

**MONITORAMENTO DE RECALQUE PARA ESTIMATIVA DE PARÂMETRO DE
INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA**

Marta Fleichman Prellwitz

Laboratório de Engenharia Civil

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF

Campos dos Goytacazes, 27 de maio 2022

MONITORAMENTO DE RECALQUE PARA ESTIMATIVA DE PARÂMETRO DE INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA

Marta Fleichman Prellwitz

Tese apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Orientador: Paulo César de Almeida Maia

Laboratório de Engenharia Civil

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF

Campos dos Goytacazes, 27 de maio 2022

MONITORAMENTO DE RECALQUE PARA ESTIMATIVA DE PARÂMETRO DE INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA

Marta Fleichman Prellwitz

Tese apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Aprovado em 27 de maio de 2022.

Comissão examinadora:




Prof^o Paulo César de Almeida Maia, Dsc. – UENF/LECIV


Sergio Luis Gonzáles Garcia (Jul 5, 2022 11:21 ADT)


Prof^o. Sergio Luis Gonzáles Garcia, Dsc. – UENF/LECIV



Prof^o. Afonso Rangel Garcez de Azevedo, Dsc. – UENF/LECIV



Prof^o. Mauricio Martines Sales, Dsc. – UFG



Prof^o. Alexandre Duarte Gusmão, Dsc. – UPE/PEC

RESUMO

A interação solo-estrutura (ISE) é definida como a capacidade de uma edificação em absorver e redistribuir as tensões geradas por recalques diferenciais nas fundações, buscando o reequilíbrio estrutural. Conseqüentemente, a ISE influencia na evolução dos recalques de uma fundação e é de grande importância para a previsão de comportamento estrutural. Projetos de fundações, normalmente, desconsideram a ISE, ignorando a influência da rigidez da estrutura e da massa de fundação, durante e após a construção, devido às dificuldades em determinar os parâmetros necessários e característicos que definem esse comportamento. Vários trabalhos, durante a análise da ISE, consideram apenas a fundação no seu modelo, e nestes casos, a superestrutura não é levada em consideração. Portanto, as cargas dos pilares ou cargas e momentos distribuídos são aplicados diretamente na fundação. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo principal expor um parâmetro que possa ser utilizado para estimar os efeitos da interação solo-estrutura, produzindo resultados suficientemente precisos para uso no projeto de rotina. O cálculo deste parâmetro levará em consideração os efeitos da redistribuição de carga devido ao recalque diferencial e a rigidez estrutural. O parâmetro foi desenvolvido a partir de um modelo numérico hipotético simples, e foi aplicado em um estudo de caso, onde foi realizado o monitoramento do recalque durante sua construção. O modelo numérico do estudo de caso considera a interação estrutura-solo por meio de ligações elásticas e representativas da presença do solo e resolve toda a estrutura integrada (fundação + superestrutura). O estudo de caso analisado é uma obra com pequenas magnitudes de recalques medidos, e, portanto, observou-se que o parâmetro desenvolvido nesta obra permitiu uma boa representação do comportamento da estrutura. É possível concluir que, a partir dos resultados analisados, o que está sendo estimado de variação de carga entre os pilares, devido ao processo ISE, com o programa, é semelhante ao que foi observado e estimado com os dados do monitoramento do assentamento.

Palavras-Chave: interação solo-estrutura, monitoramento de recalque, modelagem numérica, redistribuição de carga.

ABSTRACT

Soil-structure interaction is defined as the capacity of a building to absorb and redistribute the tensions generated by differential settlements in the foundations, seeking structural rebalancing. Consequently, the ISE influences the evolution of foundation settlements and is of great importance for predicting structural behavior. From this, foundation designs normally consider the ISE, ignoring the influence of the structure stiffness and the construction structure during and after construction, due to the difficulties in determining the parameters that define this behavior. Several works during the analysis of the ISE consider only the foundation in their model and in these cases the superstructure is not taken into account. Therefore, as powers loads or distributed loads and moments are applied directly to the foundation. In this sense, the main objective of this work is to present a parameter that can be used to estimate the effects of soil-structure interaction, producing sufficiently good results for use in routine design. The differential of this calculation must take into account the effects of load redistribution due to settlement and structural strength. The parameter was developed from a simple hypothetical numerical model, and applied in a case study, where the monitoring of the settlement of its construction was carried out. The numerical model of the case utilization study considers the interaction with soil structure and solves the entire integrated structure (foundation + superstructure). The case study of behavior is a work with small magnitudes of measured settlements, and, therefore, it was observed that the parameter developed for the study of the structure is a good representation of the study of the structure. It is possible to evaluate the load between the pillars, and the results of the tests, what is being estimated, to process I, with the program, is similar to what was observed and estimated with the monitoring data from the settlement.

Keywords: soil-structure interaction, settlement monitoring, numerical modeling, load redistribution.

ÍNDICE

Capítulo 1 – Introdução.....	1
1.1 Considerações iniciais.....	1
1.2 Objetivo	4
1.3 Escopo da pesquisa	5
Capítulo 2 – Revisão bibliográfica	7
2.1 Mecanismo da interação solo-estrutura.....	7
2.2 Rigidez relativa estrutura-solo	11
2.2.1 Número de pavimentos na estrutura	13
2.2.2 Influência da sequência construtiva	14
2.2.3 Forma em planta da edificação.....	15
2.2.4 Edificações vizinhas.....	15
2.3 Modelos de análise da interação solo-estrutura	18
2.4 Acompanhamento do desempenho da estrutura.....	23
Capítulo 3 – Modelagem numérica e metodologia aplicada	27
3.1 Introdução	27
3.2 Modelos do solo	28
3.2.1 Modelos usados para ISE	28
3.2.2 Modelos elásticos	29
3.3 Ferramentas numéricas.....	30
3.4 Modelo numérico utilizado.....	34
3.4.1 Recalque sem efeito de grupo	39
3.4.2 Recalque com efeito de grupo	39
3.5 Metodologia aplicada.....	41
3.5.1 Cálculo das reações na base dos pilares.....	41
3.5.2 Cálculo dos recalques – efeito de grupo e rigidez	41

3.5.3	Cálculo do recalque – método de Randolph (1977).....	42
3.5.4	Indução de recalques reais – monitoramento de recalques.....	43
3.5.5	Indução de recalques – calculados pelo método de Randolph (1977)	44
3.5.6	Cálculo dos parâmetros de interação.....	45
3.5.7	Indução de recalques unitários	45
Capítulo 4	– Caso de estudo	46
4.1	Características gerais.....	46
4.2	Características geotécnicas	46
4.3	Características da estrutura	48
4.4	Pesquisas paralelas	49
4.5	Monitoramento de recalque.....	52
4.5.1	Marco de referência	56
4.5.2	Mapa de instrumentação.....	58
4.5.3	Aquisição de dados.....	58
Capítulo 5	– Parâmetro de Análise da ISE	61
5.1	Parâmetro de Análise	61
5.2	Modelo hipotético	63
5.3	Aplicação do parâmetro no modelo hipotético.....	65
5.4	Comparação com parâmetros da bibliografia.....	69
5.4.1	Fator de recalque absoluto (AR)	69
5.4.2	Fator de recalque diferencial (DR)	69
5.4.3	Coeficiente de variação dos recalques (CV)	70
5.5	Análise do parâmetro	74
Capítulo 6	– Resultados e interpretações	76
6.1	Carga de projeto.....	78
6.2	Modelo considerando ISE – Aoki Lopes.....	81
6.3	Modelo teórico – Randolph (1977)	89

6.4	Validação método Randolph (1977)	89
6.5	Monitoramento de recalque	101
6.6	Análise com parâmetros da bibliografia	104
6.6.1	Recalque absoluto médio	104
6.6.2	Recalque Diferencial	105
6.6.3	Fator de recalque absoluto (AR) e Fator de recalque diferencial (DR)	
	107	
6.6.4	Coeficiente de variação dos recalques (CV)	110
6.6.5	FQ (Barros, 2005)	111
6.6.6	FR (Savaris, 2008)	114
6.7	Modelo induzindo recalque individualmente	118
6.8	Aplicação do fator de rigidez no caso de estudo	118
6.8.1	Monitoramento de recalque vs. recalque unitário induzido	122
6.8.2	Recalque calculados pelo método de Aoki-Lopes (1975) vs.	
	recalque unitário induzido	127
6.8.3	Recalque calculados pelo método de Randolph (1977) vs. recalque	
	unitário induzido	127
	Capítulo 7 – Conclusões e Sugestões	136
	Referências Bibliográficas	138
	Anexo A – Sondagens	145
	Anexo B – Carga vs. Recalque Sem e Com ISE	150
	Anexo C – Carga vs. Recalque Após Validação por Randolph para Todos os	
	Pilares	190
	Anexo D – Monitoramento de Recalque	211
	Anexo E – Isocurvas dos Dados e Resultados	215
	Anexo E.1 – Recalque Monitorado	215
	Anexo E.2 – Recalque Diferencial	224
	Anexo E.3 – Carga Após Induzir Recalque Monitorado	230

Anexo E.4 – AR Real.....	239
Anexo E.5 – DR Real.....	245
Anexo E.6 – AR Teórico	251
Anexo E.7 – DR Teórico	257

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Transferência de carga entre os pilares	7
Figura 2.2. Deformada de recalque	8
Figura 2.3. Deformação da fundação calculada com e sem a consideração da superestrutura (adaptado, Apud Small, 2011)	9
Figura 2.4. Recalque x rigidez relativa estrutura-solo (Lopes e Gusmão, 1991)	12
Figura 2.5. Efeitos de interação (Gusmão, 1994)	13
Figura 2.6. Efeito da sequência de construção nos recalques (Gusmão Filho, 1994)	14
Figura 2.7. Efeitos de construções vizinhas - carregamento simultâneo	16
Figura 2.8. Efeito de construções vizinhas - carregamento não simultâneo	16
Figura 2.9. Efeito de construções vizinhas - terceiro prédio construído entre dois prédios pré-existentes	17
Figura 2.10. Efeito de construções vizinhas - dois prédios construídos ao lado de um já existente	17
Figura 2.11. Fluxo da rotina para interação solo-estrutura (Chamecki, 1956)	20
Figura 2.12. Trabalhos apresentados x ano (Prellwitz, 2018)	25
Figura 2.13. Arranjo esquemático de medida de recalques com uso de nivelamento ótico (Russo Neto, 2005)	26
Figura 2.14. Disposição geral da utilização de um sistema de vasos comunicantes para medição de recalques (Barros, 2005)	26
Figura 3.1. a) processo de condensação da estrutura usando simulação de elementos finitos, considerando a resposta vertical de carga e recalque (Leung et al. 2010a). b) representação esquemática da fundação (Leung, 2017)	31
Figura 3.2. Modelo de equilíbrio superestrutura e fundação (Aoki e Cintra, 2004)	32
Figura 3.3. Modelo de equilíbrio estrutura e maciço de solos (Aoki e Cintra, 2004)	32
Figura 3.4. Modelo equilíbrio do sistema global (Aoki e Cintra, 2004)	33
Figura 3.5. Comparação dos modelos utilizados nas análises no software (Manual software TQS)	34
Figura 3.6. Fluxograma geral de processamento e transferência de dados (Manual software TQS)	37
Figura 3.7. Representação da estaca (Manual software TQS)	38
Figura 3.8. Cálculo de recalque sem efeito de grupo (Manual software TQS)	40

Figura 3.9. Cálculo de recalque com efeito de grupo (Manual software TQS)	40
Figura 3.10. Representação da fundação e discretização das estacas (Manual software TQS)	42
Figura 3.11. Mapa de instrumentação, pontos monitorados e estimados	44
Figura 4.1. Edifício analisado no trabalho	47
Figura 4.2. Locação dos furos de sondagem realizados	47
Figura 4.3. Perfil geotécnico.....	48
Figura 4.4. Detalhes do instrumento instalado no campo	50
Figura 4.5. Corte apresentando detalhes do instrumento	50
Figura 4.6. Projeto de montagem do medidor de deformação	51
Figura 4.7. Sistema de monitoramento de recalque desenvolvido por Prellwitz (2015)	53
Figura 4.8. Novo instrumento desenvolvido neste trabalho.....	54
Figura 4.9. Instrumento instalado no laboratório.	55
Figura 4.10. Leitura de recalque do ensaio no laboratório	55
Figura 4.11. Referência de nível profunda (Alonso, 211)	57
Figura 4.12. Corte transversal do marco de referência	57
Figura 4.13. Subdivisão das linhas contendo os pilares que serão monitorados	58
Figura 5.1. Pilar deslocado e simbologia utilizada na equação	63
Figura 5.2. Esquema tridimensional do modelo	64
Figura 5.3. Planta de forma estrutural do pavimento.....	65
Figura 5.4. Deformação distorcional.....	66
Figura 5.5. Deformada de recalque aplicadas no modelo	66
Figura 5.6. Variação do fator de rigidez com a distorção angular	67
Figura 5.7. Isocurvas para todas os recalques distorcionais analisados	68
Figura 5.8. Isocurvas de AR	71
Figura 5.9. Isocurvas de DR.....	72
Figura 5.10. Isocurvas de FQ.....	73
Figura 5.11. Variação do fator de rigidez com os recalques distorcionais analisados	74
Figura 5.12. Variação do fator de rigidez com a carga sem considerar ISE.....	75
Figura 6.1. Fluxograma das simulações analisadas.....	77
Figura 6.2. Divisão dos setores no caso de obra	78
Figura 6.3. Curva carga vs tempo do pilar P1, corpo do prédio - setor periférico.....	82

