inicial	critica	median compac	estressado	alta	elevada
972	alta	inicial	critica	median compac	raiva	alta	elevada
973	alta	inicial	critica	compact	calmo	alta	elevada
974	alta	inicial	critica	compact	agitado	alta	elevada
975	alta	inicial	critica	compact	estressado	alta	elevada
976	alta	inicial	critica	compact	raiva	alta	elevada
977	alta	inicial	critica	muito compac	calmo	alta	elevada
978	alta	inicial	critica	muito compac	agitado	alta	elevada
979	alta	inicial	critica	muito compac	estressado	alta	elevada
980	alta	inicial	critica	muito compac	raiva	alta	elevada
981	alta	inicial	alerta	fofo	calmo	alta	elevada
982	alta	inicial	alerta	fofo	agitado	alta	elevada
983	alta	inicial	alerta	fofo	estressado	alta	elevada
984	alta	inicial	alerta	fofo	raiva	alta	elevada
985	alta	inicial	alerta	pouco compac	calmo	alta	elevada

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
986	alta	inicial	alerta	pouco compac	agitado	alta	elevada
987	alta	inicial	alerta	pouco compac	estressado	alta	elevada
988	alta	inicial	alerta	pouco compac	raiva	alta	elevada
989	alta	inicial	alerta	median compac	calmo	alta	elevada
990	alta	inicial	alerta	median compac	agitado	alta	elevada
991	alta	inicial	alerta	median compac	estressado	alta	elevada
992	alta	inicial	alerta	median compac	raiva	alta	elevada
993	alta	inicial	alerta	compact	calmo	alta	elevada
994	alta	inicial	alerta	compact	agitado	alta	elevada
995	alta	inicial	alerta	compact	estressado	alta	elevada
996	alta	inicial	alerta	compact	raiva	alta	elevada
997	alta	inicial	alerta	muito compac	calmo	alta	elevada
998	alta	inicial	alerta	muito compac	agitado	alta	elevada
999	alta	inicial	alerta	muito compac	estressado	alta	elevada
1000	alta	inicial	alerta	muito compac	raiva	alta	elevada
1001	alta	inicial	boa	fofo	calmo	alta	elevada
1002	alta	inicial	boa	fofo	agitado	alta	elevada
1003	alta	inicial	boa	fofo	estressado	alta	elevada
1004	alta	inicial	boa	fofo	raiva	alta	elevada
1005	alta	inicial	boa	pouco compac	calmo	alta	elevada
1006	alta	inicial	boa	pouco compac	agitado	alta	elevada
1007	alta	inicial	boa	pouco compac	estressado	alta	elevada
1008	alta	inicial	boa	pouco compac	raiva	alta	elevada
1009	alta	inicial	boa	median compac	calmo	alta	elevada
1010	alta	inicial	boa	median compac	agitado	alta	elevada
1011	alta	inicial	boa	median compac	estressado	alta	elevada
1012	alta	inicial	boa	median compac	raiva	alta	elevada
1013	alta	inicial	boa	compact	calmo	alta	elevada
1014	alta	inicial	boa	compact	agitado	alta	elevada
1015	alta	inicial	boa	compact	estressado	alta	elevada
1016	alta	inicial	boa	compact	raiva	alta	elevada
1017	alta	inicial	boa	muito compac	calmo	alta	elevada
1018	alta	inicial	boa	muito compac	agitado	alta	elevada

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
1019	alta	inicial	boa	muito compac	estressado	alta	elevada
1020	alta	inicial	boa	muito compac	raiva	alta	elevada
1021	alta	inicial	prejuizo	fofo	calmo	alta	elevada
1022	alta	inicial	prejuizo	fofo	agitado	alta	elevada
1023	alta	inicial	prejuizo	fofo	estressado	alta	elevada
1024	alta	inicial	prejuizo	fofo	raiva	alta	elevada
1025	alta	inicial	prejuizo	pouco compac	calmo	alta	elevada
1026	alta	inicial	prejuizo	pouco compac	agitado	alta	elevada
1027	alta	inicial	prejuizo	pouco compac	estressado	alta	elevada
1028	alta	inicial	prejuizo	pouco compac	raiva	alta	elevada
1029	alta	inicial	prejuizo	median compac	calmo	alta	elevada
1030	alta	inicial	prejuizo	median compac	agitado	alta	elevada
1031	alta	inicial	prejuizo	median compac	estressado	alta	elevada
1032	alta	inicial	prejuizo	median compac	raiva	alta	elevada
1033	alta	inicial	prejuizo	compact	calmo	alta	elevada
1034	alta	inicial	prejuizo	compact	agitado	alta	elevada
1035	alta	inicial	prejuizo	compact	estressado	alta	elevada
1036	alta	inicial	prejuizo	compact	raiva	alta	elevada
1037	alta	inicial	prejuizo	muito compac	calmo	alta	elevada
1038	alta	inicial	prejuizo	muito compac	agitado	alta	elevada
1039	alta	inicial	prejuizo	muito compac	estressado	alta	elevada
1040	alta	inicial	prejuizo	muito compac	raiva	alta	elevada
1041	alta	regular	critica	fofo	calmo	alta	elevada
1042	alta	regular	critica	fofo	agitado	alta	elevada
1043	alta	regular	critica	fofo	estressado	alta	elevada
1044	alta	regular	critica	fofo	raiva	alta	elevada
1045	alta	regular	critica	pouco compac	calmo	alta	elevada
1046	alta	regular	critica	pouco compac	agitado	alta	elevada
1047	alta	regular	critica	pouco compac	estressado	alta	elevada
1048	alta	regular	critica	pouco compac	raiva	alta	elevada
1049	alta	regular	critica	median compac	calmo	alta	elevada
1050	alta	regular	critica	median compac	agitado	alta	elevada
1051	alta	regular	critica	median compac	estressado	alta	elevada

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
1052	alta	regular	critica	median compac	raiva	alta	elevada
1053	alta	regular	critica	compact	calmo	alta	elevada
1054	alta	regular	critica	compact	agitado	alta	elevada
1055	alta	regular	critica	compact	estressado	alta	elevada
1056	alta	regular	critica	compact	raiva	alta	elevada
1057	alta	regular	critica	muito compac	calmo	alta	elevada
1058	alta	regular	critica	muito compac	agitado	alta	elevada
1059	alta	regular	critica	muito compac	estressado	alta	elevada
1060	alta	regular	critica	muito compac	raiva	alta	elevada
1061	alta	regular	alerta	fofo	calmo	alta	elevada
1062	alta	regular	alerta	fofo	agitado	alta	elevada
1063	alta	regular	alerta	fofo	estressado	alta	elevada
1064	alta	regular	alerta	fofo	raiva	alta	elevada
1065	alta	regular	alerta	pouco compac	calmo	alta	elevada
1066	alta	regular	alerta	pouco compac	agitado	alta	elevada
1067	alta	regular	alerta	pouco compac	estressado	alta	elevada
1068	alta	regular	alerta	pouco compac	raiva	alta	elevada
1069	alta	regular	alerta	median compac	calmo	alta	elevada
1070	alta	regular	alerta	median compac	agitado	alta	elevada
1071	alta	regular	alerta	median compac	estressado	alta	elevada
1072	alta	regular	alerta	median compac	raiva	alta	elevada
1073	alta	regular	alerta	compact	calmo	alta	elevada
1074	alta	regular	alerta	compact	agitado	alta	elevada
1075	alta	regular	alerta	compact	estressado	alta	elevada
1076	alta	regular	alerta	compact	raiva	alta	elevada
1077	alta	regular	alerta	muito compac	calmo	alta	elevada
1078	alta	regular	alerta	muito compac	agitado	alta	elevada
1079	alta	regular	alerta	muito compac	estressado	alta	elevada
1080	alta	regular	alerta	muito compac	raiva	alta	elevada
1081	alta	regular	boa	fofo	calmo	alta	elevada
1082	alta	regular	boa	fofo	agitado	alta	elevada
1083	alta	regular	boa	fofo	estressado	alta	elevada
1084	alta	regular	boa	fofo	raiva	alta	elevada
1085	alta	regular	boa	pouco compac	calmo	alta	elevada
1086	alta	regular	boa	pouco compac	agitado	alta	elevada

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
1087	alta	regular	boa	pouco compac	estressado	alta	elevada
1088	alta	regular	boa	pouco compac	raiva	alta	elevada
1089	alta	regular	boa	median compac	calmo	alta	elevada
1090	alta	regular	boa	median compac	agitado	alta	elevada
1091	alta	regular	boa	median compac	estressado	alta	elevada
1092	alta	regular	boa	median compac	raiva	alta	elevada
1093	alta	regular	boa	compact	calmo	alta	elevada
1094	alta	regular	boa	compact	agitado	alta	elevada
1095	alta	regular	boa	compact	estressado	alta	elevada
1096	alta	regular	boa	compact	raiva	alta	elevada
1097	alta	regular	boa	muito compac	calmo	alta	elevada
1098	alta	regular	boa	muito compac	agitado	alta	elevada
1099	alta	regular	boa	muito compac	estressado	alta	elevada
1100	alta	regular	boa	muito compac	raiva	alta	elevada
1101	alta	regular	prejuizo	fofo	calmo	alta	elevada
1102	alta	regular	prejuizo	fofo	agitado	alta	elevada
1103	alta	regular	prejuizo	fofo	estressado	alta	elevada
1104	alta	regular	prejuizo	fofo	raiva	alta	elevada
1105	alta	regular	prejuizo	pouco compac	calmo	alta	elevada
1106	alta	regular	prejuizo	pouco compac	agitado	alta	elevada
1107	alta	regular	prejuizo	pouco compac	estressado	alta	elevada
1108	alta	regular	prejuizo	pouco compac	raiva	alta	elevada
1109	alta	regular	prejuizo	median compac	calmo	alta	elevada
1110	alta	regular	prejuizo	median compac	agitado	alta	elevada
1111	alta	regular	prejuizo	median compac	estressado	alta	elevada
1112	alta	regular	prejuizo	median compac	raiva	alta	elevada
1113	alta	regular	prejuizo	compact	calmo	alta	elevada
1114	alta	regular	prejuizo	compact	agitado	alta	elevada
1115	alta	regular	prejuizo	compact	estressado	alta	elevada
1116	alta	regular	prejuizo	compact	raiva	alta	elevada
1117	alta	regular	prejuizo	muito compac	calmo	alta	elevada
1118	alta	regular	prejuizo	muito compac	agitado	alta	elevada
1119	alta	regular	prejuizo	muito compac	estressado	alta	elevada

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
1120	alta	regular	prejuizo	muito compac	raiva	alta	elevada
1121	alta	ideal	critica	fofo	calmo	alta	elevada
1122	alta	ideal	critica	fofo	agitado	alta	elevada
1123	alta	ideal	critica	fofo	estressado	alta	elevada
1124	alta	ideal	critica	fofo	raiva	alta	elevada
1125	alta	ideal	critica	pouco compac	calmo	alta	elevada
1126	alta	ideal	critica	pouco compac	agitado	alta	elevada
1127	alta	ideal	critica	pouco compac	estressado	alta	elevada
1128	alta	ideal	critica	pouco compac	raiva	alta	elevada
1129	alta	ideal	critica	median compac	calmo	alta	elevada
1130	alta	ideal	critica	median compac	agitado	alta	elevada
1131	alta	ideal	critica	median compac	estressado	alta	elevada
1132	alta	ideal	critica	median compac	raiva	alta	elevada
1133	alta	ideal	critica	compact	calmo	alta	elevada
1134	alta	ideal	critica	compact	agitado	alta	elevada
1135	alta	ideal	critica	compact	estressado	alta	elevada
1136	alta	ideal	critica	compact	raiva	alta	elevada
1137	alta	ideal	critica	muito compac	calmo	alta	elevada
1138	alta	ideal	critica	muito compac	agitado	alta	elevada
1139	alta	ideal	critica	muito compac	estressado	alta	elevada
1140	alta	ideal	critica	muito compac	raiva	alta	elevada
1141	alta	ideal	alerta	fofo	calmo	alta	elevada
1142	alta	ideal	alerta	fofo	agitado	alta	elevada
1143	alta	ideal	alerta	fofo	estressado	alta	elevada
1144	alta	ideal	alerta	fofo	raiva	alta	elevada
1145	alta	ideal	alerta	pouco compac	calmo	alta	elevada
1146	alta	ideal	alerta	pouco compac	agitado	alta	elevada
1147	alta	ideal	alerta	pouco compac	estressado	alta	elevada
1148	alta	ideal	alerta	pouco compac	raiva	alta	elevada
1149	alta	ideal	alerta	median compac	calmo	alta	elevada
1150	alta	ideal	alerta	median compac	agitado	alta	elevada
1151	alta	ideal	alerta	median compac	estressado	alta	elevada
1152	alta	ideal	alerta	median compac	raiva	alta	elevada
1153	alta	ideal	alerta	compact	calmo	alta	elevada

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
1154	alta	ideal	alerta	compact	agitado	alta	elevada
1155	alta	ideal	alerta	compact	estressado	alta	elevada
1156	alta	ideal	alerta	compact	raiva	alta	elevada
1157	alta	ideal	alerta	muito compac	calmo	alta	elevada
1158	alta	ideal	alerta	muito compac	agitado	alta	elevada
1159	alta	ideal	alerta	muito compac	estressado	alta	elevada
1160	alta	ideal	alerta	muito compac	raiva	alta	elevada
1161	alta	ideal	boa	fofo	calmo	alta	elevada
1162	alta	ideal	boa	fofo	agitado	alta	elevada
1163	alta	ideal	boa	fofo	estressado	alta	elevada
1164	alta	ideal	boa	fofo	raiva	alta	elevada
1165	alta	ideal	boa	pouco compac	calmo	alta	elevada
1166	alta	ideal	boa	pouco compac	agitado	alta	elevada
1167	alta	ideal	boa	pouco compac	estressado	alta	elevada
1168	alta	ideal	boa	pouco compac	raiva	alta	elevada
1169	alta	ideal	boa	median compac	calmo	alta	elevada
1170	alta	ideal	boa	median compac	agitado	alta	elevada
1171	alta	ideal	boa	median compac	estressado	alta	elevada
1172	alta	ideal	boa	median compac	raiva	alta	elevada
1173	alta	ideal	boa	compact	calmo	alta	elevada
1174	alta	ideal	boa	compact	agitado	alta	elevada
1175	alta	ideal	boa	compact	estressado	alta	elevada
1176	alta	ideal	boa	compact	raiva	alta	elevada
1177	alta	ideal	boa	muito compac	calmo	alta	elevada
1178	alta	ideal	boa	muito compac	agitado	alta	elevada
1179	alta	ideal	boa	muito compac	estressado	alta	elevada
1180	alta	ideal	boa	muito compac	raiva	alta	elevada
1181	alta	ideal	prejuizo	fofo	calmo	alta	elevada
1182	alta	ideal	prejuizo	fofo	agitado	alta	elevada
1183	alta	ideal	prejuizo	fofo	estressado	alta	elevada
1184	alta	ideal	prejuizo	fofo	raiva	alta	elevada
1185	alta	ideal	prejuizo	pouco compac	calmo	alta	elevada
1186	alta	ideal	prejuizo	pouco compac	agitado	alta	elevada
1187	alta	ideal	prejuizo	pouco compac	estressado	alta	elevada
1188	alta	ideal	prejuizo	pouco compac	raiva	alta	elevada

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
1189	alta	ideal	prejuizo	median compac	calmo	alta	elevada
1190	alta	ideal	prejuizo	median compac	agitado	alta	elevada
1191	alta	ideal	prejuizo	median compac	estressado	alta	elevada
1192	alta	ideal	prejuizo	median compac	raiva	alta	elevada
1193	alta	ideal	prejuizo	compact	calmo	alta	elevada
1194	alta	ideal	prejuizo	compact	agitado	alta	elevada
1195	alta	ideal	prejuizo	compact	estressado	alta	elevada
1196	alta	ideal	prejuizo	compact	raiva	alta	elevada
1197	alta	ideal	prejuizo	muito compac	calmo	alta	elevada
1198	alta	ideal	prejuizo	muito compac	agitado	alta	elevada
1199	alta	ideal	prejuizo	muito compac	estressado	alta	elevada
1200	alta	ideal	prejuizo	muito compac	raiva	alta	elevada
1201	alta	atenção	critica	fofo	calmo	alta	elevada
1202	alta	atenção	critica	fofo	agitado	alta	elevada
1203	alta	atenção	critica	fofo	estressado	alta	elevada
1204	alta	atenção	critica	fofo	raiva	alta	elevada
1205	alta	atenção	critica	pouco compac	calmo	alta	elevada
1206	alta	atenção	critica	pouco compac	agitado	alta	elevada
1207	alta	atenção	critica	pouco compac	estressado	alta	elevada
1208	alta	atenção	critica	pouco compac	raiva	alta	elevada
1209	alta	atenção	critica	median compac	calmo	alta	elevada
1210	alta	atenção	critica	median compac	agitado	alta	elevada
1211	alta	atenção	critica	median compac	estressado	alta	elevada
1212	alta	atenção	critica	median compac	raiva	alta	elevada
1213	alta	atenção	critica	compact	calmo	alta	elevada
1214	alta	atenção	critica	compact	agitado	alta	elevada
1215	alta	atenção	critica	compact	estressado	alta	elevada
1216	alta	atenção	critica	compact	raiva	alta	elevada
1217	alta	atenção	critica	muito compac	calmo	alta	elevada
1218	alta	atenção	critica	muito compac	agitado	alta	elevada
1219	alta	atenção	critica	muito compac	estressado	alta	elevada
1220	alta	atenção	critica	muito compac	raiva	alta	elevada
1221	alta	atenção	alerta	fofo	calmo	alta	elevada
1222	alta	atenção	alerta	fofo	agitado	alta	elevada
1223	alta	atenção	alerta	fofo	estressado	alta	elevada

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
1224	alta	atenção	alerta	fofo	raiva	alta	elevada
1225	alta	atenção	alerta	pouco compac	calmo	alta	elevada
1226	alta	atenção	alerta	pouco compac	agitado	alta	elevada
1227	alta	atenção	alerta	pouco compac	estressado	alta	elevada
1228	alta	atenção	alerta	pouco compac	raiva	alta	elevada
1229	alta	atenção	alerta	median compac	calmo	alta	elevada
1230	alta	atenção	alerta	median compac	agitado	alta	elevada
1231	alta	atenção	alerta	median compac	estressado	alta	elevada
1232	alta	atenção	alerta	median compac	raiva	alta	elevada
1233	alta	atenção	alerta	compact	calmo	alta	elevada
1234	alta	atenção	alerta	compact	agitado	alta	elevada
1235	alta	atenção	alerta	compact	estressado	alta	elevada
1236	alta	atenção	alerta	compact	raiva	alta	elevada
1237	alta	atenção	alerta	muito compac	calmo	alta	elevada
1238	alta	atenção	alerta	muito compac	agitado	alta	elevada
1239	alta	atenção	alerta	muito compac	estressado	alta	elevada
1240	alta	atenção	alerta	muito compac	raiva	alta	elevada
1241	alta	atenção	boa	fofo	calmo	alta	elevada
1242	alta	atenção	boa	fofo	agitado	alta	elevada
1243	alta	atenção	boa	fofo	estressado	alta	elevada
1244	alta	atenção	boa	fofo	raiva	alta	elevada
1245	alta	atenção	boa	pouco compac	calmo	alta	elevada
1246	alta	atenção	boa	pouco compac	agitado	alta	elevada
1247	alta	atenção	boa	pouco compac	estressado	alta	elevada
1248	alta	atenção	boa	pouco compac	raiva	alta	elevada
1249	alta	atenção	boa	median compac	calmo	alta	elevada
1250	alta	atenção	boa	median compac	agitado	alta	elevada
1251	alta	atenção	boa	median compac	estressado	alta	elevada
1252	alta	atenção	boa	median compac	raiva	alta	elevada
1253	alta	atenção	boa	compact	calmo	alta	elevada
1254	alta	atenção	boa	compact	agitado	alta	elevada
1255	alta	atenção	boa	compact	estressado	alta	elevada
1256	alta	atenção	boa	compact	raiva	alta	elevada
1257	alta	atenção	boa	muito compac	calmo	alta	elevada

regra	ENTRADA				SAIDA		
	Torque	Velocidade	Superconsumo	SPT	OPERADOR	Energia	Capacidade de Carga
1258	alta	atenção	boa	muito compac	agitado	alta	elevada
1259	alta	atenção	boa	muito compac	estressado	alta	elevada
1260	alta	atenção	boa	muito compac	raiva	alta	elevada
1261	alta	atenção	prejuizo	fofo	calmo	alta	elevada
1262	alta	atenção	prejuizo	fofo	agitado	alta	elevada
1263	alta	atenção	prejuizo	fofo	estressado	alta	elevada
1264	alta	atenção	prejuizo	fofo	raiva	alta	elevada
1265	alta	atenção	prejuizo	pouco compac	calmo	alta	elevada
1266	alta	atenção	prejuizo	pouco compac	agitado	alta	elevada
1267	alta	atenção	prejuizo	pouco compac	estressado	alta	elevada
1268	alta	atenção	prejuizo	pouco compac	raiva	alta	elevada
1269	alta	atenção	prejuizo	median compac	calmo	alta	elevada
1270	alta	atenção	prejuizo	median compac	agitado	alta	elevada
1271	alta	atenção	prejuizo	median compac	estressado	alta	elevada
1272	alta	atenção	prejuizo	median compac	raiva	alta	elevada
1273	alta	atenção	prejuizo	compact	calmo	alta	elevada
1274	alta	atenção	prejuizo	compact	agitado	alta	elevada
1275	alta	atenção	prejuizo	compact	estressado	alta	elevada
1276	alta	atenção	prejuizo	compact	raiva	alta	elevada
1277	alta	atenção	prejuizo	muito compac	calmo	alta	elevada
1278	alta	atenção	prejuizo	muito compac	agitado	alta	elevada
1279	alta	atenção	prejuizo	muito compac	estressado	alta	elevada
1280	alta	atenção	prejuizo	muito compac	raiva	alta	elevada

ANEXO A – LAUDOS DE SONDAGEM

A.1 - OBRA A

Cód.Obra 5544		OBRA: GCE S/A		FURO N. F01		SONDAGEM A PERCUSSÃO PARA FINS DE RECONHECIMENTO DO SOLO						
LOCAL: SIA TRECHO 05 LOTES 20,40 E 60 - GUARÁ/DF		CUENTE: CÂMARA DOS DEPUTADOS		DATA INICIO: 01/04/2014								
				DATA TÉRMINO: 01/04/2014		N. RELATÓRIO: 5544/2014	FOLHA: 04					
NÍVEL DE ÁGUA E MÉTODO	Profundidade (m)	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	ÍNDICE DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO - SPT		GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO N 30 cm INICIAIS/FINAIS	Limite sondagem= 35,37 m - SPT 67/25 - 37/10 cm NA inicial = 29,60 m | NA (24h)= 29,51 m						
			30 cm Inicial 1. e 2.	30 cm Final 2. e 3.				CLASSIFICAÇÃO DO SOLO				
				1				Argila	3	4	Argila Siltosa, Cor Vermelha, Mole	
			TC	2				Argila	2	2	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Muito mole	
				3				Argila	2	2	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Muito mole	
				4				Argila	2	2	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Muito mole	
				5				Argila	2	2	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Muito mole	
				6				Argila	2	2	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Muito mole	
			REV	7				Argila	2	2	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Muito mole	
			TH	8				Argila	3	4	Argila Siltosa, Cor Vermelha, Mole	
			CA	9				Argila	5	6	Argila Siltosa, Cor Vermelha, Média(o)	
				10				Argila	3	4	Argila Siltosa, Cor Vermelha, Mole	
				11				Argila	5	6	Argila Siltosa, Cor Vermelha, Média(o)	
				12				Argila	3	4	Argila Siltosa, Cor Vermelha, Mole	
				13				Argila	5	7	Argila Siltosa, Cor Vermelha, Média(o)	
				14				Argila	8	9	Argila Siltosa, Cor Vermelha, Média(o)	
				15				Argila	7	8	Argila Siltosa, Cor Vermelha, Média(o)	
				16				Argila	5	8	Argila Siltosa, Cor Vermelha, Média(o)	
				17				Argila	11	13	Argila Siltosa, Cor Vermelha, Rija(o)	
				18				Argila	9	11	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Rija(o)	
				19				Argila	10	12	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Rija(o)	
				20				Argila	9	12	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Rija(o)	
				21				Argila	13	15	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Rija(o)	
				22				Argila	22	29	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Dura(o)	
				23				Argila	22	23	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Dura(o)	
				24				Argila	15	17	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Rija(o)	
				25				Argila	13	15	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Rija(o)	
				26				Argila	19	21	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Dura(o)	
				27				Argila	15	18	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Rija(o)	
				28				Argila	19	17	Argila Arenosa, Cor Variegada, Rija(o), OBS: com pedregulho	
NA	29	Argila	11	9	Argila Arenosa, Cor Variegada, Média(o), OBS: com pedregulho							
	30	Silte	9	12	Silte Argiloso, Cor Variegada, Rija(o)							
OBS:		TC: Trado Concha; TH - Trado Helicoid; CA: Circulação de Água; REV: Revestimento; Sondador: ELI										
EMBRE EMPRESA BRASILEIRA DE ENGENHARIA E FUNDAÇÕES LTDA Site: www.embre.com.br | E-mail: embre@embre.com.br | (61) 3233 - 1033												
RN:	0,00	Área/Profde.	11,83	Eng. Responsável:	Sondagens Fundações							
Cota:	-0,37			RENATO	Projetos Consultorias							
NA:	29,51 m											