Figura 6.4. Curva carga vs tempo do pilar P88, corpo do prédio - setor periférico....	82
Figura 6.5. Curva carga vs tempo do pilar P15, corpo do prédio - setor intermediário	83
Figura 6.6. Curva carga vs tempo do pilar P130, corpo do prédio - setor intermediário	83
Figura 6.7. Curva carga vs tempo do pilar P26, corpo do prédio - setor central	84
Figura 6.8. Curva carga vs tempo do pilar P29, corpo do prédio - setor central	84
Figura 6.9. Curva carga vs tempo do pilar P102, garagem	85
Figura 6.10. Curva carga vs tempo do pilar P114, garagem	85
Figura 6.11. Curva carga vs tempo do pilar P120, garagem	86
Figura 6.12. Curva carga vs tempo do pilar P122, garagem	86
Figura 6.13. Curva carga vs tempo do pilar P127, garagem	87
Figura 6.14. Curva carga vs tempo do pilar P140, garagem	87
Figura 6.15. Curva carga vs tempo do pilar P141, garagem	88
Figura 6.16. Curva carga vs tempo do pilar P147, garagem	88
Figura 6.17. Recalques estimados por Randolph (1977) e validados vs. recalques medidos - Setor Periférico	91
Figura 6.18. Recalques estimados por Randolph (1977) e validados vs. recalques medidos - Setor Intermediário	92
Figura 6.19. Recalques estimados por Randolph (1977) e validados vs. recalques medidos – Setor Central	93
Figura 6.20. Curva carga vs tempo por diferentes metodologias do pilar P3	95
Figura 6.21. Curva carga vs tempo por diferentes metodologias do pilar P36	95
Figura 6.22. Curva carga vs tempo por diferentes metodologias do pilar P14	96
Figura 6.23. Curva carga vs tempo por diferentes metodologias do pilar P128	96
Figura 6.24. Curva carga vs tempo por diferentes metodologias do pilar P26	97
Figura 6.25. Curva carga vs tempo por diferentes metodologias do pilar P30	97
Figura 6.26. Curva carga vs tempo por diferentes metodologias do pilar P110	98
Figura 6.27. Curva carga vs tempo por diferentes metodologias do pilar P141	98
Figura 6.28. Pilares destacados devido ao seu comportamento	99
Figura 6.29. Curva carga vs tempo do pilar P119 - pilares destacados	99
Figura 6.30. Curva carga vs tempo do pilar P120 - pilares destacados	100
Figura 6.31. Curva carga vs tempo do pilar P122 - pilares destacados	100
Figura 6.32. Curva carga vs tempo do pilar P125 - pilares destacados	101

Figura 6.33. Isocurva do recalque monitorado - Tempo - 296 dias (4º pavimento) .	102
Figura 6.34. Isocurva do recalque monitorado - Tempo - 401 dias (8º pavimento) .	102
Figura 6.35. Isocurva do recalque monitorado - Tempo - 468 dias (12º pavimento)	
.....	103
Figura 6.36. Isocurva do recalque monitorado - Tempo - 538 dias (16º pavimento)	
.....	103
Figura 6.37. Recalque médio com o tempo de todos os modelos analisados.....	104
Figura 6.38. Recalque diferencial máximo e médio.....	105
Figura 6.39. Recalque diferencial comparado com referências da bibliografia	106
Figura 6.40. Isocurvas de AR - Tempo - 296 dias (4º pavimento).....	107
Figura 6.41. Isocurvas de AR - Tempo - 401 dias (8º pavimento).....	108
Figura 6.42. Isocurvas de AR - Tempo - 468 dias (12º pavimento).....	108
Figura 6.43. Isocurvas de AR - Tempo - 621 dias (20º pavimento).....	108
Figura 6.44. Isocurvas de DR - Tempo - 296 dias (4º pavimento).....	109
Figura 6.45. Isocurvas de DR - Tempo - 401 dias (8º pavimento).....	109
Figura 6.46. Isocurvas de DR - Tempo - 468 dias (12º pavimento).....	109
Figura 6.47. Isocurvas de DR - Tempo - 538 dias (16º pavimento).....	110
Figura 6.48. Isocurvas de DR - Tempo - 621 dias (20º pavimento).....	110
Figura 6.49. Coeficiente de variação do recalque absoluto com o tempo	111
Figura 6.50. Comparação do coeficiente de variação do recalque absoluto deste trabalho com alguns da bibliografia	112
Figura 6.51. Análise do FQ (Barros, 2005) para modelo teórico e modelo do monitoramento.....	113
Figura 6.52. Análise do FR (Savaris, 2008) - modelo teórico aplicado nos pilares da periferia.....	115
Figura 6.53. Análise do FR (Savaris, 2008) - modelo monitoramento aplicado nos pilares da periferia	115
Figura 6.54. Análise do FR (Savaris, 2008) - modelo teórico aplicado nos pilares intermediário.....	116
Figura 6.55. Análise do FR (Savaris, 2008) - modelo monitoramento aplicado nos pilares intermediário	116
Figura 6.55. Análise do FR (Savaris, 2008) - modelo teórico aplicado nos pilares centrais	117

Figura 6.56. Análise do FR (Savaris, 2008) - modelo monitoramento aplicado nos pilares centrais	117
Figura 6.58. Curva <i>Fk</i> vs. tempo dos pilares periféricos	119
Figura 6.59. Curva <i>Fk</i> vs. tempo dos pilares intermediário.....	120
Figura 6.60. Curva <i>Fk</i> vs. tempo dos pilares centrais	121
Figura 6.61. Comparação do $F_{k \text{ Monitoramento}} \times F_{k0}$ (deslocamento unitário) - 5º pavimento	123
Figura 6.62. Comparação do $F_{k \text{ Monitoramento}} \times F_{k0}$ (deslocamento unitário) - 10º pavimento	124
Figura 6.63. Comparação do $F_{k \text{ Monitoramento}} \times F_{k0}$ (deslocamento unitário) - 15º pavimento	125
Figura 6.64. Comparação do $F_{k \text{ Monitoramento}} \times F_{k0}$ (deslocamento unitário) - 20º pavimento	126
Figura 6.65. Comparação do $F_{k \text{ Monitoramento}} \times F_{k \text{ ISE}}$ - 5º pavimento	128
Figura 6.66. Comparação do $F_{k \text{ Monitoramento}} \times F_{k \text{ ISE}}$ - 10º pavimento	129
Figura 6.67. Comparação do $F_{k \text{ Monitoramento}} \times F_{k \text{ ISE}}$ - 15º pavimento	130
Figura 6.68. Comparação do $F_{k \text{ Monitoramento}} \times F_{k \text{ ISE}}$ - 20º pavimento	131
Figura 6.69. Comparação do $F_{k \text{ Monitoramento}} \times F_{kR}$ - 5º pavimento	132
Figura 6.70. Comparação do $F_{k \text{ Monitoramento}} \times F_{kR}$ - 10º pavimento	133
Figura 6.71. Comparação do $F_{k \text{ Monitoramento}} \times F_{kR}$ - 15º pavimento	134
Figura 6.72. Comparação do $F_{k \text{ Monitoramento}} \times F_{kR}$ - 20º pavimento	135

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1. Dados retirados para correção da lente	56
Tabela 4.2. Datas das leituras de recalque realizadas e as respectivas atividades realizadas até o momento	60
Tabela 5.1. Deformações distorciais estabelecidas e recalques	66
Tabela 6.1. Cargas permanentes e acidentais - Modelo VI (parte 1)	79

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AR	Fator de recalque absoluto;
β	Distorção angular;
COBRAMSEG	Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica;
CRH	Coeficiente de reação horizontal;
CRV	Coeficiente de reação vertical;
CV	Coeficiente de variação dos recalques;
DR	Fator de recalque diferencial;
Dx	Translações no eixo x;
Dy	Translações no eixo y;
Dz	Translações no eixo z;
L	Comprimento da estaca;
ΔL	Distância entre pontos;
ΔQ	Variação de carga no pilar;
ΔQ_j	Variação de carga no pilar j devido ao recalque induzido;
Δw	Recalque diferencial;
δ	Vetor de recalques na base da estrutura;
$\delta_{s,b}^j$	Parcela de recalque na base da estaca i devido à ação de forças da base da estaca j do bloco;
$\delta_{s,f}^j$	Parcela de recalque na base da estaca i devido à ação de forças de fuste da estaca j do bloco;
δ_s^i	Recalque total da base da estaca i;
E	Módulo de elasticidade do solo;
e	Número de estacas do grupo;
$E_a I_a$	Rigidez dos painéis de alvenaria;
E_c	Módulo de elasticidade do material da estrutura;
$E_c I$	Rigidez da viga equivalente;
$E_c I_v$	Rigidez das vigas da estrutura;
E_{estaca}	Módulo de elasticidade da estaca;
$E_{estimado}$	Módulo de elasticidade da estaca estimado;
ELS	Estado de limite de serviço;
ELU	Estado de limite útil;

E_p	Módulo de Young do material da estaca;
E_{sup}	Módulo de elasticidade da superestrutura;
F_k	Fator de influência;
Fk_0	Deslocamento unitário dos pilares;
Fk_{monit}	Recalque do monitoramento de recalque;
FM	Matriz de flexibilidade da fundação ou matriz de fator de influência do solo;
FQ	Coefficiente de redistribuição de carga;
F_x	Força normal;
F_y, F_z	Forças cortantes;
\bar{G}	Módulo cisalhante médio do solo no trecho penetrado pela estaca;
G_b	Módulo cisalhante abaixo da ponta da estaca
GL	Módulo cisalhante do maciço no trecho do fuste próximo da ponta;
G_L	Módulo cisalhante do solo a uma profundidade $Z = L$;
GP	Módulo cisalhante do maciço abaixo da ponta da estaca;
$G1$	Garagem 1;
$G2$	Garagem 2;
$G3$	Garagem 3;
θ_x	Rotação no eixo x;
θ_y	Rotação no eixo y;
θ_z	Rotação no eixo z;
I	Inércia da seção transversal de cada viga;
I_b	Momento de inércia da viga típica;
ISE	Interação solo-estrutura;
K_e	Rigidez da superestrutura;
K_S	Rigidez do solo;
K_{SS}	Rigidez relativa estrutura-solo;
k	Parâmetro da equação 3.1;
$LECIV$	Laboratório de Engenharia Civil;
l	Comprimento do vão entre pilares;
M_x	Momento torsor;
M_y, M_z	Momentos fletores;
$NSPT$	Parâmetro N do ensaio SPT;

n	Número de pavimentos;
PDA	Prova de carga dinâmica;
PEISE	Pórtico espacial com interação solo-estrutura;
P_t	Carga no topo da estaca;
PUC	Pavimento de uso comum;
Q_i	Carga do pilar i estimado através da suposição de apoios indeslocáveis da estrutura;
$Q_{s/ISE_{med}}$	Carga média considerando apoios indeslocáveis;
Q_{ssi}	Carga do pilar i estimado por meio da suposição de apoios indeslocáveis da estrutura;
q	Carregamento aplicado no ponto;
σ	Desvio padrão dos recalques;
r_b	Raio da ponta da estaca;
r_o	Raio da estaca;
SEFE	Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia;
s_i	Espaçamento entre duas estacas;
SISEs	Sistema de integração solo-estrutura;
SM	Matriz de rigidez;
SPT	Standart Penetration Test;
UENF	Universidade Estadual Norte Fluminense;
$\{V\}$	Vetor de reações na base da estrutura;
$\{V_0\}$	Vetor de reações na base da estrutura para o apoio indeslocável;
w	Deslocamento de qualquer ponto situado na superfície do solo;
w_i	Recalque absoluto de apoio i ;
w_{medio}	Recalque absoluto médio;
w_t	Recalque no topo da estaca;
x	Recalque distorcional provocado na estrutura;
2D	Estruturas planas;
3D	Estruturas espaciais.

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As edificações são definidas durante a análise estrutural como sistemas constituídos por três componentes: superestrutura, infraestrutura e terreno de fundação. As superestruturas absorvem as ações geradas pelo peso próprio da estrutura, das sobrecargas e das cargas acidentais, e as transferem para a infraestrutura que, por sua vez, as transferem para o maciço de fundação. O maciço de fundação deve absorver as tensões garantindo uma condição adequada ou satisfatória de estado limite de serviço, sem permitir atingir o estado limite último. O desempenho real de uma edificação é determinado pelo trabalho conjunto dos três componentes.

A fundação é uma infraestrutura que tem a função de transferir a carga da superestrutura para o solo abaixo da fundação, distribuindo na forma de tensão. Segundo Fellenius (2015), o principal requisito para que se tenha um projeto de fundação adequado é que, a mudança de tensão que ocorre devido ao processo de interação solo-estrutura, não dê origem às deformações do solo, de forma que resulte em um recalque da superestrutura em excesso, ou seja, além do que a superestrutura pode tolerar.