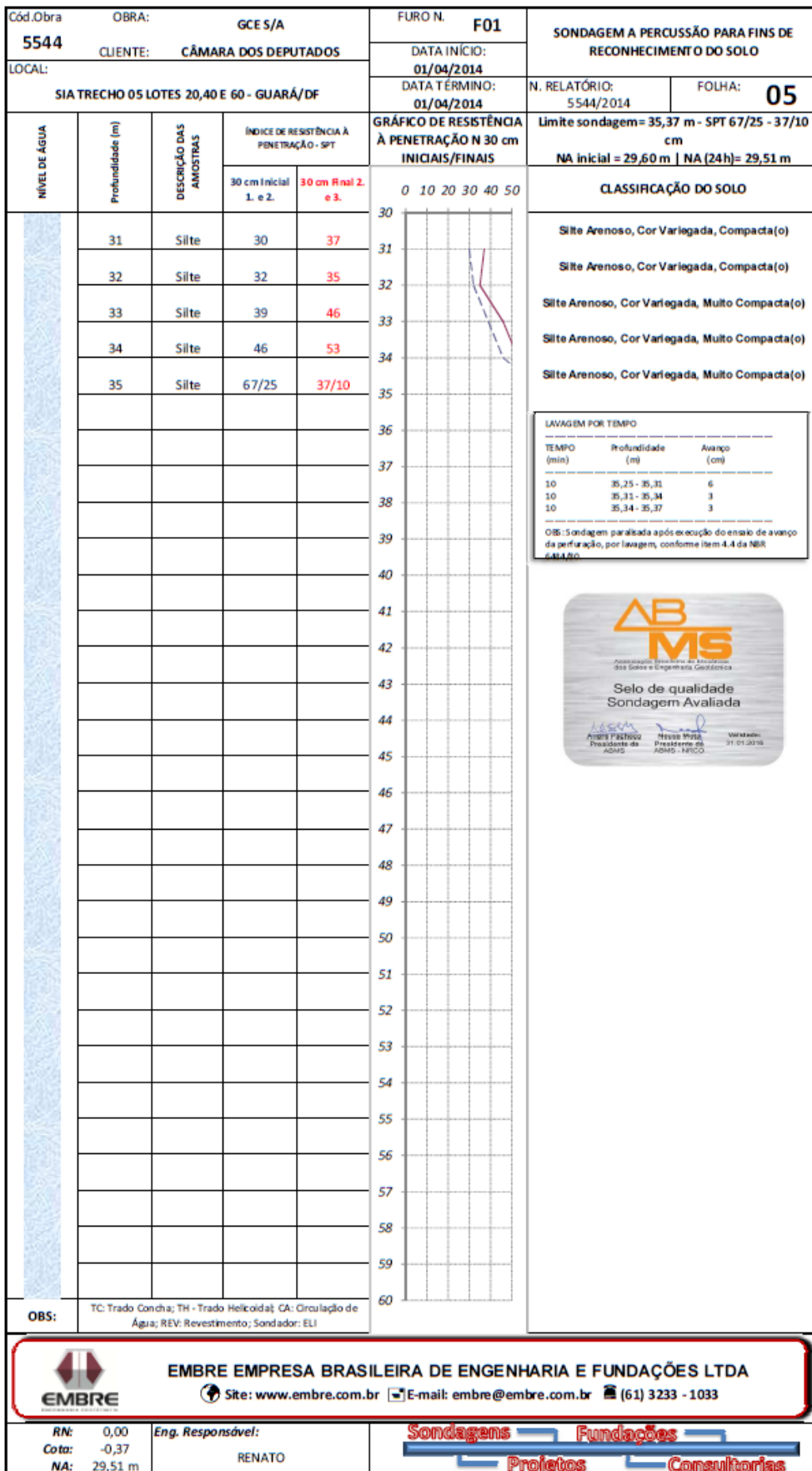


Figura A.1. 1 – Laudo de Sondagem SPT 1 (Obra A)

Cód.Obra 5544		OBRA: GCE S/A		FURO N. F02		SONDAGEM A PERCUSSÃO PARA FINS DE RECONHECIMENTO DO SOLO					
LOCAL: SIA TRECHO 05 LOTES 20,40 E 60 - GUARÁ/DF		CLIENTE: CÂMARA DOS DEPUTADOS		DATA INÍCIO: 03/04/2014		N. RELATÓRIO: 5544/2014					
				DATA TÉRMINO: 04/04/2014		FOLHA: 06					
NÍVEL DE ÁGUA E MÉTODO	Profundidade (m)	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	ÍNDICE DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO - SPT		GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO N 30 cm INICIAIS/FINAIS	Limite sondagem= 32,38 m - SPT 67/27 - 36/12 cm NA inicial = 29,70 m | NA (24h) = 29,67 m	CLASSIFICAÇÃO DO SOLO				
			30 cm Inicial 1. e 2.	30 cm Final 2. e 3.				0 10 20 30 40 50			
			1	Argila				2	2		Argila Siltsosa, Cor Vermelha, Muito mole
			TC 2	Argila				2	2		Argila Siltsosa, Cor Vermelha, Muito mole
			3	Argila				2	2		Argila Siltsosa, Cor Vermelha, Muito mole
			4	Argila				2	2		Argila Arenosa, Cor Vermelha, Muito mole
			5	Argila				2	2		Argila Arenosa, Cor Vermelha, Muito mole
			6	Argila				2	2		Argila Arenosa, Cor Vermelha, Muito mole
			7	Argila				3	4		Argila Arenosa, Cor Vermelha, Mole
			TH 8	Argila				5	6		Argila Arenosa, Cor Vermelha, Média(o)
			CA 9	Argila				7	9		Argila Arenosa, Cor Vermelha, Média(o)
			10	Argila				7	8		Argila Arenosa, Cor Vermelha, Média(o)
			11	Argila				7	9		Argila Arenosa, Cor Vermelha, Média(o)
			12	Argila				5	7		Argila Arenosa, Cor Vermelha, Média(o)
			13	Argila				7	9		Argila Arenosa, Cor Vermelha, Média(o)
			14	Argila				5	7		Argila Arenosa, Cor Vermelha, Média(o)
			15	Argila				7	9		Argila Arenosa, Cor Vermelha, Média(o)
			16	Argila				7	8		Argila Siltsosa, Cor Vermelha, Média(o)
			17	Argila				11	13		Argila Siltsosa, Cor Vermelha, Rija(o)
			18	Argila				10	12		Argila Siltsosa, Cor Vermelha, Rija(o)
			19	Argila				12	15		Argila Siltsosa, Cor Vermelha, Rija(o)
			20	Argila				16	21		Argila Siltsosa, Cor Vermelha, Dura(o)
			21	Argila				28	32		Argila Siltsosa, Cor Vermelha, Dura(o)
			22	Argila				31	40		Argila Siltsosa, Cor Vermelha, Dura(o)
			23	Argila				31	40		Argila Siltsosa, Cor Vermelha, Dura(o)
			24	Argila				25	27		Argila Siltsosa, Cor Vermelha, Dura(o)
			25	Argila				28	32		Argila Siltsosa, Cor Vermelha, Dura(o)
			26	Argila				28	29		Argila Siltsosa, Cor Vermelha, Dura(o)
			27	Argila				17	22		Argila Siltsosa, Cor Vermelha, Dura(o)
28	Argila	31	34		Argila Siltsosa, Cor Vermelha, Dura(o)						
29	Argila	29	32		Argila Siltsosa, Cor Vermelha, Dura(o)						
NA		Argila	46	50		Argila Siltsosa, Cor Vermelha, Dura(o)					
OBS:		TC: Trado Concha; TH - Trado Helicoidal; CA: Circulação de Água; REV: Revestimento; Sondador: ELI									

EMBRE EMPRESA BRASILEIRA DE ENGENHARIA E FUNDAÇÕES LTDA

Site: www.embre.com.br E-mail: embre@embre.com.br (61) 3233 - 1033

RN: 0,00	Área/Profde. 14,41	Eng. Responsável: RENATO	
Cota: 0,11			
NA: 29,67 m			

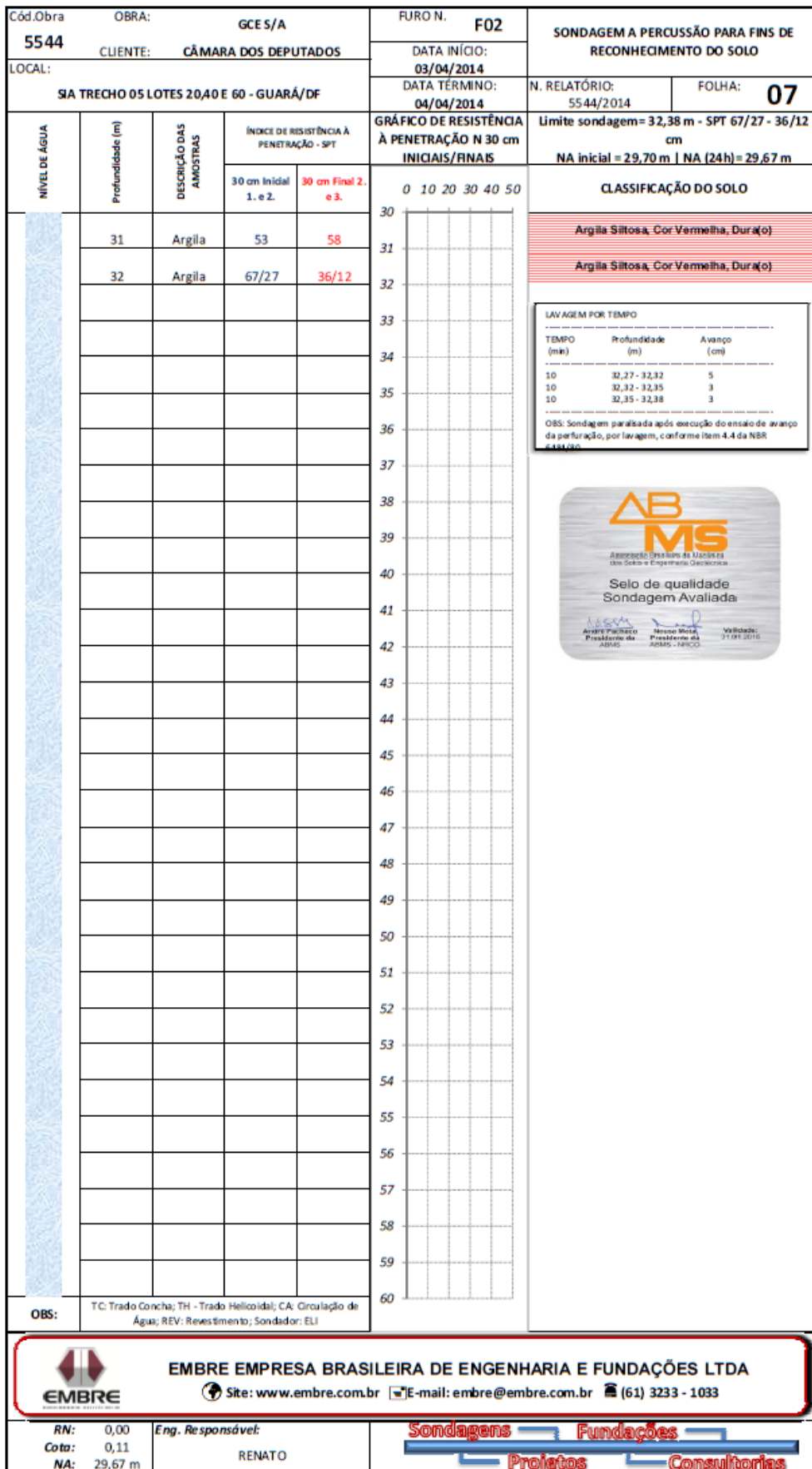



Figura A.1. 2 – Laudo de Sondagem SPT 2 (Obra A)

Cód.Obra 5544		OBRA: GCE S/A		FURO N. F03		SONDAGEM A PERCUSSÃO PARA FINS DE RECONHECIMENTO DO SOLO				
LOCAL: SIA TRECHO 05 LOTES 20,40 E 60 - GUARÁ/DF		CLIENTE: CÂMARA DOS DEPUTADOS		DATA INICIO: 07/04/2014		N. RELATÓRIO: 5544/2014				
				DATA TERMINO: 08/04/2014		FOLHA: 08				
NÍVEL DE ÁGUA E MÉTODO	Profundidade (m)	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	ÍNDICE DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO - SPT		GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO N 30 cm INICIAIS/FINAIS	CLASSIFICAÇÃO DO SOLO				
			30 cm Inicial 1. e 2.	30 cm Final 2. e 3.						
			1	Argila				3	2	<p>Limite sondagem= 33,37 m - SPT 70/24 - 38/9 cm NA inicial = 29,64 m | NA (24h)= 29,60 m</p>
			TC 2	Argila				2	2	
			3	Argila				2	2	
			4	Argila				2	2	
			5	Argila				2	2	
			6	Argila				2	2	
			REV 7	Argila				2	2	
			TH 8	Argila				3	4	
			CA 9	Argila				5	6	
			10	Argila				3	4	
			11	Argila				5	6	
			12	Argila				5	5	
			13	Argila				7	8	
			14	Argila				5	7	
			15	Argila				5	5	
			16	Argila				3	4	
			17	Argila				4	5	
			18	Argila				8	9	
			19	Argila				7	8	
			20	Argila				3	6	
			21	Argila				11	13	
			22	Argila				17	21	
			23	Argila				17	19	
			24	Argila				11	13	
			25	Argila				16	23	
			26	Argila				21	25	
			27	Argila				27	32	
			28	Argila				18	17	
29	Argila	9	11							
NA										
30	Silte	18	20							
OBS:		TC: Trado Concha; TH - Trado Helicoidal; CA: Circulação de Água; REV: Revestimento; Sondador: ELI								
<p align="center">  EMBRE EMPRESA BRASILEIRA DE ENGENHARIA E FUNDAÇÕES LTDA Site: www.embre.com.br | E-mail: embre@embre.com.br | (61) 3233 - 1033 </p>										
RN:	0,00	Área/Profde.	Eng. Responsável:		Sondagens Fundações					
Cota:	-0,10	9,67	RENATO		Projetos Consultorias					
NA:	29,60 m									

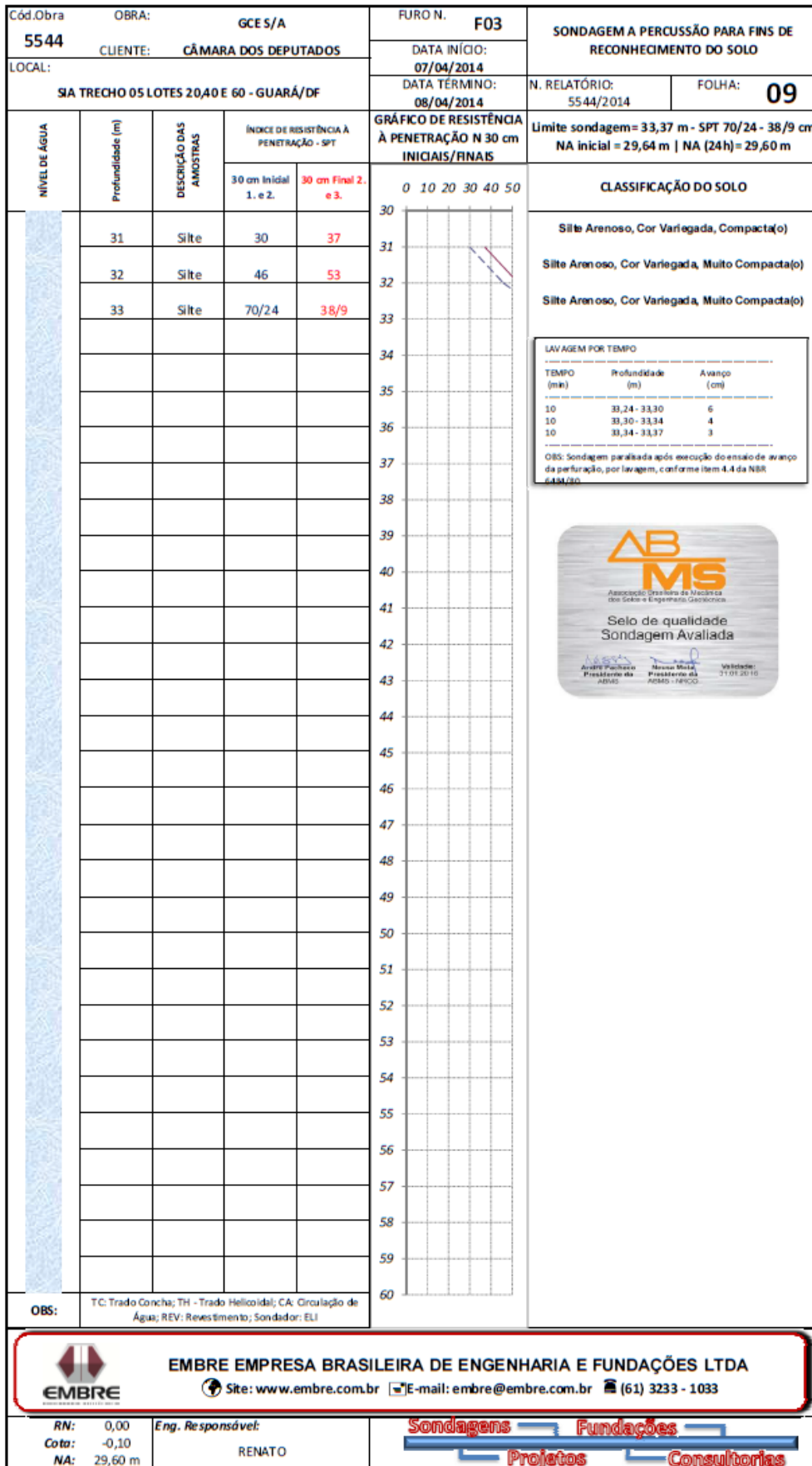


Figura A.1.3 – Laudo de Sondagem SPT 3 (Obra A)

Cód.Obra 5544		OBRA: GCE S/A		FURO N. F04		SONDAGEM A PERCUSSÃO PARA FINS DE RECONHECIMENTO DO SOLO					
LOCAL: SIA TRECHO 05 LOTES 20,40 E 60 - GUARÁ/DF		CLIENTE: CÂMARA DOS DEPUTADOS		DATA INICIO: 08/04/2014		N. RELATÓRIO: 5544/2014					
				DATA TÉRMINO: 08/04/2014		FOLHA: 10					
NÍVEL DE ÁGUA E MÉTODO	Profundidade (m)	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	ÍNDICE DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO - SPT		GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO N 30 cm INICIAIS/FINAIS	Limite sondagem= 29,22 m - SPT 39/11 cm N.A.: NÃO ENCONTRADA					
			30 cm Inicial 1. e 2.	30 cm Final 2. e 3.							
			CLASSIFICAÇÃO DO SOLO								
			1	Argila					2	2	Argila Silteosa, Cor Vermelha, Muito mole
			2	Argila					2	2	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Muito mole
			3	Argila					2	2	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Muito mole
			4	Argila					2	3	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Mole
			5	Argila					2	3	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Mole
			6	Argila					2	2	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Muito mole
			7	Argila					3	3	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Mole
			8	Argila					5	6	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Média(o)
			9	Argila					7	8	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Média(o)
			10	Argila					9	11	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Rija(o)
			11	Argila					5	6	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Média(o)
			12	Argila					4	5	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Mole
			13	Argila					5	5	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Mole
			14	Argila					5	7	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Média(o)
			15	Argila					7	9	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Média(o)
			16	Argila					5	7	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Média(o)
			17	Argila					7	8	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Média(o)
			18	Argila					9	10	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Média(o)
			19	Argila					9	11	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Rija(o)
			20	Argila					19	23	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Dura(o)
			21	Argila					18	22	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Dura(o)
			22	Argila					28	32	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Dura(o)
			23	Argila					33	38	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Dura(o)
			24	Argila					52	56	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Dura(o)
			25	Argila					31	34	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Dura(o)
			26	Argila					42	47	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Dura(o)
			27	Argila					63	73	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Dura(o)
28	Argila	45	55	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Dura(o)							
29	Argila	39/11	-	Argila Arenosa, Cor Vermelha, Dura(o)							
OBS:		TC: Trado Concha; TH - Trado Helicoidal; CA: Circulação de Água; REV: Revestimento; Sondador: ELI									



EMBRE EMPRESA BRASILEIRA DE ENGENHARIA E FUNDAÇÕES LTDA

Site: www.embre.com.br E-mail: embre@embre.com.br (61) 3233 - 1033

RN: 0,00
Cota: 0,35
NA: -

Área/Profde.
15,91

Eng. Responsável:
RENATO

Sondagens Fundações
Projetos Consultorias

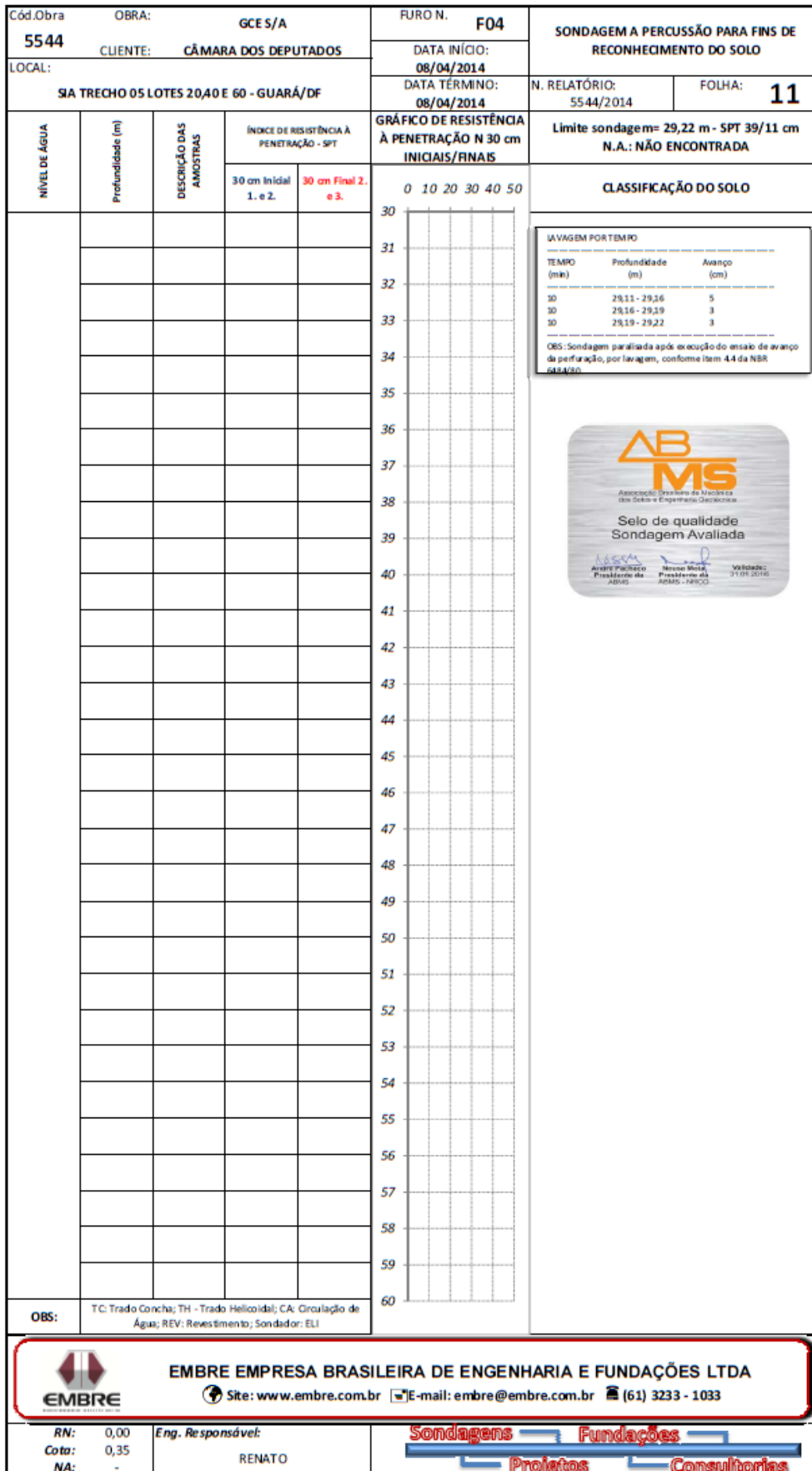


Figura A.1.4 – Laudo de Sondagem SPT 4 (Obra A)

Cód.Obra 5544		OBRA: GCE S/A		FURO N. F05		SONDAGEM A PERCUSSÃO PARA FINS DE RECONHECIMENTO DO SOLO	
LOCAL: SIA TRECHO 05 LOTES 20,40 E 60 - GUARÁ/DF		CLIENTE: CÂMARA DOS DEPUTADOS		DATA INÍCIO: 10/04/2014		N. RELATÓRIO: 5544/2014	
				DATA TÉRMINO: 11/04/2014		FOLHA: 12	
NÍVEL DE ÁGUA E MÉTODO	Profundidade (m)	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	ÍNDICE DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO - SPT		GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO N 30 cm INICIAIS/FINAIS 	CLASSIFICAÇÃO DO SOLO Argila Arenosa, Cor Vermelha, Mole Argila Arenosa, Cor Vermelha, Muito mole Argila Arenosa, Cor Vermelha, Muito mole Argila Arenosa, Cor Vermelha, Muito mole Argila Arenosa, Cor Vermelha, Muito mole Argila Arenosa, Cor Vermelha, Mole Areia Siltosa, Cor Vermelha, Fofa (o) Areia Siltosa, Cor Vermelha, Pouco compacta(o) Areia Siltosa, Cor Vermelha, Pouco compacta(o) Areia Siltosa, Cor Vermelha, Pouco compacta(o) Areia Siltosa, Cor Vermelha, Mediamente Compacta(o) Areia Siltosa, Cor Vermelha, Pouco compacta(o) Areia Siltosa, Cor Vermelha, Mediamente Compacta(o) Argila Arenosa, Cor Vermelha, Mole Argila Arenosa, Cor Vermelha, Muito mole Argila Arenosa, Cor Vermelha, Média(o) Argila Arenosa, Cor Vermelha, Mole Argila Arenosa, Cor Vermelha, Média(o) Argila Arenosa, Cor Vermelha, Rija(o) Argila Arenosa, Cor Vermelha, Rija(o) Argila Arenosa, Cor Vermelha, Rija(o) Argila Arenosa, Cor Vermelha, Rija(o) Argila Arenosa, Cor Vermelha, Dura(o) Argila Arenosa, Cor Vermelha, Dura(o) Argila Arenosa, Cor Vermelha, Dura(o) Argila Arenosa, Cor Vermelha, Dura(o) Argila Arenosa, Cor Vermelha, Dura(o) Argila Arenosa, Cor Vermelha, Dura(o), OBS: com pedregulho Argila Arenosa, Cor Vermelha, Rija(o), OBS: com pedregulho	
			30 cm Inicial 1. e 2.	30 cm Final 2. e 3.			
	1	Argila	3	3			
	TC 2	Argila	2	2			
	3	Argila	2	2			
	4	Argila	2	2			
	5	Argila	2	2			
	6	Argila	2	3			
	7	Areia	3	4			
	TH 8	Areia	5	6			
	CA 9	Areia	7	7			
	10	Areia	7	8			
	11	Areia	9	10			
	12	Areia	6	8			
	13	Areia	7	9			
	14	Argila	5	5			
	15	Argila	2	2			
	16	Argila	7	9			
	17	Argila	6	5			
	18	Argila	9	10			
	19	Argila	9	11			
	20	Argila	11	12			
	21	Argila	11	14			
	22	Argila	13	17			
	23	Argila	13	15			
	24	Argila	27	32			
	25	Argila	29	34			
	26	Argila	22	26			
	27	Argila	30	37			
	28	Argila	30	33			
29	Argila	26	29				
NA	30	Argila	16	14			