Estas deformações, dependendo de sua magnitude, alteram a distribuição dos esforços nas estruturas (edifício, aterro, barragem, túneis, pavimento etc.), podendo causar, desde problemas estéticos, até surgimento de danos (fissuras, trincas, etc.). Tais deformações ocorrem, em maior ou menor grau, dependendo da rigidez, da forma e da intensidade de como as forças são aplicadas. É de fundamental importância o conhecimento do mecanismo de interação solo-estrutura (ISE), sendo necessário investigar as propriedades do solo e do comportamento tensão-deformação. Deve-se, igualmente, conhecer o comportamento dos elementos envolvidos de forma a se obter o entendimento do conjunto, visando projetos econômicos e seguros.

A interação solo-estrutura, apesar da sua importância, é muitas vezes desprezada na maioria dos projetos. Normalmente, o dimensionamento da estrutura é feito considerando seus apoios ou fundações indeslocáveis. O projeto de fundação,

por sua vez, é realizado levando em conta apenas as cargas nos apoios, determinadas pelo projeto estrutural e pelas propriedades do solo. Deste modo, despreza-se a influência da rigidez da estrutura e do maciço de fundação durante, e após a construção.

Uma dificuldade encontrada para a compreensão dos efeitos da interação solo-estrutura em projetos de engenharia é a determinação dos parâmetros necessários e característicos que definem tal comportamento. De fato, as diversidades estruturais e geotécnicas envolvidas em um projeto dificultam, sobremaneira, a inclusão de parâmetros da interação solo-estrutura de forma confiável. É comum o uso de parâmetros simplificados, baseados em apoios elásticos, caracterizados por parâmetros do tipo coeficientes de mola. No contexto atual da engenharia de fundações, com destaque para a brasileira, existem poucos resultados de instrumentação ou de observação de edificações publicados que permitam a definição desses parâmetros de forma correta.

Atualmente, a literatura sobre a interação solo-estrutura tem se estendido com inúmeras pesquisas sobre o assunto, o que demonstra sua crescente evolução na bibliografia. Além de estruturas tipo edifícios, várias categorias de obras vêm sendo estudadas, tais como, construção de túneis nas proximidades de fundações de edifícios, edificações assentes nas proximidades de taludes, estruturas de contenção, pilares de pontes, dentre outras.

Em meio ao segmento, é válido ressaltar os trabalhos de Mota (2008) e de Nascimento (2011). O estudo das respectivas obras com o tema interação solo-estrutura pondera sobre as mais diversas variáveis (propriedades e comportamento dos materiais), tanto no que concerne ao solo, como também às estruturas e às condições de carregamento diversas (ação do vento, sismos, entre outros). A análise do comportamento da ISE, devido às condições de abalos sísmicos, tem sido objeto de muitas pesquisas e estudo, principalmente, no âmbito internacional, uma vez que no Brasil, não se tem a presença de tais fenômenos em graus significativos.

Segundo Kausel (2009), o estudo da interação solo-estrutura teve início no final no século XIX, evoluiu ao longo da primeira metade do século XX, alcançando rápida progressão durante a segunda metade do século XX. Tal avanço foi estimulado pelas demandas da energia nuclear, das indústrias marítimas, pelos surgimentos dos poderosos computadores, das ferramentas de simulação, dos elementos finitos, e pela necessidade de melhoria de conhecimentos e de interferências dos efeitos sísmicos.

As principais metodologias presentes na literatura mundial sobre interação solo-estrutura em edifícios concentram-se na modelagem numérica em escala reduzida (e algumas vezes real) de estruturas aporricadas. Estas estruturas são analisadas como planas (2D) ou espaciais (3D) do ponto de vista estrutural. A modelagem do solo é feita a partir de modelos constitutivos de forma a possibilitar a posterior análise conjunta solo-estrutura por meio da compatibilidade de deformações. Em ambos os casos (2D/3D), utiliza-se, geralmente, instrumentação para obtenção de medidas de recalques visando a obtenção de subsídios experimentais para comparação com as análises numéricas feitas.

Além da mudança nos procedimentos de projeto de estacas, nota-se também, uma grande revolução da informática, com o desenvolvimento dos computadores e o surgimento de técnicas numéricas poderosas, como o método dos elementos finitos e de contorno. Hoje em dia, os métodos computacionais são ferramentas indispensáveis na execução de tarefas e permitem a realização de análises numéricas cada vez mais realistas e confiáveis. No entanto, segundo Poulos (1993) e *apud* Rezende (1995), algumas incertezas sobre a aplicabilidade das ferramentas permanecem, em razão da escassez de casos históricos documentados, em especial, para o modelo de estacas escavadas e escavadas com hélice contínua.

Small (2001) apresenta uma boa proposta para a inclusão da análise de projeto na fase inicial com a consideração da interação solo-estrutura. Segundo o autor, os métodos de solução e de resolução do problema variam de técnicas simples de cálculo manual, a métodos semi-analíticos e numéricos, os quais exigem análises complexas por computador. Cada tipo de análise tem seu campo de aplicação e, em geral, técnicas simples podem ser usadas nos estágios iniciais do projeto para obter alguma compreensão do comportamento da fundação antes que análises mais complexas sejam realizadas.

Observando a bibliografia técnico-científica, nota-se que a maioria dos estudos experimentais se restringe ao acompanhamento de recalques e que são poucas as informações sobre os carregamentos impostos ao solo. No entanto, o fato é justificável pelas dificuldades inerentes à medida em campo das cargas transmitidas para a fundação, além das limitações na obtenção de dados confiáveis dos recalques ocorridos ao longo do tempo. Todavia, percebe-se na engenharia de fundações brasileira um forte avanço na prescrição de monitoramentos de recalques de fundações, demonstrando que existe a preocupação real sobre o tema.

Por outro lado, as metodologias de avaliação do processo de interação solo-estrutura têm por base a retroanálise de monitoramentos de recalques e, portanto, não permitem uma estimativa desses mecanismos prévios à construção. A questão encontra respaldo pelas limitações na estimativa de recalques, associadas à limitação na estimativa das cargas.

Conclui-se, portanto, que existe uma importante carência de metodologias eficientes para a previsão dos mecanismos de transferência de carga, a fim de que o comportamento estrutural, o qual antecede a construção, seja estimado com mais precisão.

1.2 OBJETIVO

A presente tese visa avaliar o comportamento de interação solo-estrutura das fundações em estacas hélice contínua de um edifício multifamiliar, localizado na cidade de Campos dos Goytacazes, buscando, sobretudo, gerar um instrumento de análise, na forma de um novo parâmetro de ISE, que permita dar informações de como ocorrem as redistribuições de carga e, conseqüentemente, os recalques da edificação sob o ponto de vista de deformações distorcionais.

Para tal, pretende-se fazer uma avaliação do processo de interação solo-estrutura com ênfase no comportamento das fundações, a partir da observação dos recalques distorcionais e da modelagem do processo de transferência de carga, entre os elementos da própria estrutura, que ocorrem durante a construção da edificação. Constam da avaliação, as diferentes hipóteses de condições de engastamento dos apoios, a influência da rigidez da estrutura e o conjunto solo-fundação no mecanismo da interação solo-estrutura.

A tese apresenta uma modelagem numérica tridimensional do processo executivo da superestrutura e da infraestrutura (fundação, bloco etc.) para quantificar as variações das cargas nas fundações durante a construção e aborda o monitoramento dos recalques dos pilares no nível térreo, considerando o mesmo recalque das fundações. Como ferramenta, foi utilizado um sistema de monitoramento que vem sendo desenvolvido pelo grupo de pesquisas sobre fundações da UENF. A presente tese sugere modificações no sistema com o objetivo de aperfeiçoar o instrumento de medida de deslocamentos no sentido de diminuir os impactos

causados pela rotina da obra nas medições. Para tanto, são propostos novos protocolos de calibração e de validação do sistema.

1.3 ESCOPO DA PESQUISA

A pesquisa realizada discute os efeitos provocados pelo fenômeno interação solo-estrutura, assim como as suas metodologias de análises, e propõe um novo parâmetro a ser utilizado durante a fase de projeto da estrutura, considerando o efeito da ISE na redistribuição de carga entre os pilares.

A tese sugere um aprimoramento na técnica de medidas de recalque por meio de fotogrametria e, a partir da instrumentação proposta, promove uma avaliação da evolução dos recalques e de interação solo-estrutura, em caso de obras.

A apresentação do trabalho é composta por sete capítulos. A introdução, ou seja, o primeiro capítulo contém os objetivos da pesquisa desenvolvida.

O capítulo dois apresenta uma revisão bibliográfica com considerações sobre o mecanismo da interação solo-estrutura e os efeitos que este fenômeno provoca nas estruturas. O conteúdo incluiu a abordagem de um panorama resumido dos modelos de análise sobre a interação solo-estrutura encontrados na bibliografia, desde os primeiros estudos até os mais recentes. Ao final do capítulo, destaca-se uma série de comentários sobre o monitoramento de recalque como ferramenta de avaliação de desempenho de estrutura, um levantamento dos trabalhos realizados com análise da interação solo-estrutura por meio do monitoramento de recalque e as metodologias mais consagradas e utilizadas para a realização do controle de recalque durante a construção.

No capítulo três é apresentada uma revisão sobre os conceitos e as ferramentas numéricas utilizadas para análise da interação solo-estrutura. Os destaques são para o modelo numérico utilizado na tese, assim como para a metodologia aplicada durante todo o conteúdo. A metodologia consiste no modelo numérico adotado e os passos utilizados para a obtenção das devidas análises.

O capítulo quatro apresenta o caso de obra utilizado para desenvolvimento da pesquisa e apresenta o sistema de monitoramento de recalque aprimorado e utilizado no trabalho.

No capítulo cinco é desenvolvido o parâmetro de análise da interação solo-estrutura, assim como, a aplicação do mesmo parâmetro em comparação com os parâmetros já consagrados na bibliografia.

O capítulo seis discorre sobre os resultados obtidos em termos de cargas e recalque, assim como sobre a aplicação dos respectivos resultados nos parâmetros consagrados na bibliografia e no desenvolvido neste trabalho.

O encerramento da tese encontra-se no capítulo sete com a apresentação das principais conclusões, onde estão as propostas e as recomendações para futuras pesquisas de acordo com os principais resultados.

Ao final, constam os anexos com os resultados das variações de carga e recalque, com o tempo para pilar da obra e as isocurvas dos parâmetros analisados.

Capítulo 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O capítulo inicial trata da revisão bibliográfica sobre o fenômeno da interação solo-estrutura (ISE), onde são abordadas as metodologias existentes para o estudo e a análise do comportamento da estrutura, assim como os efeitos que o fenômeno provoca na própria estrutura. Para a pesquisa bibliográfica, deu-se ênfase maior nos trabalhos ligados à interação solo-estrutura e ao acompanhamento de desempenho estrutural em edifícios com fundações profundas, já que este é o objetivo principal da tese.

2.1 MECANISMO DA INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA E SEUS EFEITOS

Em uma estrutura, as cargas transmitidas para cada pilar são proporcionais à capacidade de carga da fundação de cada pilar. As fundações, ao receberem o carregamento, acabam sofrendo recalques para que seja possível a ocorrência de mobilização de resistência. Dentre os recalques sofridos pelas fundações da estrutura, os pilares menos carregados, pela teoria, sofrem recalques menores enquanto os pilares mais carregados sofrem recalques maiores (Figura 2.1).

O mecanismo da interação solo-estrutura (ISE) faz com que haja uma transferência de carga, na maioria das vezes, entre os pilares centrais (mais carregados) para os pilares de periferia (menos carregados); com isso, os pilares de periferias recebem um acréscimo de cargas, diferentemente do que foi projetado, onde, portanto, o recalque medido no local é maior do que o recalque estimado, convencionalmente.

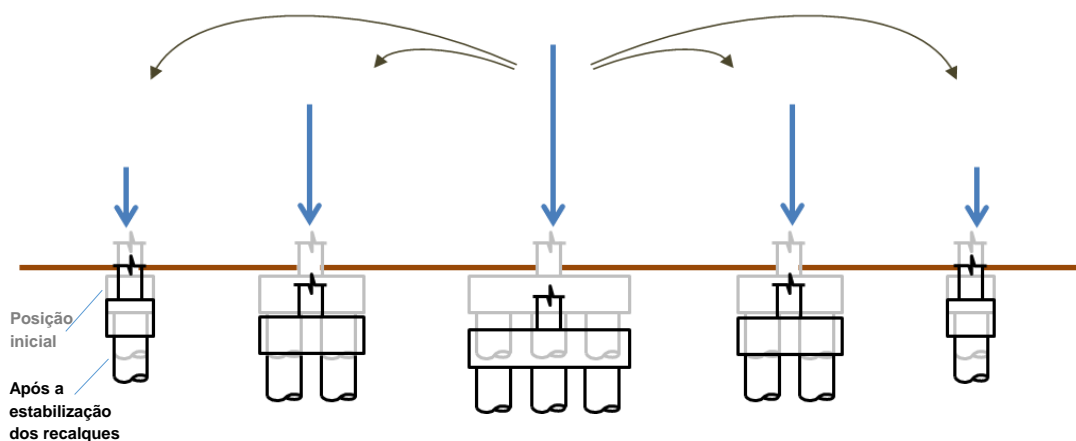


Figura 2.1. Transferência de carga entre os pilares

Nos pilares mais carregados (região central do edifício) ocorre o inverso; um alívio de carga que provoca a diminuição dos recalques previstos. Assim, a deformada de recalques torna-se mais suave, apesar do recalque médio dos pilares ser o mesmo (Gusmão e Gusmão Filho, 1994). Em geral, a deformada apresenta um formato côncavo, pelo fato de que, em muitos prédios, as cargas centrais são maiores do que as da periferia, ou seja, têm a curvatura voltada para cima (Figura 2.2).