OBS:

TC: Trado Concha; TH - Trado Helicoidal; CA: Circulação de Água; REV: Revestimento; Sondador: ELI



EMBRE EMPRESA BRASILEIRA DE ENGENHARIA E FUNDAÇÕES LTDA

Site: www.embre.com.br E-mail: embre@embre.com.br (61) 3233 - 1033

RN: 0,00
Cota: 0,27
NA: 29,89 m

Área/Prof de.
13,12

Eng. Responsável:
RENATO

Sondagens Fundações
Projetos Consultorias

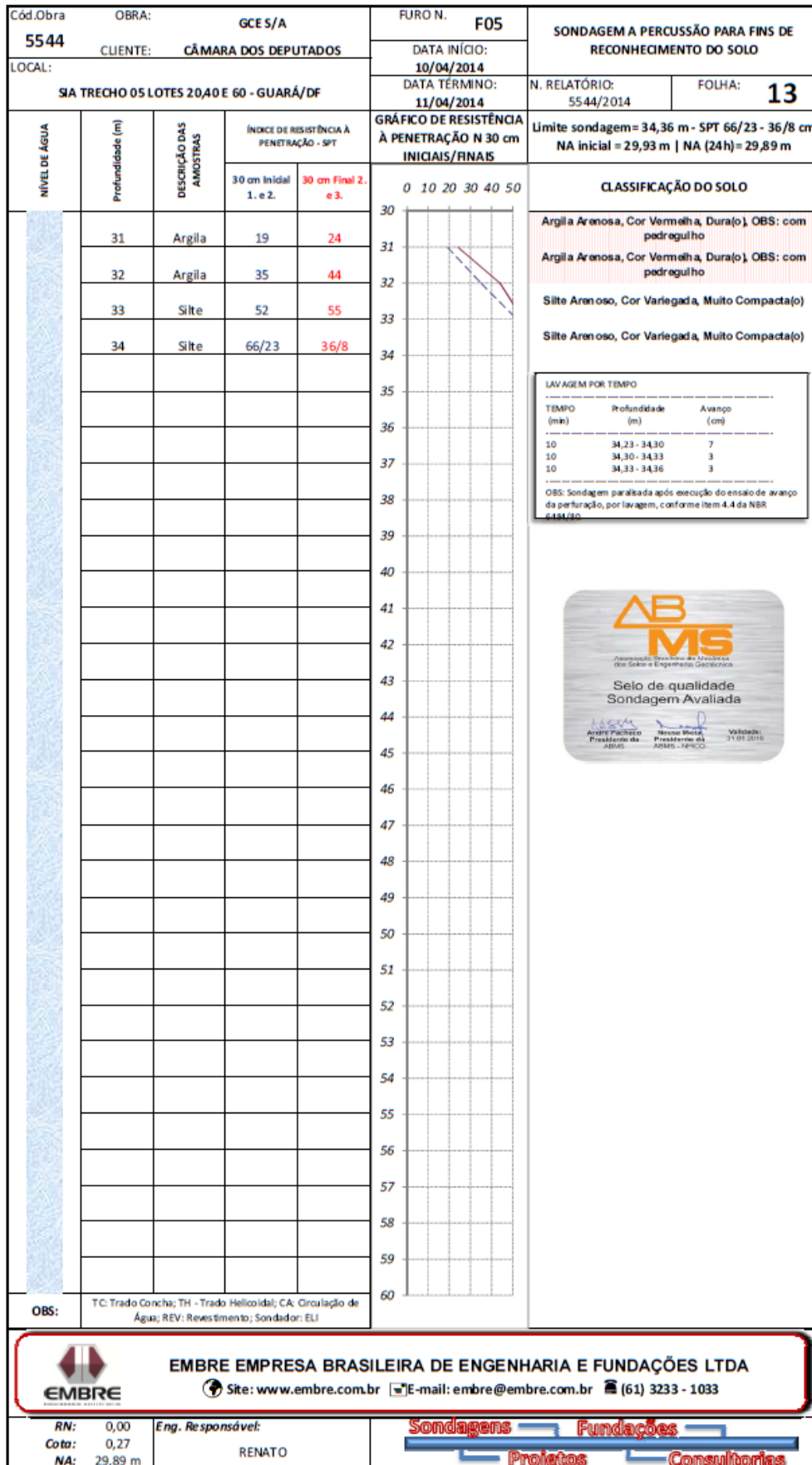
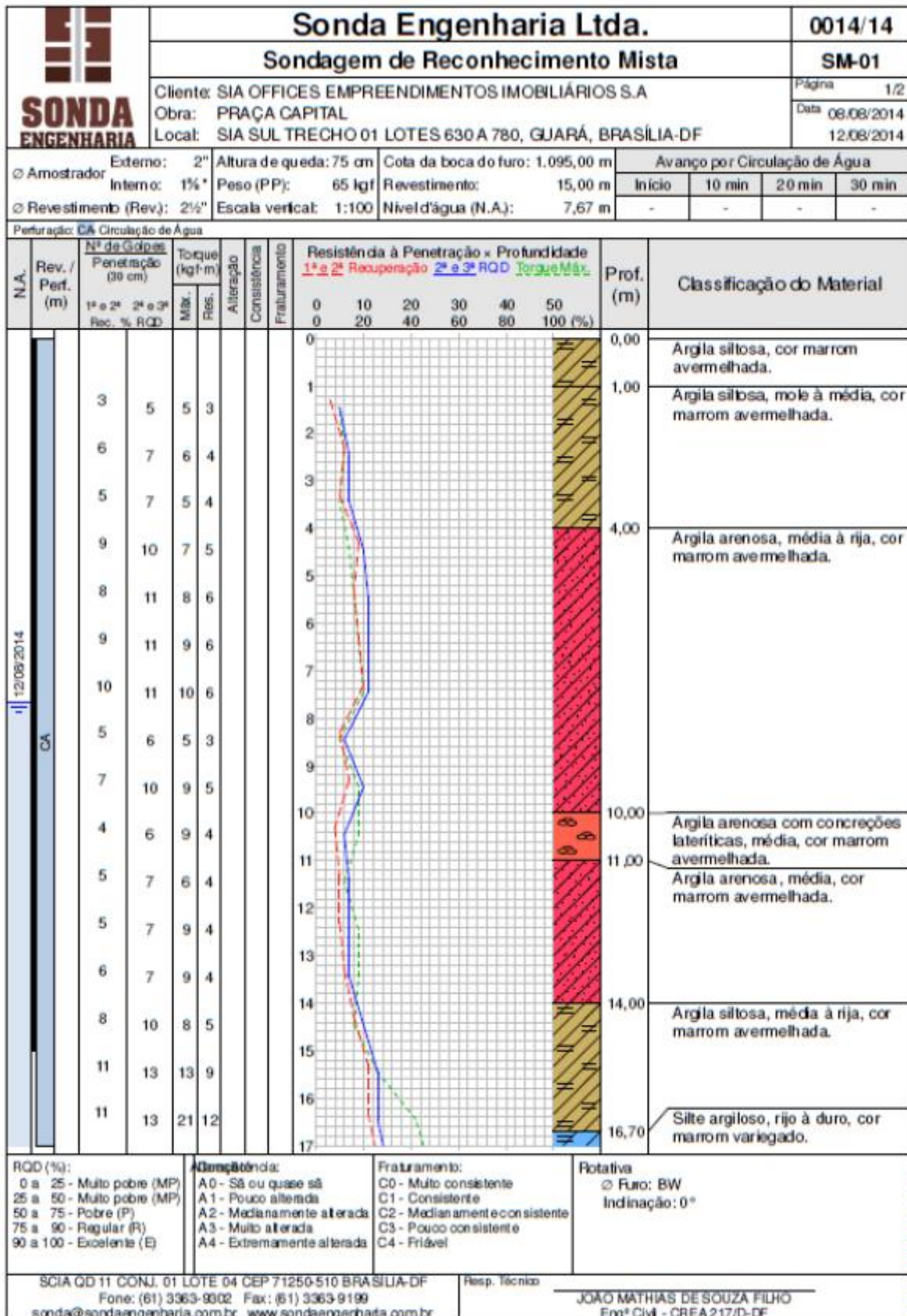


Figura A.1. 5 – Laudo de Sondagem SPT 5 (Obra A)

A.2 - OBRA B



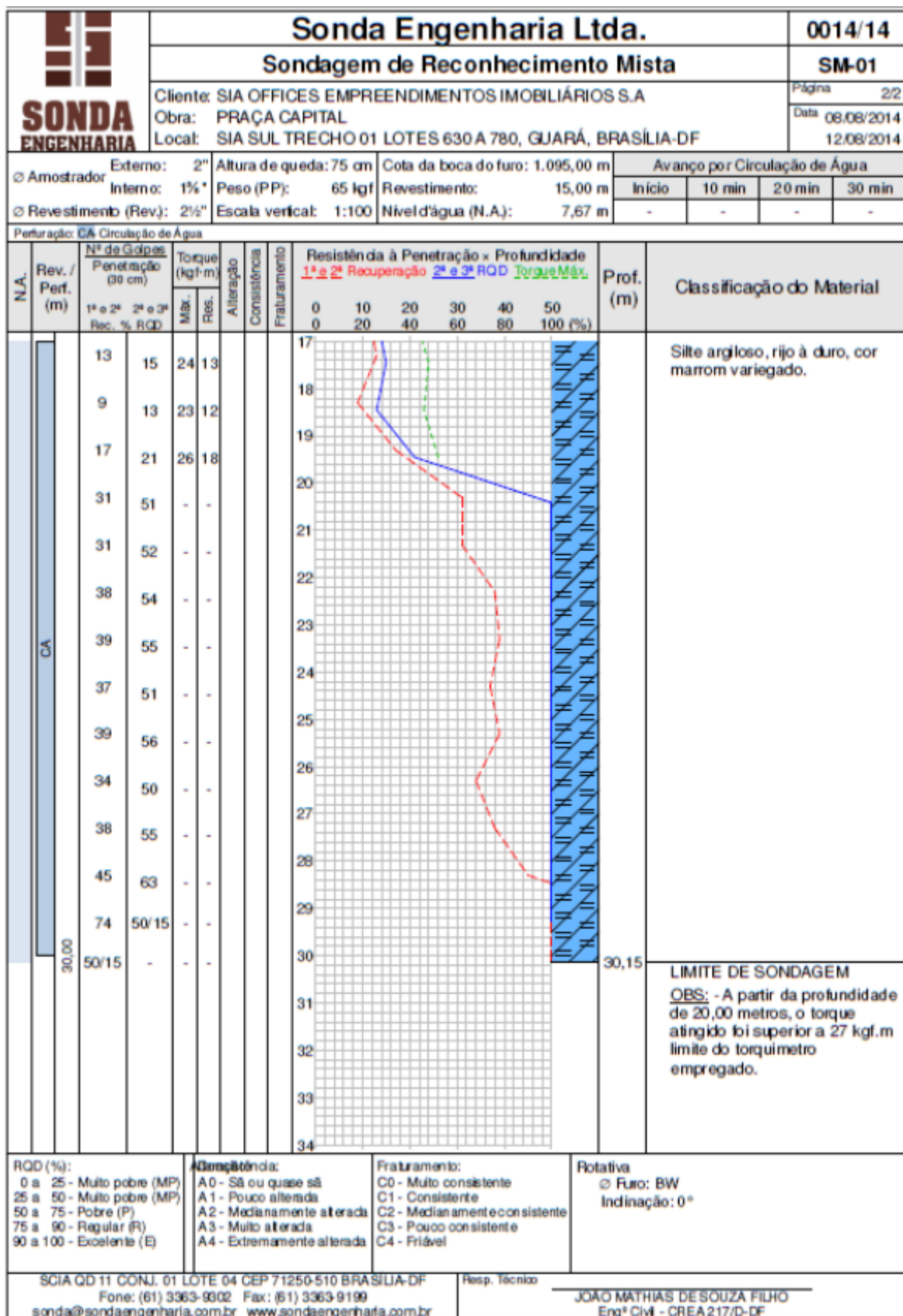


Figura A.2. 1 – Laudo de Sondagem SPT 1 (Obra B)

SONDA ENGENHARIA		Sonda Engenharia Ltda.				0014/14													
		Sondagem de Reconhecimento Mista				SM-02													
		Cliente: SIA OFFICES EMPREENDIMENTOS IMOBILIÁRIOS S.A				Página 1/2													
		Obra: PRAÇA CAPITAL				Data 14/08/2014													
		Local: SIA SUL TRECHO 01 LOTES 630 A 780, GUARÁ, BRASÍLIA-DF				15/08/2014													
Anostrador		Externo: 2"	Altura de queda: 7,5 cm	Cota da boca do furo: 1.095,00 m	Avanço por Circulação de Água														
		Interno: 1 1/2"	Peso (PP): 65 kgf	Revestimento: 15,00 m	Início	10 min	20 min	30 min											
Revestimento (Rev.): 2 1/2"		Escala vertical: 1:100	Nível d'água (N.A.): 7,93 m		-	-	-	-											
Perfuração: CA-Circulação de Água TC-Traço Concha																			
N.A.	Rev. / Perf. (m)	Nº de Golpes Penetração (30 cm)				Torque (kgf.m)		Alteração Consistência	Fraturamento	Resistência à Penetração x Profundidade						Prof. (m)	Classificação do Material		
		1ª e 2ª Rec. % RQD	2ª e 3ª Rec. % RQD	Máx.	Res.	1ª e 2ª Recuperação	2ª e 3ª RQD			Torque Máx.	0	10	20	30	40			50	100 (%)
	TC	1,00																	Argila arenosa, cor marrom avermelhada.
	CA		7	11	8	4													Argila arenosa, média à rija, cor marrom avermelhada.
			8	9	8	6													
			6	8	6	3													
			6	8	6	3													
			5	6	7	3													
			6	8	8	4													
			4	6	8	3													
			5	7	8	3													
			5	7	11	4													
			7	10	14	6													
			9	11	14	7													
			13	17	28	15													
			11	18	30	15													
			13	19	36	17													
			17	23	50	25													
			22	35	58	30													
RQD (%):		Alteração:		Fraturamento:		Rotativa													
0 a 25 - Muito pobre (MP)		A0 - São ou quase são		C0 - Muito consistente		☉ Furo: BW													
25 a 50 - Pouco pobre (MP)		A1 - Pouco alterada		C1 - Consistente		Inclinação: 0°													
50 a 75 - Pobre (P)		A2 - Medianamente alterada		C2 - Medianamente consistente															
75 a 90 - Regular (R)		A3 - Muito alterada		C3 - Pouco consistente															
90 a 100 - Excelente (E)		A4 - Extremamente alterada		C4 - Frívola															
SCIA QD 11 CONJ. 01 LOTE 04 CEP 71250-510 BRASÍLIA-DF						Resp. Técnico				JOÃO MATHIAS DE SOUZA FILHO									
Fone: (61) 3363-9302 Fax: (61) 3363-9199										Engº Civil - CREA 217/D-DF									
sonda@sondaengenharia.com.br www.sondaengenharia.com.br																			

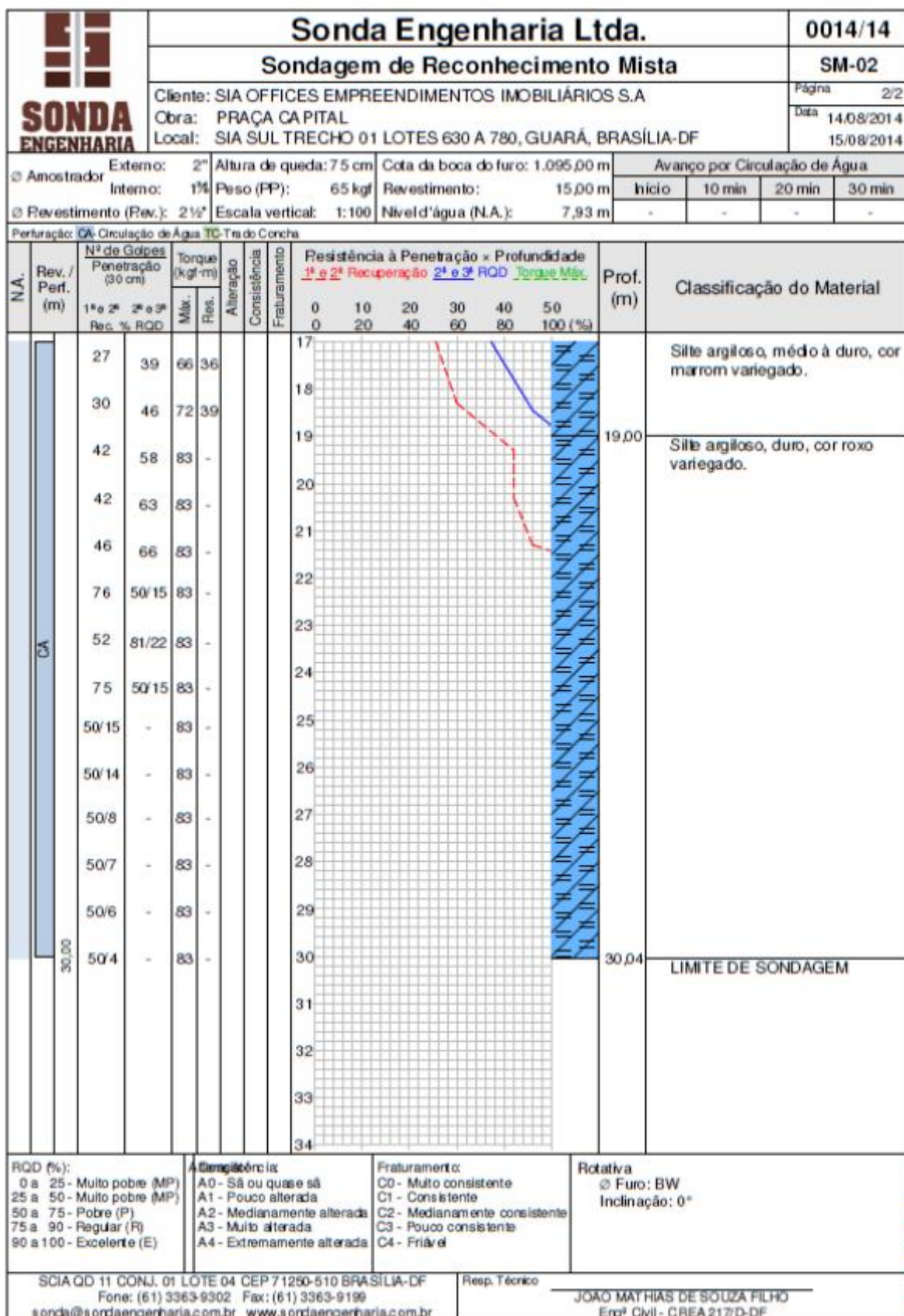


Figura A.2. 2 – Laudo de Sondagem SPT 2 (Obra B)

A.3 - OBRA C

TESTE SOLO ENGENHARIA LTDA.						SONDAGEM A PERCUSSÃO				
TEL.: (21) 78708019						COTA DA BOCA DO FURO: SP - 1				
Nº DE GOLPES			COTAS		AMOSTRA	PROF. m	CLASSIFICAÇÃO			
10	20	30	i	F						V
	9	13	-0.72 m		1	0.15	CAMADA DE VEGETAÇÃO			
			N.A.			0.76	AREIA FINA , COR CINZA ESCURO			
	11	15			2		AREIA MEDIA , C/ FRAGMENTOS DE MARISCOS, MEDIANAMENTE COMPACTA , COR MARROM			
	14	20			3					
	15	21			4	3.10				
	11	14			5		4.79	ARGILA SILTOSA , ARENOSA RIJA, COR CINZA		
	6	7			6		6.70	SILTE ARGILOSO, RIJO A MEDIO , COR ESVERDEADO C/ VEIOS BRANCOS		
	12	16			7					
	15	20			8			SILTE ARGILOSO, P/C ARENOSO , RIJO A DURO , COR AMARELADO		
	50				9		9.50	LIMITE DA SONDAGEM IMPENETRÁVEL AO TREPANO NA LAVAGEM (ROCHA OU MATAÇÃO)		
							LAVAGEM POR TEMPO			
							TEMPO (min)	PROF(m)		
							10.....	9.47 a 9.49		
							10.....	9.49 a 9.50		
							10.....	9.50 a 9.50		
N-A INICIAL = - 0.75 m I - PENETRAÇÃO 30 cm INICIAIS O-----O F - PENETRAÇÃO 30 cm FINAIS O-----O AMOSTRADOR Ø" 2" Ø" 1 3/6" MARTELO "65 kg ALTURA DE QUEDA "75 cm N.º APÓS 24 HORAS						CLIENTE: SOLIDA ENGENHARIA LTDA ENDEREÇO: AV. ARARUAMA Nº 155 - PARQUE HOTEL - ARARUAMA - RIO DE JANEIRO - RJ				
COTAS REFERIDAS À RN = 0.00 MEIO FIO						DATA INICIAL	02/12/13	 Engº Civil CREA 081003752-D 5ª Região		
						DATA FINAL	02/12/13			
						DES.	PAULO			
						VISTO		ESCALA	DES. Nº	RELATÓRIO
						APROVADO		1:100	318	

Figura A.3. 1 – Laudo de Sondagem SPT 1 (Obra C)

TESTE SOLO ENGENHARIA LTDA.						SONDAGEM A PERCUSSÃO			
TEL.: (21) 78708019						COTA DA BOCA DO FURO:			
						SP - 2			
Nº DE GOLPES			COTAS			AMOSTRA	PROF. m	CLASSIFICAÇÃO	
10	20	30	I	F	V				
							0.20	CAMADA DE VEGETAÇÃO	
			6	8	-1.00 m N.A	1	0.57	AREIA FINA , CÔR CINZA ESCURO	
			10	13		2	3.00	AREIA FINA A MDEIA , C/ FRAGMENTOS DE MARISCOS P/C COMPACTA A MEDIANAMENTE COMPACTA , COR CINZA CLARO	
			7	14		3			
			14	22		4			
			10	12		5			ARGILA SILTOSA , P/C ARENOSA, DURA COR CINZA RIJA
			25	34		6			
			12	15		7	6.73	SILTE ARGILOSO , RIJO , COR CINZA C/ VEIOS AMARELADOS	
			10	13		8	8.65	SILTE ARGILOSO, P/C ARENOSO, RIJO , COR VARIEGADO (CREME)	
			8	12		9			
			12	15		10			SILTE ARENOSO , MICACEO , MUITO COMPACTO , COR VARIEGADO (AMARELADO) (SOLO RESIDUAL)
			42	55			11	11.05	
							11.65	LIMITE DA SONDAGEM IMPENETRÁVEL AO TREPANO NA LAVAGEM (ROCHA OU MATAÇÃO)	
						LAVAGEM POR TEMPO TEMPO (min) PROF (m) 10.....11.63 a 11.64 10.....11.64 a 11.65 10.....11.65 a 11.65			
N-A INICIAL = - 1.00 m I - PENETRAÇÃO 30 cm INICIAIS O-----O F - PENETRAÇÃO 30 cm FINAIS O-----O AMOSTRADOR Ø" 2" Ø" 1 3/6" MARTELO "65 kg ALTURA DE QUEDA "75 cm N.º APÓS 24 HORAS						CLIENTE: SOLIDA ENGENHARIA LTDA ENDEREÇO: AV. ARARUAMA - Nº 155 - PARQUE HOTEL ARARUAMA - RIO DE JANEIRO - RJ			
						DATA INICIAL 02/12/13 DATA FINAL 02/12/13 DES. PAULO	<i>Paulo H. Campos Magalhães</i> Engº CIVIL CREA 0811003752-0 5ª Região		
COTAS REFERIDAS À RN = 0.00 MEIO FIO						VISTO <i>[Assinatura]</i> APROVADO <i>[Assinatura]</i>	ESCALA DES. Nº 1:100 318	RELATÓRIO	

Figura A.3. 2 – Laudo de Sondagem SPT 2 (Obra C)

TESTE SOLO ENGENHARIA LTDA.						SONDAGEM A PERCUSSÃO			
TEL.: (21) 78708019						COTA DA BOCA DO FURO:			
						SP - 3			
Nº DE GOLPES			COTAS			AMOSTRA	PROF. m	CLASSIFICAÇÃO	
10	20	30	I	F	V				
			8	12	-0.72 m		0.20	CAMADA DE VEGETAÇÃO	
			10	14	N.A	1	0.70	AREIA FINA , COR MARROM ESCURO	
			20	29		2	2.90	AREIA FINA A MEDIA , C/ FRAGMENTOS DE MARISCOS , MEDIANAMENTE COMPACTA COR CINZA CLARO	
			20	27		3			
			16	26		4			
			18	24		5	5.87	ARGILA SILTOSA , P/C ARENOSA, DURA , COR VARIEGADA (CINZA AMARELADO)	
			24	33		6			
			41	46		7	7.95	SILTE ARGILO - ARENOSO , MICACEO , DURO , COR CINZA	
			47	61		8			
						9	9.45	SILTE ARENOSO , MICACEO , MUITO COMPACTO , COR VARIEGADO (AMARELADO) (SOLO RESIDUAL)	
LIMITE DA SONDAGEM									
N-A INICIAL = - 0.72 m I - PENETRAÇÃO 30 cm INICIAIS O-----O F - PENETRAÇÃO 30 cm FINAIS O-----O AMOSTRADOR Ø" 2" Ø" 1 3/6" MARTELO "65 kg ALTURA DE QUEDA "75 cm N.* APÓS 24 HORAS						CLIENTE: SOLIDA ENGENHARIA LTDA ENDEREÇO: AV. ARARUAMA Nº 155 - PARQUE HOTEL ARARUAMA - RIO DE JANEIRO - RJ			
						DATA INICIAL 02/12/13 DATA FINAL 02/12/13 DES. PAULO	 Engº Civil CREA 081003752-0 5ª Região		
COTAS REFERIDAS À RN = 0.00 MEIO FIO						VISTO APROVADO 	ESCALA 1:100	DES. Nº 318	RELATÓRIO