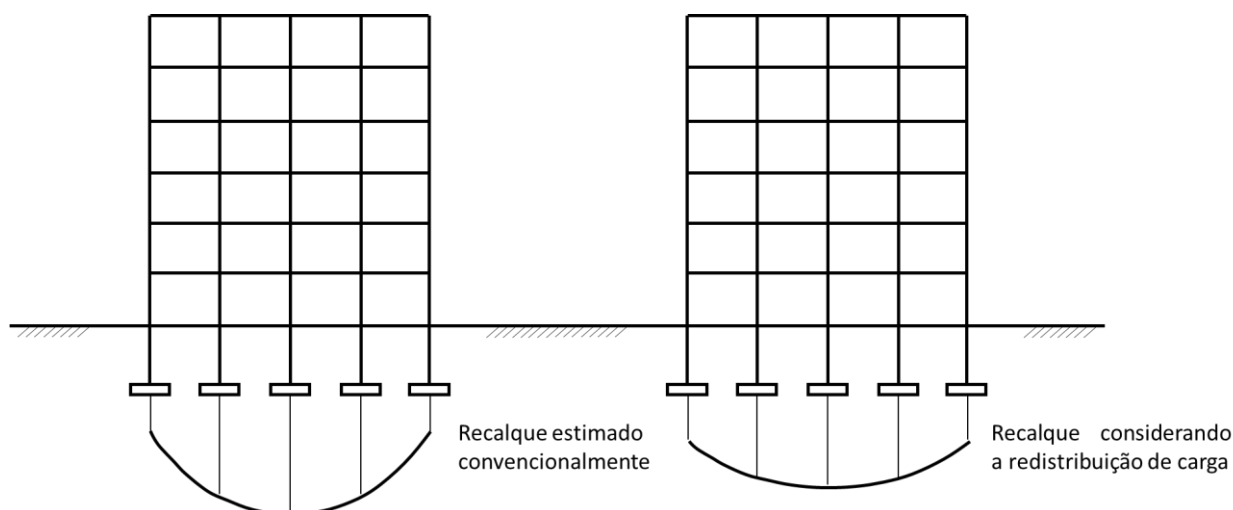


Figura 2.2. Deformada de recalque

A interação solo-estrutura (ISE) é definida como a capacidade de uma edificação em absorver e redistribuir as tensões geradas por recalques diferenciais nas fundações, na busca do reequilíbrio estrutural. Por essa razão, além de influenciar na evolução dos recalques de uma fundação, tem grande importância para a previsão de comportamento estrutural. De forma geral, os projetos de fundação desconsideram a influência da ISE, assim como a redistribuição de tensões, desprezando a influência da rigidez da estrutura e do maciço de fundação, durante, e após a construção.

Existem trabalhos que, durante a análise da ISE, consideram apenas a fundação no seu modelo. Em casos assim, a rigidez da superestrutura não é levada em consideração e as cargas dos pilares, ou cargas e momentos distribuídos, são aplicados diretamente na fundação. Quando a estrutura possui elementos extremamente rígidos, como paredes de cisalhamento, os elementos se comportarão de maneira rígida, atraindo momento e permitindo pouca deflexão diferencial na região do elemento em questão. Vários pesquisadores examinaram os efeitos de

superestruturas, sem considerar a superestrutura, concluindo que são estruturas que não se comportam de maneira muito rígida (Lee e Brown, 1972; Brown e Yu, 1986).

Fraser e Wardle (1975) apresentaram resultados para uma estrutura formada por um quadro de dois pavimentos, onde demonstraram que as deflexões diferenciais dependiam da rigidez da estrutura. Brown (1975) apontou que, para uma fundação, sob uma estrutura bidimensional, a rigidez relativa da estrutura afetaria o deslocamento diferencial da fundação. Zhang e Small (1994) analisaram prédios tridimensionais com fundações associadas à estrutura e demonstraram que quanto maior a rigidez relativa da estrutura da edificação, menores são as deflexões diferenciais nas fundações. Brown e Yu (1986) também mostraram que, à medida que um edifício é construído, a rigidez da estrutura geral aumenta afetando o deslocamento diferencial na fundação. Gusmão Filho e Guimarães (1997) também analisaram a sequência de construção e observaram que as cargas nas colunas atingem um valor máximo (ou mínimo) à medida que mais andares são adicionados ao edifício, levando à ideia de que o edifício atinja uma rigidez limite.

Segundo Small (2001), um exemplo que mostra como a incorporação da rigidez da estrutura na análise pode melhorar o comportamento previsto de uma fundação, foi apresentado por Lopes e Gusmão (1991). Para uma estrutura de 15 andares no Brasil, a distribuição de recalque mostrou-se mais perto do previsto quando a rigidez da estrutura foi incluída na análise de recalques (Figura 2.3).

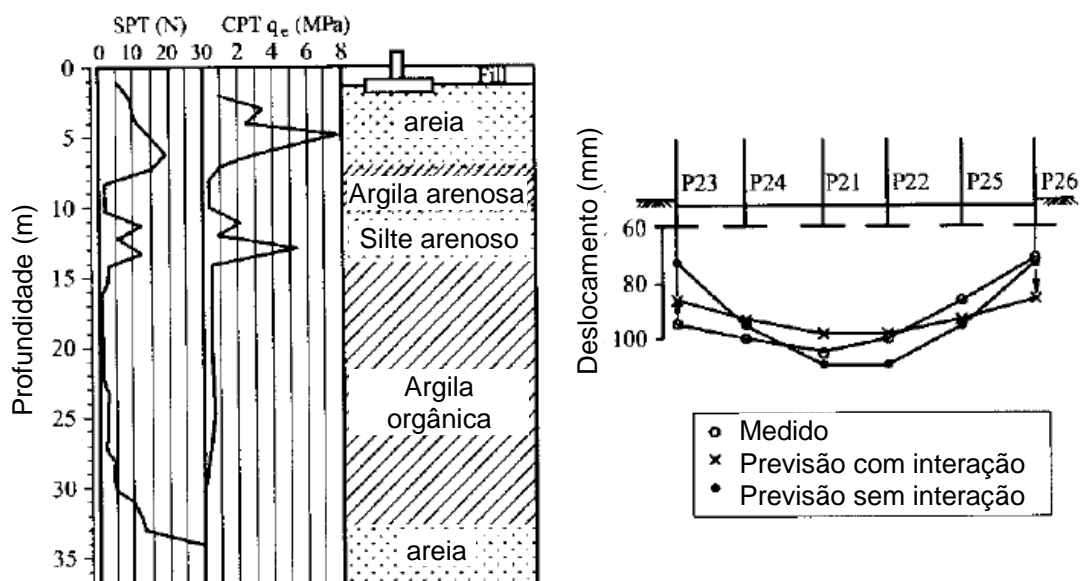


Figura 2.3. Deformação da fundação calculada com e sem a consideração da superestrutura (adaptado, Apud Small, 2011)

Estudos demonstram que um dos efeitos mais importantes da ISE é a redistribuição das cargas nos pilares da superestrutura. Em cada estágio da construção atinge-se uma nova configuração de equilíbrio no sistema solo-estrutura, a qual é acompanhada de uma deformada de recalques e de uma redistribuição das cargas nos pilares. Diversos trabalhos apresentam análises do comportamento de redistribuição de esforços nos elementos estruturais, e em especial, nas cargas dos pilares (Goschy, 1978; Gusmão e Lopes, 1990 e 1994; Gusmão e Gusmão Filho, 1994a e 1994b; Gusmão Filho, 1995; Moura, 1995; Danziger *et al.*, 1997).

A ligação entre os elementos estruturais é um aspecto relevante da ISE, pois resulta em uma considerável rigidez capaz de restringir o movimento relativo entre os apoios. Por isso, geralmente, os recalques diferenciais medidos nas próprias construções são menores do que os estimados (Meyerhof, 1953; Gusmão, 1990; Lopes e Gusmão, 1991).

Em virtude da estimativa dos recalques, feita com os métodos convencionais não levar em conta a rigidez estrutural, os métodos entendidos são aqueles que não consideram a interação. Ademais, quando é feita uma análise incremental no número de pavimentos, verifica-se que a rigidez da estrutura atinge um valor limite nos primeiros pavimentos, a partir do qual o recalque absoluto médio é função apenas do carregamento (Crespo, 2004).

Gusmão (1990) apresenta uma análise qualitativa e quantitativa dos principais fatores que influenciam o mecanismo de interação solo-estrutura em edificações, e a sua repercussão no desempenho delas, por meio de um estudo paramétrico. Por meio da utilização de um modelo proposto por Poulos (1975), que considera a edificação (superestrutura, infraestrutura e solo onde a fundação está assente) como um sistema único, o autor observou que há um aumento dos recalques absolutos decorrente do aumento das cargas nos pilares. À medida que a construção progredia, a rigidez da estrutura também aumentava e os recalques tendiam a se uniformizar ocorrendo assim uma redistribuição de cargas entre os pilares.

Sendo assim, é possível considerar três fatores importantes influentes na interação solo-estrutura: rigidez relativa estrutura-solo, número de pavimentos e influência da sequência construtiva. Segundo Santos (2016), há ainda, dois fatores importantes e pertinentes: o efeito das alvenarias na rigidez global da estrutura e o efeito tridimensional de pórtico.

2.2 RIGIDEZ RELATIVA ESTRUTURA-SOLO

A vinculação física entre lajes, vigas e pilares promove considerável rigidez ao edifício, tornando os recalques diferenciais mais amenos e a deformada mais suave.

A partir dos trabalhos de Meyerhof (1953), Goschy (1978), Barata (1986) e Gusmão (1990), é possível observar que a intensidade da redistribuição dos carregamentos, ou seja, o desempenho da estrutura é governado pela rigidez da estrutura e das características de deformabilidade do solo (rigidez estrutura-solo). Lopes e Gusmão (1991), Gusmão e Gusmão Filho (1994) apontam, diretamente, que a rigidez relativa solo-estrutura influencia a magnitude do recalque.

Para avaliar a ordem de grandeza dos recalques, Lopes e Gusmão (1991) analisaram o comportamento de um pórtico, modelado como edifício de concreto armado, apoiado sobre meio elástico, propondo, assim, o cálculo do parâmetro rigidez relativa estrutura-solo (K_{SS}), conforme a Equação 2.1:

$$K_{SS} = \frac{E_C \cdot I_b}{E \cdot l^4} \quad 2.1$$

onde, E_C é o módulo de elasticidade do material da estrutura; E é o módulo de elasticidade do solo; I_b é o Momento de inércia da viga típica; e l é o comprimento do vão entre pilares.

Ou seja, a rigidez relativa, melhor definida por Meyerhof (1953), pode ser entendida como a relação entre a rigidez do solo e a rigidez da superestrutura, conforme a Equação 2.2, a seguir:

$$K_{SS} = \frac{K_e}{K_S} = \frac{n \cdot \sum \frac{E_{sup} \cdot I}{l^4}}{E} \quad 2.2$$

onde, K_S é a rigidez do solo; K_e é a rigidez da superestrutura; K_{SS} é a rigidez relativa estrutura-solo; n é o número de pavimentos; l é o comprimento dos vãos; I é a inércia da seção transversal de cada viga; E_{sup} é o módulo de elasticidade da superestrutura; e E é o módulo de elasticidade do solo.

A viga equivalente, ou típica, utilizada em Lopes e Gusmão (1991), conforme se vê em Meyerhof (1953) para quantificar a rigidez à flexão da superestrutura, trata-se da representação de um pórtico, por meio de uma viga de rigidez igual ao somatório

das rigidezes à flexão de todas as barras que constituem este pórtico. Já a rigidez do maciço de solos é representada pelo módulo de elasticidade da camada compressível.

Confirmando o trabalho desenvolvido por Meyerhof (1953), Lopes e Gusmão (1991) concluíram que o aumento da rigidez relativa estrutura-solo (K_{ss}) reduz os valores dos recalques sendo mais significativa nos recalques diferenciais, conforme a Figura 2.4.

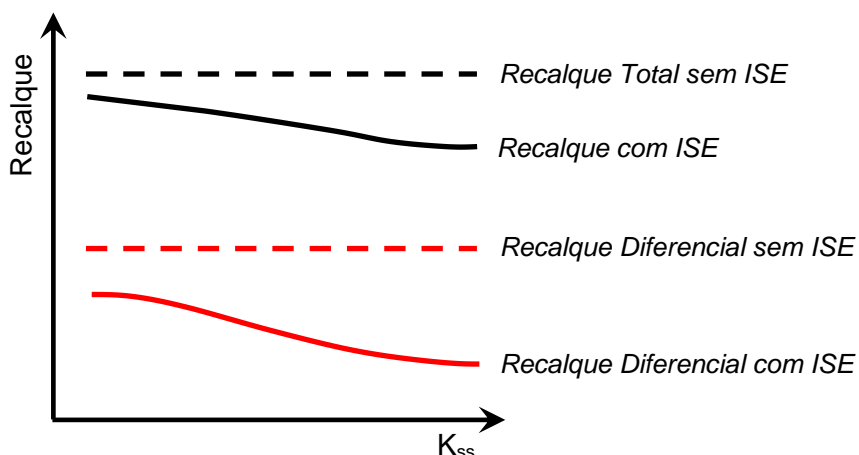


Figura 2.4. Recalque x rigidez relativa estrutura-solo (Lopes e Gusmão, 1991)

Iwamoto (2000) utilizou um procedimento computacional para estudar o comportamento de edifícios. Usou um modelo tridimensional de interação solo-estrutura, que considerava a contribuição da rigidez à flexão das lajes com elementos de vigas e pilares, aliado ao modelo de interação com efeitos de grupo de estacas. Analisando um edifício de 15 pavimentos, verificou que a rigidez da estrutura contribuía para diminuir recalques diferenciais e distorções angulares, tornando-se um fator mais favorável do que tratar estrutura e solo, separadamente. Concluiu, portanto, que os esforços secundários provenientes da interação são maiores nos pavimentos inferiores, mas dependendo da rigidez relativa estrutura-solo, podem, em alguns casos, propagar-se para os pavimentos superiores.

Gusmão (1994) apresenta dois parâmetros com fins comparativos entre considerar, ou não, a interação solo-estrutura: Fator de recalque absoluto AR e Fator de recalque diferencial DR , definidos pelas equações 2.3 e 2.4, a seguir:

$$AR = w_i / w_{medio} \quad 2.3$$

$$DR = [w_i - w_{medio}] / w_{medio}$$

2.4

onde, w_i é o recalque absoluto de apoio i ; e w_{medio} é o recalque absoluto médio.

A partir do uso dos parâmetros citados, o autor apresenta três casos reais de edifícios, comparando-os com resultados estimados, convencionalmente, sem a consideração da rigidez da estrutura e com os resultados medidos no campo. Por meio das comparações, o autor prova que o efeito da interação solo-estrutura tende a uniformizar os recalques da edificação (Figura 2.5).

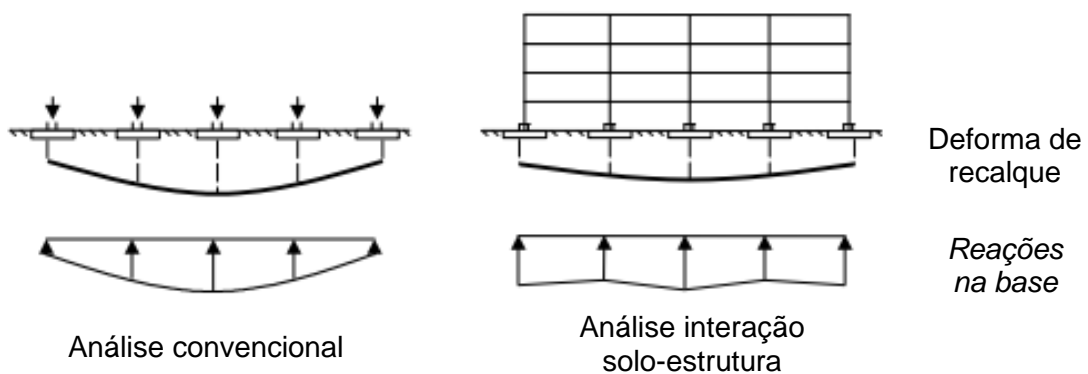


Figura 2.5. Efeitos de interação (Gusmão, 1994)

2.2.1 Número de pavimentos na estrutura

A estrutura global será tanto mais rígida quanto mais alto for um edifício. Todavia, tal comportamento não apresenta linearidade para todo o edifício, ou seja, segundo Goshy (1978), existe uma contribuição maior por parte dos primeiros andares.

Goshy (1978), utilizando a analogia de vigas-parede, observou que quanto maior o número de pavimentos de uma estrutura, maior será sua rigidez na direção vertical. Porém, essa rigidez não cresce linearmente com o número de pavimentos. Percebe-se que há mais influência dos primeiros pavimentos devido ao fato de que as estruturas abertas com painéis, nos planos verticais, comportam-se como vigas paredes. As partes mais baixas da estrutura sofrerão apenas deformações por flexão.

Gusmão e Gusmão Filho (1994) e Gusmão Filho (1995) concluíram que existe uma rigidez limite e que, uma vez atingida essa rigidez limite nos primeiros pavimentos, o aumento do número de andares não altera o valor da parcela de carga no apoio, em razão da interação solo-estrutura. Terminada a redistribuição de carga

nos apoios, por efeito da interação solo-estrutura, os recalques são função apenas do carregamento.

2.2.2 Influência da sequência construtiva

A maior parte dos estudos sobre interação solo-estrutura, segundo Gusmão e Gusmão Filho (1994), assume a hipótese de não haver carregamento durante a construção. Entretanto, a rigidez da estrutura é influenciada por sua altura; a sequência construtiva passa a ser importante na análise das estruturas de edifício que levam em conta a interação solo-estrutura. Os autores observaram que, durante a construção, à medida que cresce o número de pavimentos, ocorre uma tendência à uniformização dos recalques, devido ao aumento da rigidez da estrutura; porém, essa rigidez não cresce linearmente com o número de pavimentos (Figura 2.6).

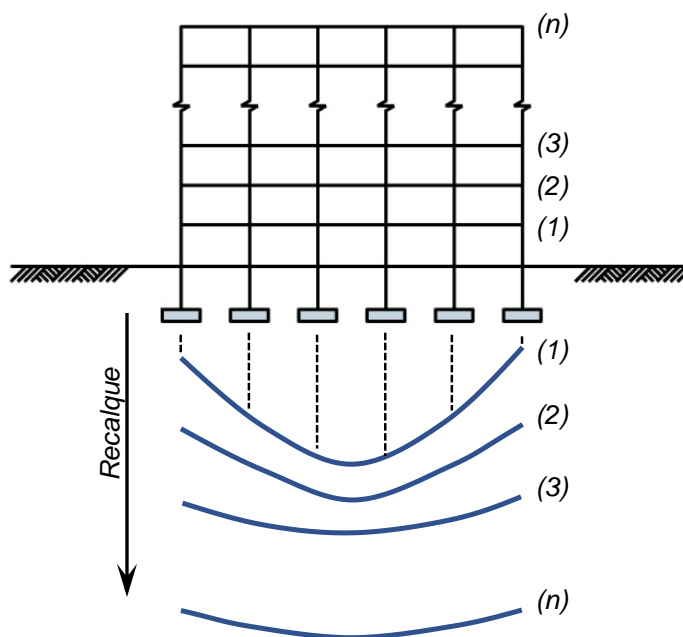


Figura 2.6. Efeito da sequência de construção nos recalques (Gusmão Filho, 1994)

Tais fatores foram confirmados no trabalho de Fonte et al. (1994 a; b), onde o autor apresenta uma comparação entre os resultados dos recalques de fundações em sapatas medidos na obra de um edifício de quatorze andares com as previsões dos modelos numéricos, considerando, ou não, a interação solo-estrutura e os efeitos construtivos. Os resultados indicaram que o modelo que não considera a interação solo-estrutura, superestima a previsão dos recalques diferenciais por não levar em conta a rigidez da estrutura. O modelo que considera a ISE, mas aplica carregamento

instantâneo para a estrutura completa, acaba subestimando a previsão dos recalques, por não considerar o carregamento gradual na estrutura e o acréscimo de rigidez, o que induz a rigidez da estrutura maior que a real.

Os resultados que mais aproximaram com os medidos no campo foram o do modelo que considera os efeitos da ISE e a aplicação gradual de elementos estruturais que faz com que a rigidez dos elementos sofra constantes modificações para cada sequência de carregamento.

Antoniazzi (2011) relata, além dos efeitos apresentados até agora, outros fatores que influenciam na interação solo-estrutura.

2.2.3 Forma em planta da edificação

Trabalhos de monitoramento de recalques em diferentes tipos de edificações indicam uma influência da forma em planta da edificação na tendência à uniformização dos recalques. Para exemplificar, o trabalho de Barata (1986) mostra que, quanto mais próxima de um quadrado for a planta da edificação, maior será essa tendência. Em seu estudo, Gusmão (1990) ressaltou que, para um dado terreno de fundação, o efeito da forma em planta da edificação na tendência à uniformização de recalques, é mais importante em estruturas flexíveis.

2.2.4 Edificações vizinhas

Costa Nunes (1956) foi pioneiro no Brasil na discussão da influência das construções vizinhas na configuração dos recalques e desaprumos de prédios, dividindo os movimentos característicos e os carregamentos vizinhos em quatro tipos, de acordo com a época de construção, considerando prédios parecidos:

- i. Tipo 1 - Prédios vizinhos construídos, simultaneamente. Ocorre uma superposição de tensões na região entre os prédios, induzidas por seus carregamentos. Com isso, uma concentração de tensões é gerada na região e, conseqüentemente, maiores recalques, induzem o tombamento dos prédios em sentidos contrários (Figura 2.7).

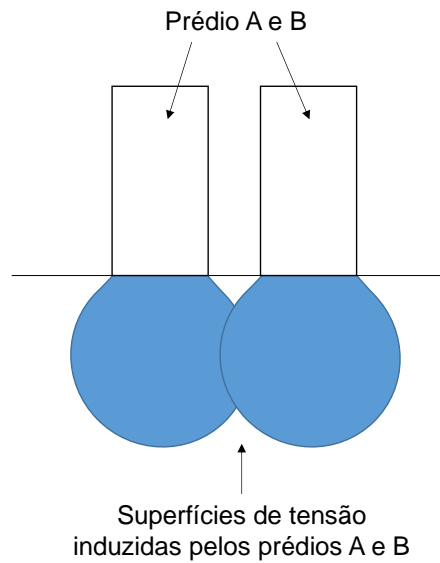


Figura 2.7. Efeitos de construções vizinhas - carregamento simultâneo

- ii. Tipo 2 - Prédios vizinhos construídos em tempos diferentes. O primeiro prédio construído provoca o pré-adensamento do solo sob sua base. Já o prédio construído, posteriormente, gera no maciço um acréscimo de tensões que, quando superpostas, devido ao prédio já existente, induzem um aumento nos recalques. Sendo o segundo prédio executado sobre o solo pré-adensado, os recalques do lado oposto ao vizinho, serão maiores do que os do lado adjacente, de forma que o tombamento dos prédios ocorrerá no mesmo sentido (Figura 2.8).

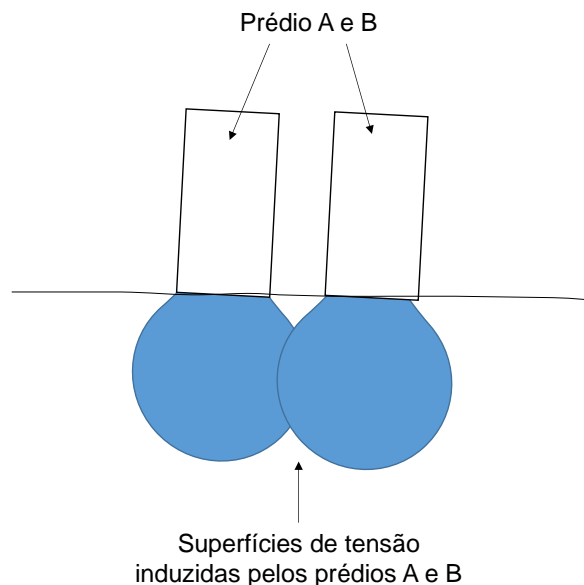


Figura 2.8. Efeito de construções vizinhas - carregamento não simultâneo

- iii. Tipo 3 - Novo prédio construído entre dois já existentes. O prédio construído provoca acréscimo de tensões no maciço, induzindo recalques nos prédios pré-

existentes e, conseqüentemente, seus tombamentos em sentidos contrários. Como o diagrama de tensões do maciço é simétrico em relação ao prédio construído posteriormente, este não sofrerá desaprumos (Figura 2.9).