Figura A.3. 3 – Laudo de Sondagem SPT 3 (Obra C)

TESTE SOLO ENGENHARIA LTDA.				SONDAGEM A PERCUSSÃO				
TEL.: (21) 78708019				COTA DA BOCA DO FURO: SP - 4				
Nº DE GOLPES			COTAS		AMOSTRA	PROF. m	CLASSIFICAÇÃO	
10	20	30	I	F				V
						0.16	CAMADA DE VEGETAÇÃO	
			9	15	-1.00 m N.A	0.50	AREIA FINA , COR MARROM ESCURO	
			9	12		1		
			16	24		2		
			29	45		3	3.10	
			17	24		4		
			17	24		5		
			29	44		6	6.68	
			51	.....		7	
			68	45		8		
		30	15	9		9.30		
LIMITE DA SONDAGEM IMPENETRÁVEL AO TREPANO NA LAVAGEM (ROCHA OU MATAÇÃO) LAVAGEM POR TEMPO TEMPO (min) PROF (m) 10.....9.27 a 9.30 10.....9.30 a 9.30 10.....9.30 a 9.30								
N-A INICIAL = - 1.00 m I - PENETRAÇÃO 30 cm INICIAIS O-----O F - PENETRAÇÃO 30 cm FINAIS O-----O AMOSTRADOR Ø" 2" Ø" 1 3/6" MARTELO "65 kg ALTURA DE QUEDA "75 cm N.º APÓS 24 HORAS				CLIENTE: SOLIDA ENGENHARIA LTDA ENDEREÇO: AV. ARARUAMA - Nº 155 - PARQUE HOTEL - ARARUAMA - RIO DE JANEIRO - TJ				
				DATA INICIAL	03/12/13	Paulo W. Campos Magalhães Engº Civil CREA 081003752-D 5ª Região		
				DATA FINAL	03/12/13			
				DES.	PAULO			
COTAS REFERIDAS À RN = 0.00				VISTO		ESCALA	DES. Nº	RELATÓRIO
MEIO FIO				APROVADO		1:100	318	

Figura A.3. 4 – Laudo de Sondagem SPT 4 (Obra C)

TESTE SOLO ENGENHARIA LTDA.						SONDAGEM A PERCUSSÃO			
TEL.: (21) 78708019						COTA DA BOCA DO FURO:			
						SP - 5			
Nº DE GOLPES			COTAS			AMOSTRA	PROF. m	CLASSIFICAÇÃO	
10	20	30	I	F	V				
			9	13	-0.79 m	1	0.12	CAMADA DE VEGETAÇÃO	
			6	8	N.A	2	0.40	AREJA MEDIA , COR CINZA ESCURO	
			20	29		3	2.99	AREIA FINA A MEDIA , C/ FRAGMENTOS DE MARISCOS , P/C COMPACTA , COR CINZA CLARO	
			45			4		ARGILA ARENOSA , DURA A MUITO DURA , COR CINZA	
			15	.....		5	4.73	SILTE ARGILOSO , P/C ARENOSO , DURO , COR VARIEGADO (AMARELADO)
			20	27		6		SILTE ARGILOSO , MUITO DURO , COR VARIEGADO (ESVERDEADO)	
			17	25		7	7.05	LIMITE DA SONDAGEM	
			23	34		8	8.45		
			56	35					
			30	16					
N-A INICIAL = - 0.79 m I - PENETRAÇÃO 30 cm INICIAIS F - PENETRAÇÃO 30 cm FINAIS AMOSTRADOR Ø" 2" Ø" 1 3/6" MARTELO "65 kg ALTURA DE QUEDA "75 cm N.º APÓS 24 HORAS						CLIENTE: SOLIDA ENGENHARIA LTDA ENDEREÇO: AV. ARARUAMA Nº 155 - PARQUE HOTEL ARARUAMA - RIO DE JANEIRO - RJ			
						DATA INICIAL DATA FINAL DES. PAULO	Paulo H. Campos Magalhães Engº Civil CREA 081003752-0 5ª Região		
COTAS REFERIDAS À RN = 0.00 MEIO FIO						VISTO APROVADO	ESCALA 1:100	DES. Nº 318	RELATÓRIO

Figura A.3. 5 – Laudo de Sondagem SPT 5 (Obra C)

TESTE SOLO ENGENHARIA LTDA.						SONDAGEM A PERCUSSÃO				
TEL.: (21) 78708019						COTA DA BOCA DO FURO:				
						SP - 6				
N° DE GOLPES			COTAS			AMOSTRA	PROF. m	CLASSIFICAÇÃO		
10	20	30	I	F	V					
			12	16	-1.21 m N.A	1	1.00	SILTE ARGILO-ARENOSO, COR VARIEGADO (MARROM) (ATERRO)		
			9	9		2	1.59	AREIA FINA, MEDIANAMENTE COMPACTA, COR MARROM ESCURO		
			20	26		3	2.96	AREIA FINA A MEDIA, C/ FRAGMENTOS DE MARISCOS, P/C COMPACTA, COR CINZA CLARO		
			28	43		4				
			22	28		5				
			20	22		6		ARGILA SILTOSA, P/C		
			29	42		7		ARENOSA, DURA, COR CINZA		
			50			8	7.16			
			10	.....			8.17		
									SILTE ARENOSO, MICACEO, MUITO COMPACTO, COR VARIEGADO (AMARELADO) (SOLO RESIDUAL)	
							LIMITE DA SONDAAGEM			
							IMPENETRÁVEL AO TREPANO NA LAVAGEM (ROCHA OU MATAÇÃO)			
							LAVAGEM POR TEMPO			
							TEMPO (min) PROF (m)			
							10.....8.15 a 8.16			
							10.....8.16 a 8.17			
							10.....8.17 a 8.17			
N-A INICIAL = - 1.21 m I - PENETRAÇÃO 30 cm INICIAIS F - PENETRAÇÃO 30 cm FINAIS AMOSTRADOR Ø" 2" Ø" 1 3/8" MARTELO "65 kg ALTURA DE QUEDA "75 cm N.º APÓS 24 HORAS						CLIENTE: SOLIDA ENGENHARIA LTDA ENDEREÇO: AV. ARARUAMA Nº 155 - PARQUE HOTEL ARARUAMA - RIO DE JANEIRO - RJ				
COTAS REFERIDAS À RN = 0.00 MEIO FIO						DATA INICIAL	03/12/13	<i>Paulo H. Campos Magalhães</i> Engº Civil CREA 081003752-0 5ª Região		
						DATA FINAL	03/12/13			
						DES.	PAULO			
						VISTO		ESCALA	DES. Nº	RELATÓRIO
						APROVADO		1:100	318	

Figura A.3. 6 – Laudo de Sondagem SPT 6 (Obra C)

TESTE SOLO ENGENHARIA LTDA.						SONDAGEM A PERCUSSÃO		
TEL.: (21) 78708019						COTA DA BOCA DO FURO:		
						SP - 7		
Nº DE GOLPES			COTAS			AMOSTRA	PROF. m	CLASSIFICAÇÃO
10	20	30	I	F	V			
	10	12	-1,20 m N.A	1	1,50	SILTE ARGILO - ARENOSO COR VARIEGADO (MARROM) (ATERRO)		
	8	10		2	3,15	AREIA MEDIA , C/ FRAGMENTOS DE MARISCOS , P/C COMPACTA , COR MARROM		
	17	24		3				
	20	31		4		4,73	ARGILA ARENOSA , DURA COR CINZA	
	17	31		5	7,00	AREIA GROSSA COMPACTA , COR CINZA CLARO		
	24	30		6				
	75 25	45 10		7		7,30		
							SILTE ARENOSO , MICACEO MUITO COMPACTO , COR VARIEGADO (AMARELADO) (SOLO RESIDUAL) LIMITE DA SONDAGEM IMPENETRÁVEL AO TREPANO NA LAVAGEM (ROCHA OU MATAÇÃO) <u>LAVAGEM POR TEMPO</u> TEMPO (min) PROF (m) 10 .....7.28 a 7.29 10 .....7.29 a 7.30 10 .....7.30 a 7.30	
N-A INICIAL = - 1,20 m I - PENETRAÇÃO 30 cm INICIAIS O-----O F - PENETRAÇÃO 30 cm FINAIS O-----O AMOSTRADOR Ø" 2" Ø" 1 3/6" MARTELO "65 kg ALTURA DE QUEDA "75 cm N.º APÓS 24 HORAS						CLIENTE: SOLIDA ENGENHARIA LTDA ENDEREÇO: AV. ARARUAMA Nº 155 - PARQUE HOTEL ARARUAMA - RIO DE JANEIRO - RJ		
						DATA INICIAL 04/12/13 DATA FINAL 04/12/13 DES. PAULO	<i>Paulo H. Campos Magalhães</i> Engº Civil CREA 081003752-0 5ª Região	
COTAS REFERIDAS À RN = 0,00 MEIO FIO						VISTO APROVADO	ESCALA 1:100 DES. Nº 318	RELATÓRIO

Figura A.3. 7 – Laudo de Sondagem SPT 7 (Obra C)

TESTE SOLO ENGENHARIA LTDA.						SONDAGEM A PERCUSSÃO		
TEL.: (21) 78708019						COTA DA BOCA DO FURO:		
						SP - 8		
Nº DE GOLPES			COTAS			AMOSTRA	PROF. m	CLASSIFICAÇÃO
10	20	30	I	F	V			
			9	13	-1.23 m N.A.	1	1.00	SILTE ARGILO-ARENOSO , COR VARIEGADO (MARROM) (ATERRO)
			11	16		2	1.85	AREIA FINA , MEDIANAMENTE COMPACTA , COR MARROM ESCURO
			15	23		3	3.00	AREIA FINA A MEDIA , C/ FRAGMENTOS DE MARISCOS , MEDIANAMENTE COMPACTA COR CINZA CLARO
			25	58		4		
			29	47		5		
			27	38		6	5.74	ARGILA SILTOSA , P/C ARENOSA , DURA A MUITO DURA , COR CINZA
			38	52		7	8.09	SILTE ARENOSO , MICACEO , COMPACTO A MUITO COMPACTO , COR CINZA AMARELADO (SOLO RESIDUAL)
			50	.....		8		
N-A INICIAL = - 1.23 m I - PENETRAÇÃO 30 cm INICIAIS O-----O F - PENETRAÇÃO 30 cm FINAIS O-----O AMOSTRADOR Ø" 2" Ø" 1 3/6" MARTELO "65 kg ALTURA DE QUEDA "75 cm N.º APÓS 24 HORAS						CLIENTE: SOLIDA ENGENHARIA LTDA ENDEREÇO: AV. ARARUAMA , Nº 155 - PARQUE HOTEL ARARUAMA - RIO DE JANEIRO - RJ		
						DATA INICIAL 04/12/13 DATA FINAL 04/12/13 DES. PAULO	<i>Paulo H. Campos Magalhães</i> Engº Civil CREA 061003752-0 5ª Região	
COTAS REFERIDAS À RN = 0.00 MEIO FIO						VISTO <i>[Signature]</i> APROVADO <i>[Signature]</i>	ESCALA 1:100 DES. Nº 318	RELATÓRIO

Figura A.3. 8 – Laudo de Sondagem SPT 8 (Obra C)