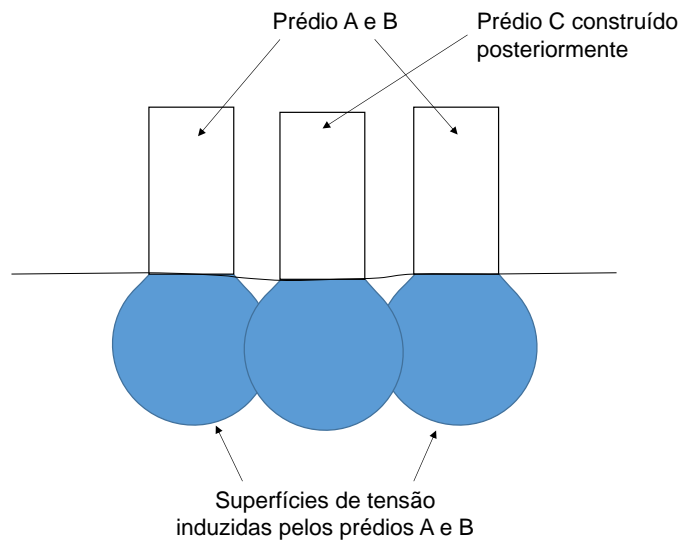


Figura 2.9. Efeito de construções vizinhas - terceiro prédio construído entre dois prédios pré-existentes

iv. Tipo 4 - Construção de dois novos prédios vizinhos entre outro já existente. O prédio construído em primeiro lugar provocará o pré-adensamento do maciço, de forma que os novos prédios, ao serem construídos, sofrerão tombamento em sentidos contrários. O diagrama de tensões será simétrico em relação ao prédio pré-existente, de modo que este não sofrerá desaprumos (Figura 2.10).

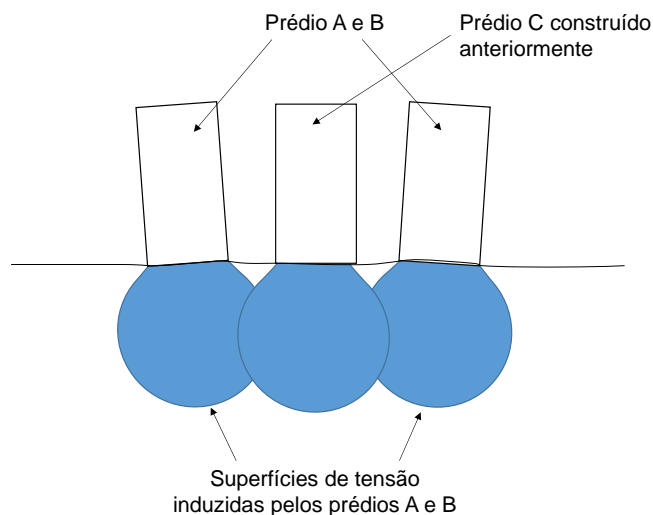


Figura 2.10. Efeito de construções vizinhas - dois prédios construídos ao lado de um já existente

Por meio de um estudo paramétrico entre dois edifícios idênticos e vizinhos, Reis (2000) avaliou os efeitos gerados pela influência de um sobre o outro, variando a distância entre os mesmos de 5, 10, 15 e 20 metros. O cálculo dos recalques mostrou que, considerando a influência do grupo de edifícios, obtêm-se valores maiores do que quando se analisa blocos isolados, com resultados mais expressivos se for utilizada menor distância entre eles (5 metros). O efeito de grupo passa a diminuir à medida que se aumenta a distância entre o ponto de análise de recalques e os blocos vizinhos.

Analisando um bloco isolado e, posteriormente, dois blocos (idênticos ao primeiro) próximos um ao outro, e considerando que ambos os casos se encontravam apoiados em meio elástico, linear e semi-infinito, Ribeiro (2005) obteve resultados que confirmam o trabalho de Reis (2000), onde a influência de um bloco sobre o outro gerou deslocamentos, aproximadamente, 7% maiores que para o bloco isolado.

2.3 MODELOS DE ANÁLISE DA INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA

Diversos estudos têm mostrado que a determinação de esforços e os deslocamentos para o devido dimensionamento de estruturas civis não podem ser feitos levando em consideração a estrutura de forma isolada. É importante que se avalie de forma correta os apoios das estruturas, principalmente, com relação ao processo de interação existente entre o solo e a sua fundação.

Meyerhof (1953) foi um dos primeiros autores a avaliar o efeito da interação solo-estrutura. A análise teve por base, a teoria da elasticidade, tanto para o solo quanto para a estrutura. De acordo com seus resultados, observou que o solo, a infraestrutura e a superestrutura, poderiam ser considerados uma estrutura integrada no cálculo da estimativa de recalques totais e diferenciais dos elementos de fundações, ao preponderar as características do solo e a rigidez da estrutura. O autor também sugeriu a substituição da edificação real por outra mais simples e com rigidez equivalente, simplificando as análises da interação solo-estrutura. Por exemplo, para o caso de um edifício com estrutura em pórtico de concreto e painéis de fechamento em alvenaria, tem-se:

$$E_c I = \sum E_c I_v + \sum E_a I_a \quad 2.5$$

onde, $E_c I$ é a rigidez da viga equivalente; $\sum E_c I_v$ é a somatória da rigidez das vigas da estrutura; $\sum E_a I_a$ é o somatório da rigidez dos painéis de alvenaria.

A expressão acima pode ser estendida para incluir a contribuição da rigidez dos pilares, mas sem considerarem as deformações axiais das mesmas. No caso de uma fundação combinada, a rigidez da fundação é somada à da viga da estrutura. No caso de um conjunto de fundações isoladas, o cálculo de recalques é feito com as fundações ligadas à viga que representa a estrutura.

O autor observou que os recalques diferenciais dependem não apenas dos fatores que governam os recalques totais, mas também do tipo e da rigidez da estrutura, da variação da compressibilidade do solo.

O trabalho de Chamecki (1954) é relatado como a primeira manifestação no Brasil, com tema interação solo-estrutura apresentado no 1º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos. O autor observou que a consideração da rigidez da estrutura, no cálculo dos recalques da fundação, influencia os recalques diferenciais, tornando-os menos acentuados que os calculados por métodos convencionais e mais próximos dos recalques medidos.

Chamecki (1956) propôs uma rotina de cálculo sistematizada para análise da interação solo-estrutura. Por meio de um processo iterativo, sugeriu o cálculo dos recalques da fundação a partir das reações de apoio da estrutura considerada sobre base indeslocável e dos coeficientes de transferência de carga (que é a reação de apoio adicional devido a um recalque unitário de um apoio qualquer). A superestrutura pode ser analisada como sendo elástica linear, com apoios indeslocáveis. A partir das reações de apoio foram calculados os recalques. Os recalques obtidos foram impostos na superestrutura obtendo-se uma nova configuração dos esforços e, conseqüentemente, novas reações de apoio. Para estas reações foram recalculados os recalques e novamente impostos na superestrutura. O processo foi repetido até a convergência nos valores das reações de apoio ou dos recalques (Figura 2.11).

Um dos primeiros estudos do comportamento de estacas, considerando a interação solo-estrutura, deve-se também a Poulos e a Davis (1968), que estudaram o problema de uma estaca cilíndrica incompressível isolada, submetida à ação de carga axial, imersa em meio semi-infinito, isótropo e homogêneo.

Poulos e Davi (1968) apresentaram um trabalho específico para grupo de estacas. Elaboraram um estudo da interação de duas estacas idênticas, com carregamento semelhante. A partir dos resultados obtidos aplicaram um método para

um grupo de estacas, onde foi considerada a superposição elástica da influência de todos os elementos do grupo, tomados sempre dois a dois.

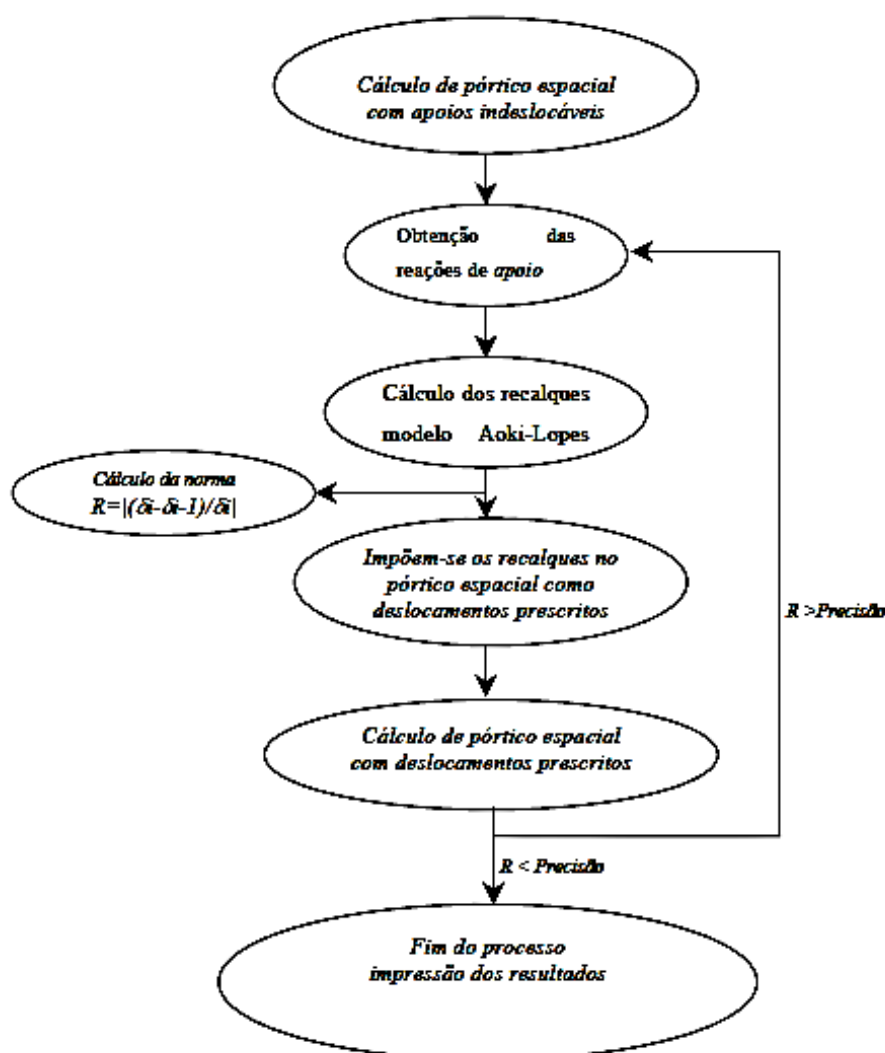


Figura 2.11. Fluxo da rotina para interação solo-estrutura (Chamecki, 1956)

Poulos (1975) apresentou um método para estimativa do recalque de uma fundação, similar ao proposto por Chamecki (1956), na qual a superestrutura, a fundação e o terreno, foram considerados como um sistema único, baseado no cálculo matricial de estruturas, incorporando a interação solo-estrutura. O método utilizou as equações de Mindlin para representar o maciço de solos e discretizando a estaca pelo método das diferenças finitas.

Para a estrutura, temos que:

$$\{V\} = \{V_0\} + [SM]\{\delta\} \quad 2.6$$

onde, $\{V\}$ é o vetor de reações na base da estrutura; $\{V_0\}$ é o vetor de reações na base da estrutura para o apoio indeslocável; $\{\delta\}$ é o vetor de recalques na base da estrutura; $[SM]$ é a matriz de rigidez, determinada pela imposição de deslocamentos unitários para cada direção dos apoios da estrutura.

Para fundações (maciço de solo + estruturas em contato direto com o solo), temos que:

$$\{\delta\} = [FM]\{V\} \quad 2.7$$

onde, $[FM]$ é a matriz de flexibilidade da fundação ou matriz de fator de influência do solo.

A $[FM]$ é a matriz de mesma dimensão da $[SM]$ e é determinada de acordo com o tipo de fundações adotadas. Como na realidade, o recalque de um elemento de fundação não depende apenas da carga aplicada diretamente nele, mas também das cargas aplicadas por outros elementos de fundações vizinhas, a modelagem para determinar a matriz $[FM]$ pode ser obtida pela teoria da elasticidade, onde considera-se a continuidade do solo.

Combinando as equações (2.6) e (2.7), tem-se um sistema que leva em conta a rigidez da estrutura e do solo, em conjunto:

$$\{V\} = \{V_0\} + [SM][FM]\{V\} \quad 2.8$$

$$\{V_0\} = ([I] - [SM][FM])\{V\} \quad 2.9$$

A solução do método fornece as reações de apoio desconhecidas $\{V\}$, e pode-se também determinar os deslocamentos $\{\delta\}$ nos apoios. Considerando-se o modelo tridimensional, e o solo modelado como meio contínuo e perfeitamente elástico, o deslocamento em um apoio pode não depender apenas do seu carregamento, mas também do carregamento dos demais apoios. Os resultados de um estudo paramétrico, realizado por Poulos (1975), em um pórtico plano, mostraram que, em geral, a rigidez da estrutura tende a reduzir os recalques diferenciais.

A aplicabilidade da metodologia de Poulos (1975) pode ser encontrada em Gusmão (1990), Gusmão Filho (1995), Moura (1995), Mendonça (2000) e Weigel *et al.* (1989) e apresenta um programa de computador que pode ser usado para estimar os efeitos da interação solo-estrutura de qualquer estrutura tridimensional sob

fundações isoladas, produzindo resultados suficientemente precisos para uso em projetos de rotina. A entrada de dados necessária consiste em informações de tempo, do solo, informações das camadas, informações das fundações e valores dos coeficientes de transferência de carga.