APÊNDICE B – CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA ADMISSÍVEL

OBRA B

spt 1 kN			spt 2 kN				
prof	70	80	prof	40	60	70	80
1	46,38	54,51	1	13,92	22,58	27,33	32,37
2	59,52	69,34	2	22,09	34,83	41,63	48,71
3	78,77	91,15	3	31,61	52,32	62,03	72,02
4	95,57	113,63	4	38,37	67,73	82,44	95,34
5	107,40	130,29	5	45,13	78,81	98,44	116,77
6	118,43	142,76	6	52,66	90,70	112,64	136,53
7	132,63	159,38	7	71,30	123,22	148,85	175,93
8	176,53	207,58	8	96,66	165,02	199,54	236,06
9	215,36	252,20	9	129,91	217,73	262,28	309,18
10	230,19	276,08	10	150,54	260,55	322,32	378,97
11	274,40	329,63	11	176,35	301,83	373,91	444,66
12	283,91	338,38	12	191,44	320,93	394,12	472,93
13	351,67	422,22	13	219,17	367,05	450,57	540,47
14	414,34	497,89	14	233,20	383,77	467,54	556,98
15	445,43	532,36	15	261,18	430,46	524,77	625,53
16	494,44	590,45	16	283,09	463,66	563,71	670,27
17	603,48	724,61	17	330,82	549,38	671,95	803,38
18	641,52	765,97	18	362,31	597,15	727,99	867,78
19	705,00	840,48	19	414,75	688,90	842,66	1.007,56
20	768,73	915,12	20	495,97	836,49	1.029,89	1.238,71
21	902,36	1.079,67	21	602,45	1.024,28	1.265,35	1.526,53
22	1.142,41	1.376,08	22	706,17	1.190,32	1.465,17	1.761,85
23	1.208,71	1.445,56	23	800,81	1.331,73	1.629,82	1.949,67
24	1.216,57	1.442,70	24	875,29	1.443,71	1.760,61	2.099,31
25	1.273,54	1.506,11	25	948,37	1.553,22	1.888,31	2.245,18
26	1.418,88	1.682,55	26	1.013,69	1.646,33	1.994,10	2.362,84
27	1.459,51	1.722,44	27	1.057,55	1.701,31	2.051,94	2.421,72
28	1.496,48	1.758,59	28	1.146,49	1.846,68	2.228,50	2.631,48
29	1.476,66	1.724,53	29	1.234,10	1.985,22	2.394,29	2.825,70
30	1.708,98	2.019,97	30	1.345,92	2.157,22	2.597,45	3.060,74
31	2.037,83	2.429,22	31	1.479,48	2.358,89	2.833,52	3.331,42
32	2.268,95	2.706,78	32	1.582,99	2.515,75	3.017,45	3.542,69
33	2.492,20	2.969,31					
34	2.740,48	3.259,08					
35	2.938,74	3.489,59					

spt 3
kN

prof	60	80
1	22,58	32,37
2	34,83	48,71
3	52,32	72,02
4	67,73	95,34
5	78,81	116,77
6	88,95	133,43
7	100,83	150,05
8	135,24	193,85
9	169,74	238,48
10	180,55	266,75
11	217,93	322,77
12	238,92	351,09
13	291,62	432,34
14	310,87	453,82
15	315,43	451,82
16	324,82	460,44
17	359,04	512,56
18	421,78	610,57
19	445,09	637,72
20	467,09	665,18
21	584,06	854,77
22	727,96	1.080,28
23	783,16	1.146,55
24	807,97	1.166,26
25	973,43	1.427,91
26	1.103,30	1.619,46
27	1.212,37	1.765,46
28	1.197,35	1.703,96
29	1.225,98	1.733,57
30	1.479,73	2.156,38
31	1.678,10	2.458,03
32	1.882,27	2.744,66
33	2.058,19	2.989,96

spt 4
kN

prof	40	70	80
1	13,92	27,33	32,37
2	22,09	41,63	48,71
3	31,61	62,03	72,02
4	43,15	87,55	103,51
5	52,24	109,23	129,10
6	56,55	118,43	142,76
7	70,41	149,85	181,09
8	97,70	201,60	237,77
9	128,75	267,44	315,73
10	164,09	334,30	392,27
11	166,16	339,95	407,25
12	176,22	351,81	418,60
13	191,01	379,05	450,26
14	216,63	435,17	518,69
15	244,06	490,69	585,02
16	258,10	507,70	601,57
17	283,64	559,59	663,62
18	317,30	631,16	750,23
19	358,85	722,91	862,34
20	453,20	949,71	1.145,04
21	518,33	1.078,18	1.297,38
22	618,54	1.293,54	1.558,74
23	719,53	1.489,27	1.789,67
24	845,13	1.716,24	2.051,81
25	946,82	1.900,71	2.265,10
26	1.055,72	2.099,53	2.495,47
27	1.213,50	2.380,37	2.818,23
28	1.356,16	2.629,70	3.103,06
29	1.459,72	2.810,08	3.308,88

spt 5
kN

prof	60	70	80
1	29,75	35,70	41,93
2	42,01	50,00	58,27
3	59,45	70,40	81,59
4	72,18	88,77	104,91
5	82,31	102,52	123,64
6	113,70	140,87	167,88
7	163,20	200,35	234,53
8	223,71	275,13	323,19
9	287,64	353,12	417,33
10	361,42	443,31	522,62
11	435,26	531,31	634,07
12	467,54	588,58	720,25
13	490,51	612,49	745,96
14	415,95	506,18	602,37
15	394,38	474,24	558,13
16	463,50	563,00	668,87
17	461,05	554,85	653,50
18	529,82	642,06	761,14
19	586,72	711,62	844,26
20	648,37	786,96	934,27
21	723,58	879,60	1.045,74
22	812,42	988,96	1.177,26
23	887,96	1.080,56	1.285,90
24	1.102,05	1.353,05	1.623,28
25	1.232,96	1.507,90	1.802,69
26	1.348,86	1.645,73	1.963,18
27	1.487,60	1.811,03	2.156,03
28	1.615,59	1.961,37	2.329,01
29	1.689,56	2.040,90	2.412,17
30	1.640,72	1.961,24	2.295,21

OBRA C

spt 1 kN		
prof	70	80
1	27,33	32,37
2	41,63	48,71
3	69,18	80,19
4	93,55	111,19
5	108,97	132,34
6	142,81	168,65
7	183,97	217,11
8	227,23	266,54
9	242,61	291,57
10	320,50	375,61
11	386,83	468,88
12	508,92	597,01
13	527,54	633,20
14	558,18	666,44
15	611,09	728,48
16	647,83	769,67
17	702,82	833,97
18	704,41	829,52
19	717,40	841,49
20	828,60	980,27
21	988,48	1.180,43
22	1.173,05	1.411,77
23	1.489,97	1.805,52
24	1.741,78	2.107,96
25	1.960,90	2.365,98
26	2.177,02	2.618,26
27	2.404,17	2.882,97
28	2.619,96	3.130,38

spt 2 kN				
prof	50	60	70	80
1	18,11	22,58	27,33	32,37
2	33,43	40,96	48,78	56,87
3	46,87	59,45	70,40	81,59
4	61,48	76,98	93,55	111,19
5	75,04	97,07	117,60	139,07
6	99,40	128,71	155,93	184,81
7	139,80	173,48	209,07	246,57
8	159,15	204,35	254,00	300,88
9	185,44	236,89	293,12	349,75
10	201,43	255,37	313,87	376,91
11	266,01	341,30	422,02	494,48
12	298,53	380,30	469,42	565,89
13	349,08	444,48	548,41	660,86
14	395,25	501,45	616,70	741,00
15	438,42	554,87	680,91	816,54
16	521,16	664,23	820,24	989,19
17	525,10	661,93	809,37	967,40
18	559,07	703,43	858,63	1.024,69
19	583,88	732,03	890,63	1.059,68
20	666,52	843,61	1.035,30	1.241,58
21	856,13	1.098,72	1.365,11	1.655,29
22	992,04	1.270,17	1.574,87	1.906,14
23	1.121,44	1.432,37	1.772,17	2.140,86
24	1.263,99	1.610,01	1.987,10	2.395,26
25	1.424,55	1.808,47	2.225,40	2.675,32
26	1.566,48	1.980,12	2.427,19	2.907,71
27	1.715,59	2.159,78	2.637,66	3.149,24
28	1.877,29	2.354,86	2.866,45	3.412,08

spt 3
kN

prof	60	80
1	22,58	32,37
2	34,83	48,71
3	52,32	72,02
4	67,73	95,34
5	78,81	116,77
6	88,95	133,43
7	117,33	173,57
8	172,15	247,38
9	242,65	349,36
10	324,76	461,96
11	368,59	546,22
12	388,39	573,58
13	409,46	596,75
14	441,53	641,01
15	541,77	798,24
16	532,40	764,48
17	594,89	857,37
18	583,48	825,75
19	677,94	980,63
20	776,66	1.138,57
21	955,59	1.427,28
22	1.026,31	1.522,22
23	1.166,23	1.739,42
24	1.298,49	1.928,98
25	1.425,66	2.110,45
26	1.568,13	2.317,56
27	1.757,74	2.590,27
28	1.952,64	2.863,23
29	2.122,35	3.092,65
30	2.307,52	3.345,04

spt 4
kN

prof	50	70	80
1	18,11	27,33	32,37
2	28,32	41,63	48,71
3	44,07	64,34	75,04
4	72,30	111,42	131,04
5	84,48	136,70	162,05
6	109,78	168,01	197,84
7	122,84	194,74	235,57
8	151,03	239,72	280,70
9	158,02	244,45	292,64
10	190,67	298,16	358,59
11	227,08	355,98	428,59
12	247,28	382,19	457,35
13	269,11	412,08	491,13
14	288,83	438,98	521,47
15	329,40	503,80	600,14
16	337,77	507,49	599,77
17	367,77	552,74	653,34
18	368,31	543,85	637,66
19	426,48	644,14	763,05
20	491,39	756,36	903,51
21	666,34	1.072,16	1.274,65
22	797,32	1.281,53	1.559,05
23	917,77	1.466,19	1.779,25
24	1.045,46	1.663,74	2.015,76
25	1.204,71	1.905,02	2.301,98
26	1.359,68	2.132,86	2.568,58
27	1.520,84	2.361,23	2.831,15
28	1.680,58	2.588,30	3.092,62

spt 5
kN

prof	60	70	80
1	22,58	27,33	32,37
2	34,83	41,63	48,71
3	59,01	69,95	81,20
4	83,41	101,51	120,80
5	101,73	125,18	147,98
6	124,31	150,88	177,22
7	134,83	166,18	200,06
8	170,42	211,02	249,45
9	194,52	239,81	288,77
10	232,82	287,45	346,61
11	290,74	360,16	423,64
12	324,56	399,94	481,41
13	390,67	482,45	581,85
14	439,27	540,50	649,74
15	502,07	617,41	741,80
16	584,11	718,39	863,23
17	586,10	712,47	847,04
18	632,30	766,99	910,06
19	615,05	737,60	865,87
20	702,68	851,22	1.008,75
21	989,05	1.228,77	1.489,87
22	1.193,70	1.484,80	1.802,22
23	1.379,04	1.705,09	2.058,63
24	1.540,95	1.900,86	2.290,22
25	1.725,09	2.123,54	2.553,68
26	1.927,64	2.365,63	2.836,96
27	2.113,23	2.582,66	3.085,59
28	2.305,61	2.807,11	3.342,10
29	2.520,66	3.059,89	3.633,15
30	2.708,12	3.278,59	3.883,10

spt 6
kN

prof	70	80
1	27,33	32,37
2	41,63	48,71
3	69,18	80,19
4	88,77	104,91
5	102,52	123,64
6	132,02	156,32
7	179,92	212,99
8	229,15	269,25
9	244,18	293,62
10	316,56	370,46
11	332,62	399,01
12	369,34	441,91
13	378,95	450,13
14	453,97	542,78
15	534,77	641,00
16	572,42	682,71
17	606,05	719,84
18	666,11	791,22
19	761,83	908,52
20	967,27	1.167,04
21	1.203,19	1.461,80
22	1.376,87	1.669,38
23	1.579,84	1.914,64
24	1.814,53	2.193,98
25	2.054,00	2.475,71
26	2.282,53	2.740,62
27	2.528,02	3.022,94
28	2.761,15	3.291,74

spt 7
kN

prof	60	80
1	22,58	32,37
2	34,83	48,71
3	58,40	80,19
4	73,92	105,91
5	99,75	143,87
6	130,48	186,13
7	160,25	230,83
8	191,58	276,90
9	210,27	312,10
10	251,70	374,42
11	275,61	405,73
12	331,80	491,64
13	362,11	531,23
14	418,71	615,83
15	470,99	690,75
16	512,63	746,28
17	531,16	762,90
18	569,67	817,06
19	723,79	1.067,42
20	876,22	1.309,48
21	1.004,76	1.506,45
22	1.161,29	1.747,88
23	1.368,18	2.054,10
24	1.585,16	2.363,04
25	1.787,53	2.641,51
26	1.995,14	2.926,17

spt 8
kN

prof	50	80
1	18,11	32,37
2	28,32	48,71
3	51,17	89,37
4	59,23	114,64
5	75,45	140,11
6	96,18	176,56
7	120,63	221,92
8	145,58	267,94
9	162,78	308,45
10	204,88	383,48
11	234,84	445,65
12	268,96	506,12
13	292,48	540,60
14	329,83	609,37
15	375,81	695,45
16	411,30	753,00
17	433,79	779,25
18	448,57	794,43
19	546,14	1.015,10
20	651,46	1.239,67
21	701,80	1.320,40
22	749,42	1.396,99
23	839,32	1.578,73
24	979,83	1.872,65
25	1.138,30	2.166,65
26	1.305,21	2.459,63
27	1.459,00	2.720,42
28	1.609,82	2.975,28

spt 9
kN

prof	50	60
1	18,11	22,58
2	33,43	40,96
3	46,87	59,45
4	55,51	72,18
5	72,12	92,16
6	92,86	118,33
7	116,10	149,06
8	134,50	172,14
9	154,93	197,44
10	192,90	247,00
11	243,63	313,06
12	288,00	368,83
13	332,48	424,07
14	371,22	471,33
15	447,96	571,05
16	495,58	627,80
17	503,65	630,06
18	518,42	643,99
19	538,72	666,78
20	588,94	732,38
21	705,44	890,28
22	790,58	1.000,78
23	905,13	1.152,22
24	1.055,32	1.346,74
25	1.229,67	1.565,82
26	1.400,67	1.775,69
27	1.499,43	1.879,42
28	1.371,49	1.683,04