O método no qual o programa se baseia permite o cálculo de recalques para sistemas estruturais suportados em bases de propagação isoladas (com taxas de comprimento/largura não superiores a 2), ou seja, fundações do tipo superficiais, encontradas em solos arenosos e argilosos em camadas. A determinação de recalques pelo método aplicado levará em consideração os efeitos da redistribuição de carga devido aos recalques diferenciais e rigidez estrutural.

O procedimento básico é formar equações de cálculo de recalque aplicáveis às condições existentes do solo. O recalque é uma função do aumento da tensão efetiva que, por sua vez, é uma função da carga aplicada nos apoios. A carga de um determinado apoio é igual à carga inicial (assumindo que não há recalques diferenciais) mais as cargas que foram transferidas para (ou de) o apoio. A carga transferida ocorre devido ao recalque sofrido por todos os outros apoios da estrutura, gerando coeficientes de transferência de carga, que na realidade, são rigidezes em funções da própria rigidez da estrutura.

As equações de cálculo de recalque são formadas para todos os fundamentos da estrutura, usando a mudança na tensão efetiva como uma função da soma da carga inicial mais as cargas transferidas. Tal fato leva a um sistema de equações não lineares que é resolvido numericamente. A solução para essas equações produz recalques finais dos apoios, incluindo os efeitos da redistribuição de carga. Os cálculos de recalque são baseados na teoria de consolidação unidimensional para argilas ou na teoria de Schmertmann para areias.

Aoki (1989, 1997) apresenta um modelo simples de transferência de carga vertical em um meio elástico estratificado, propondo um processo iterativo como uma das alternativas para se levar em conta as complexas interações entre o solo e a estrutura. Este processo tenta interagir o grupo de estacas com o maciço de solo e o bloco de coroamento, e estes, com a superestrutura, por meio de várias iterações até que todas as reações (ou recalques) se igualem com os da iteração imediatamente anterior, dentro de uma tolerância prefixada.

Matos Filho (1999) desenvolveu um modelo de estaca isolada, ou grupo de estacas, submetido à ação de um carregamento horizontal, vertical e momento, em

duas direções, sendo o solo modelado pelo método dos elementos de contorno, com uso das equações de Mindlin, e as estacas modeladas como elementos de barra.

Almeida (2003) estudou o problema da interação solo-estrutura por meio de uma combinação entre o método dos elementos de contorno e o dos elementos finitos. O solo e o elemento estrutural de fundação foram modelados pelo método dos elementos de contorno, e a superestrutura, pelo método dos elementos finitos. Posteriormente, Ribeiro (2005) introduziu mais recursos nessa modelagem numérica.

Oshima (2004) usou uma formulação onde as estacas são modeladas pelo método dos elementos finitos-elemento de barra, e o solo pelo método dos elementos de contorno, com a solução de Mindlin. Os sistemas de equações do solo e das estacas, para elementos verticais, são apresentados como uma combinação de ambos, originando um único sistema final de equações.

Colares (2006) desenvolveu um programa computacional para avaliação da interação solo-estrutura em edifícios de concreto armado assentes em sapatas. Utilizou o método de Aoki e Lopes (1975), para o cálculo de recalques e o método dos elementos finitos para modelar os elementos estruturais de fundação.

Ribeiro (2009) elaborou uma ferramenta numérica para a simulação estática de problemas tridimensionais da interação solo-estrutura, onde o solo é modelado com o método dos elementos de contorno, empregando as soluções de Kelvin, válidas para sólidos tridimensionais, e uma técnica alternativa na consideração do maciço não homogêneo, bem como o método dos elementos finitos para representar todas as estruturas que interagem com o solo.

2.4 ACOMPANHAMENTO DO DESEMPENHO DA ESTRUTURA

A medida de recalque, como ferramenta de avaliação de desempenho de estruturas nas suas condições reais, é fator primordial no estudo e na avaliação da interação solo-estrutura. Em contrapartida, a obtenção da medida de recalque real só é possível de ser obtida com um monitoramento da estrutura. O monitoramento, além de acompanhar o desempenho da fundação, tem como objetivo: esclarecer anormalidades constatadas na obra, construir um banco de dados de medidas de recalque e ampliar a experiência local quanto ao desempenho da fundação. Permite, ainda, a comparação de valores medidos com os calculados, visando o aperfeiçoamento dos métodos de previsão de recalques.

Segundo Prellwitz (2015), o monitoramento de recalques consiste em um levantamento altimétrico dos pontos de fundações em relação a um marco fixo e indeslocável, com significativa relevância no controle do desempenho da estrutura. Apesar da sua importância, é pouco realizado no Brasil, sendo mais utilizado para efeito de pesquisa ou em situações em que a obra já tenha manifestado algum desempenho insatisfatório.

Prellwitz *et al.* (2018) apresenta análise quantitativa com críticas construtivas a respeito do estado da arte do monitoramento de recalque no Brasil, resumindo informações de diversos trabalhos expostos ao longo de anos. O autor também aponta as recentes descobertas, até o presente momento, com o auxílio do monitoramento de recalque.

A partir do levantamento feito, os autores constataram que a prática de monitoramento de recalque das fundações é antiga. Diversos estudos permitiram o conhecimento sobre o comportamento e o desempenho de muitas fundações. Entretanto, a prática em questão, segue relacionada às publicações com casos onde foram necessários reforço nas fundações e monitoramento para acompanhar o desempenho do reforço. Pouco se tem publicado nos congressos a respeito das análises da interação solo-estrutura e do comportamento da estrutura. É possível observar o início de publicações voltadas para a análise da ISE com monitoramento de recalque a partir do ano de 1994, com os trabalhos de Gusmão *et al.* (1994), Lobo *et al.* (1994) e Fonte *et al.* (1994), onde, particularmente, neste ano, existia uma seção técnica do COBRAMSEG chamada “Fundações e Interação Solo-Estrutura”.

Dentre os estudos analisados, foi possível identificar uma tendência de acordo com o tipo de evento. No SEFE os artigos publicados são um tanto práticos. Mais de 60% dos trabalhos com monitoramento de recalque estão ligados a situações em que foram utilizados reforço nas fundações. Enquanto no COBRAMSEG, a maioria dos trabalhos visaram a análise da ISE, ou até mesmo o desempenho da estrutura, uma parcela muito baixa (em torno de 5% dos trabalhos com monitoramento), apresentava casos práticos com monitoramento e reforço de fundações.

A Figura 2.12 apresenta uma relação entre a quantidade de trabalhos apresentados com monitoramento de recalque e o total de trabalhos publicados, para os dois eventos ao longo dos anos em que ocorreram.

Ainda assim, muito há para ser estudado e publicado a respeito do tema. Menos de 10% dos artigos publicados estão relacionados a monitoramento de recalque, indicando que pouco tem sido monitorado nos edifícios e nas estruturas atuais.

A autora concluiu que, com o monitoramento de recalque, foi possível conhecer o comportamento de interação solo-estrutura, e observar a redistribuição de esforços que ocorre nos elementos estruturais, em especial nas cargas nos pilares, comprovados por diversos trabalhos na bibliografia.

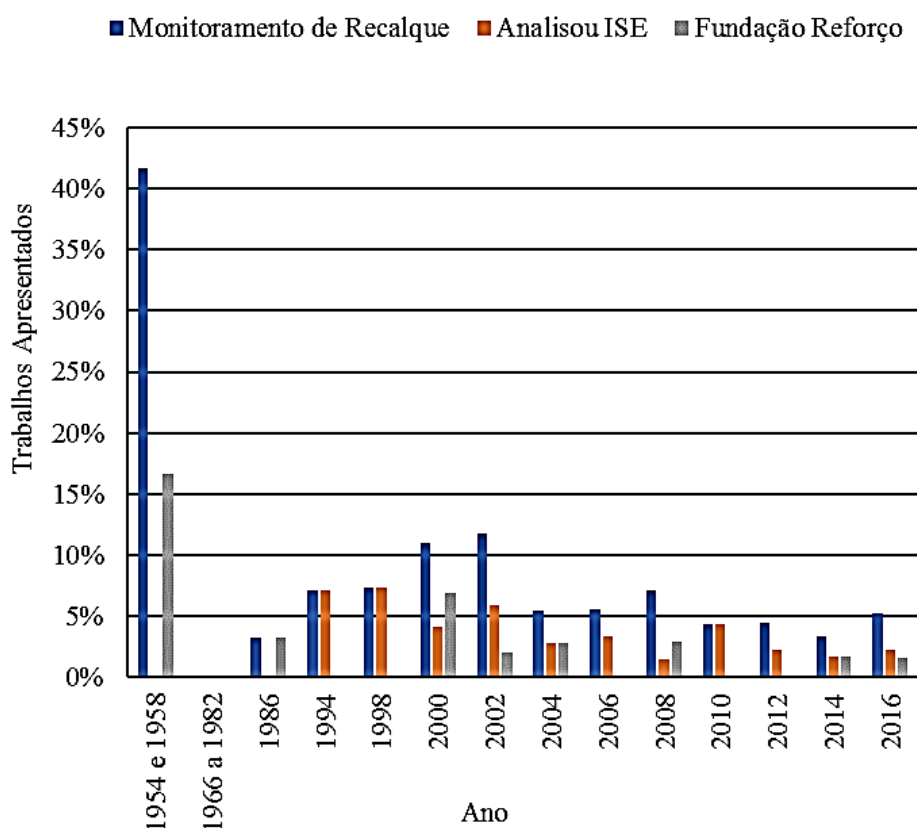


Figura 2.12. Trabalhos apresentados x ano (Prellwitz, 2018)

A medida de recalque é, normalmente, feita com níveis óticos de precisão ou com medidores de nível d'água, baseada no princípio de vasos comunicantes. A prática de medidas de recalques, envolvendo a realização do nivelamento ótico de precisão, é descrita por diversos autores, como por exemplo, Danziger et al. (1997), Danziger *et al.* (2000a) e Alonso (1995), tomam por base uma referência de nível profunda, efetuada em pontos fixos na estrutura na qual pretende-se medir os deslocamentos verticais (Figura 2.13).

Já a prática de medição por meios de instrumentos, baseada no princípio de vasos comunicantes, relatada por Barros (2005), Savaris (2008), Prellwitz (2015),

consiste em instrumentos elaborados por um reservatório ou tubo preenchido com líquido, normalmente água, e com um sistema de medição entre o nível do líquido e o marco de referência (Figura 2.14). A elevação vertical do pilar em relação à referência de nível é determinada pela diferença entre os níveis d'água nos extremos dos reservatórios, tubos ou mangueiras.

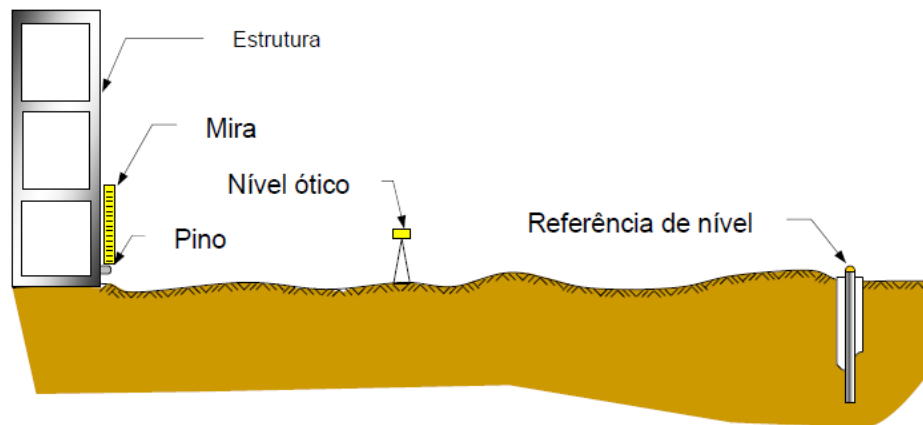
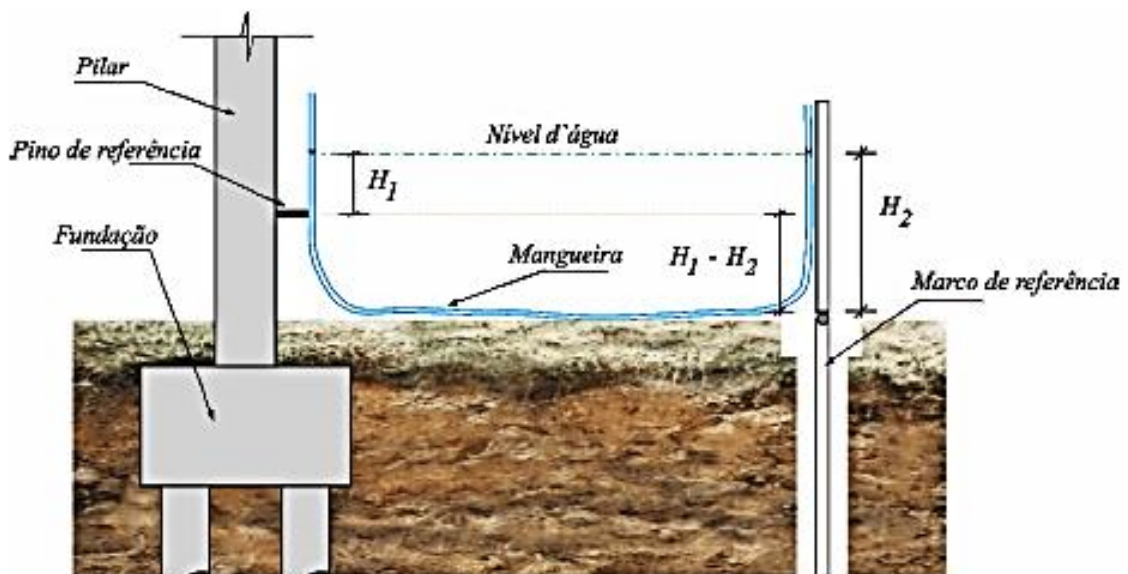


Figura 2.13. Arranjo esquemático de medida de recalques com uso de nivelamento ótico (Russo Neto, 2005)



H_1 – Leitura efetuada sobre a referência de nível
 H_2 – Altura obtida entre o nível d'água e um ponto no local de medição

Figura 2.14. Disposição geral da utilização de um sistema de vasos comunicantes para medição de recalques (Barros, 2005)

Capítulo 3 – MODELAGEM NUMÉRICA E METODOLOGIA APLICADA

3.1 INTRODUÇÃO

Devido ao número cada vez maior da utilização de fundações estaqueadas, suportando cargas elevadas e em áreas limitadas, nos últimos anos ocorreu uma mudança gradual nos procedimentos de projeto de estacas, passando de métodos essencialmente empíricos, para métodos com bases teóricas mais profundas.

Paralelamente, é notória a grande revolução da informática, com o desenvolvimento dos computadores e o surgimento de técnicas numéricas poderosas como o método dos elementos finitos e de contorno. Atualmente, os métodos computacionais são ferramentas indispensáveis na execução de tarefas por permitirem a realização de análises numéricas cada vez mais realistas e confiáveis.

Os métodos teóricos mais profundos, utilizados nas análises de projetos e no comportamento de uma estrutura, são pautados em metodologias que consideram os efeitos provocados pela interação solo-estrutura. Como a análise é um assunto relativamente complexo, e que envolve muitas equações e parâmetros, a questão da ISE está intimamente ligada com a utilização de computadores e de programas computacionais.

A partir de tais análises é possível obter-se uma avaliação mais próxima da realidade do comportamento estrutural das edificações. Assim, uma estimativa apurada do referido comportamento pode ser vantajosa, não só economicamente, mas por proporcionar um maior nível de segurança e de confiabilidade para as construções.

Portanto, para se modelar uma estrutura com mais fidelidade à realidade da edificação construída, um dos fatores considerados importantes é o conhecimento das características do solo na região onde será implantada a estrutura. Tais características se baseiam na determinação dos parâmetros de deformabilidade do solo, sendo por meio destes mesmos dados, uma possível simulação da interação solo-estrutura nos modelos estruturais.

O presente capítulo tem como objetivo a exposição de um breve relato dos modelos utilizados, atualmente, para análises numéricas de estruturas, levando em consideração a interação solo-estrutura.

3.2 MODELOS DO SOLO

3.2.1 Modelos usados para ISE

Há várias décadas profissionais das áreas de engenharia e geotecnia vêm estudando formas de aplicação e de consideração do solo como uma estrutura deformável e os efeitos que provocam nas estruturas. Isto porque, o comportamento do maciço de solos, submetido a carregamentos externos, constitui um fator de importância fundamental na análise do mecanismo de interação solo-estrutura.

Cada avaliação depende da forma da curva tensão-deformação, da descrição matemática das propriedades mecânicas, ou seja, de equações constitutivas adotadas para o solo. A complexidade inerente ao comportamento real dos solos tem levado ao desenvolvimento de inúmeros modelos de previsão, especialmente para a análise da interação solo-estrutura.

Segundo Colares (2006), a escolha de um modelo que represente o comportamento do solo nos problemas da ISE depende de fatores como tipo de solo, condições *in situ*, tipo de elemento estrutural de fundação e natureza do carregamento externo. A resposta ou característica de cada modelo de comportamento é avaliada pela superfície deformada, quando da aplicação de um sistema de forças externas. A superfície deformada representa os deslocamentos da superfície limitante do solo que está em contato com o elemento estrutural de fundação ou da superfície de contato solo-elemento estrutural de fundação.

Leung (2017) completa o comentário relatando que as avaliações das estruturas são afetadas pelas características da superestrutura, mas as interações superestrutura-fundação, não são rigorosamente levadas em consideração em muitas análises. Existem abordagens bastante conhecidas para caracterizar as interações, algumas descritas na própria tese. São elas: incluir a aproximação da superestrutura como vigas com rigidez equivalente (por exemplo, Meyerhof 1953; Sommer, 1965) no modelo geotécnico e a simulação das fundações como "constantes de mola" (por exemplo, Winkler, 1867; Miyahara e Ergatoudis, 1976) na estrutura modelo.

Entretanto, as análises citadas simplificam em demasia o mecanismo de interações entre a superestrutura, as fundações e o solo. A modelagem imprecisa de tais efeitos de interação também levará a resultados irreais. Outra abordagem comum para avaliar as interações envolve refinamentos iterativos de cálculos estruturais e geotécnicos (por exemplo, Chamecki, 1956; Weigel *et al.*, 1989). Todavia, um

processo iterativo aumenta o tempo e o esforço envolvidos em uma única análise de fundação.

3.2.2 Modelos elásticos

Do ponto de vista físico, um material, ou um meio perfeitamente elástico, se deforma quando submetido a um sistema de forças externas; no entanto, cessado o carregamento, o material, ou o meio, recupera totalmente sua forma original, não havendo deformações permanentes, ou seja, a curva de descarregamento coincide exatamente com a curva de carregamento. Os modelos elásticos podem ser lineares (casos em que a relação entre a força aplicada e o deslocamento resultante é dada por funções lineares) e não lineares (situações em que as funções descritivas da relação força-deslocamento são não lineares).

Em 1867, Winkler propôs um modelo admitindo que as cargas aplicadas na superfície do solo geram deslocamentos somente no ponto de aplicação da mesma, onde o efeito da continuidade do meio não é considerado. Foi sugerido, com isso, que o maciço de solo fosse substituído por um sistema de molas com uma rigidez equivalente, constituindo um método simples de se considerar a interação solo-estrutura, conhecido como modelo de Winkler. A Equação 3.1, onde k é o módulo de reação do solo, representa a descrição matemática do modelo, por:

$$q = kw \quad 3.1$$

onde, q é o carregamento aplicado no ponto; e w é o deslocamento de qualquer ponto do solo carregado.

Muitos trabalhos já desenvolvidos utilizaram esta técnica de representação da flexibilidade do solo por se tratar de uma análise simples e de fácil implementação, em geral, fazendo o uso de valores tabelados obtidos, experimentalmente, por meio de ensaios de placa. Devido às limitações apresentadas por este modelo, segundo Small (2001), é desejável usar modelos de continuidade para o solo (isto é, tratá-lo como um material elástico ou elastoplástico).

A superfície de deslocamentos, determinada pelo modelo Winkler, é delimitada pela região carregada, restringindo sua aplicabilidade a maciço de solos com baixa coesão. No entanto, a prática experimental mostra que a superfície de deslocamentos não se desenvolve apenas imediatamente abaixo da região carregada, mas também

dentro de zonas limitadas fora da área carregada. Para atender a tendência de comportamento contínuo, o maciço de solos tem sido idealizado como meio elástico tridimensional.

Embora o solo não seja um material perfeitamente elástico, homogêneo e isotrópico, tensões e recalques elásticos induzidos por uma carga pontual vertical, e por uma carga pontual horizontal, podem ser obtidos pelas equações de Mindlin (1936).

A determinação de deslocamentos e tensões baseada nas equações de Mindlin (1936) tem aplicação limitada, pois não considera a estratificação do maciço de solos, nem a presença, a uma determinada profundidade, de superfície de deslocamentos nulos. Para considerar tais situações, pode-se recorrer ao procedimento de Steinbrenner (*apud* Alonso, 1989).

O procedimento de Steinbrenner (1934) pode ser usado isoladamente para cada camada suposta homogênea, elástica e de espessura finita. O recalque de uma superfície carregada, repousando em estrato indeslocável, é determinado pela diferença entre o recalque de uma massa semi-infinita no nível da aplicação da carga e o recalque na profundidade do indeslocável.

Um exemplo das diferenças nas soluções obtidas, usando um modelo de mola e um modelo de meio contínuo, foi apresentado por Brown (1977) para ilustrar a diferença na escolha do modelo de solo. Sendo assim, o modelo, por não contemplar a continuidade do solo, torna-se pouco representativo uma vez que restringe a análise, não permitindo o estudo de grupos de estacas ou interação entre prédios vizinhos.

Os modelos elásticos para o comportamento do solo descritos anteriormente, por definição, não levam em conta qualquer característica elastoplástica do maciço de solos. A distinção básica entre o modelo puramente elástico e o modelo elastoplástico para o comportamento do solo está no fato de que, neste, as tensões e as forças impostas ao maciço de solo estão limitadas por um critério de ruptura, o que está de acordo com a realidade física.

3.3 FERRAMENTAS NUMÉRICAS

Small (2001) afirma que o método mais poderoso para analisar fundações é o método dos elementos finitos. Uma malha tridimensional completa pode ser desenvolvida e a fundação, e a estrutura completa no topo da fundação, podem ser

incorporadas. Diferentes leis constitutivas podem ser usadas para o solo, como modelos elastoplásticos avançados. O desenvolvimento tecnológico tornou possível analisar problemas tridimensionais bastante complexos usando computadores de mesa, apesar das dificuldades e complexidades encontradas para esse tipo de análise.

O modelo de estrutura completo proposto por Leung (2017) é composto por todos os membros da estrutura do edifício. Usando o referido modelo, uma matriz de estrutura “condensada” pode ser gerada aplicando um deslocamento de unidade em cada coluna em sequência, extraindo assim as forças de reação em todos os outros suportes devido ao deslocamento da unidade (Figura 3.1). Ao contrário da matriz de rigidez estrutural completa, a matriz de estrutura condensada é totalmente preenchida.

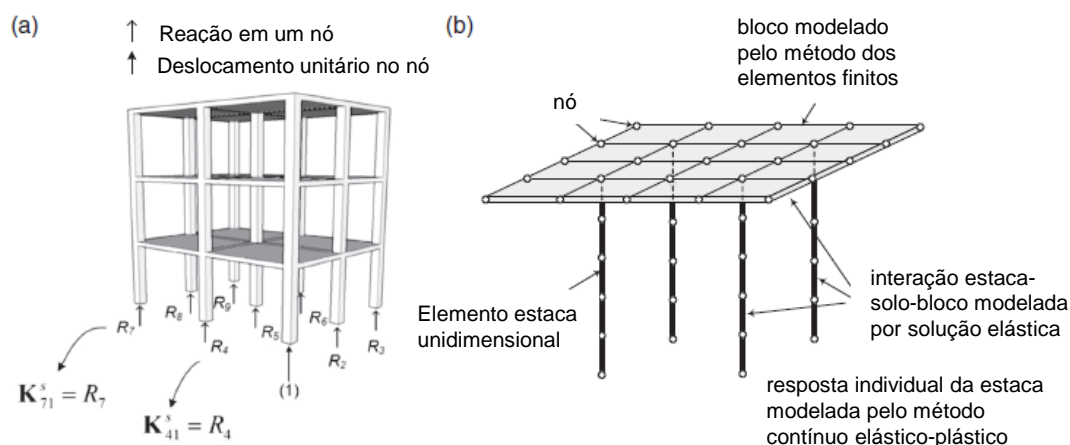


Figura 3.1. a) processo de condensação da estrutura usando simulação de elementos finitos, considerando a resposta vertical de carga e recalque (Leung et al. 2010a). b) representação esquemática da fundação (Leung, 2017)

A matriz da estrutura condensada pode ser obtida por engenheiros estruturais que usam a maioria dos programas de elementos finitos estruturais. Para cobrir todos os casos de carga, o processo de condensação deve incluir resposta horizontal e de momento (assumindo a decisão de detalhar a conexão coluna-fundação para transferir momentos).

A bibliografia apresenta diversas opções e modelos utilizados para análise da interação solo-estrutura. Além disto, existe uma grande influência quando se considera a superestrutura no modelo. De forma resumida, segundo Aoki e Cintra (2004), os modelos básicos utilizados para análise da interação solo-estrutura, que adotam como origem dos eixos de referência qualquer ponto sobre a superfície

indeslocável, superfície da rocha sã ou superfície abaixo da qual as deformações do maciço de solos podem ser desprezadas, compreendem:

- i. Dois corpos em equilíbrio: a superestrutura, com contorno inferior limitado pela superfície das bases dos pilares, e a fundação, com contorno limitado pela superfície das bases dos pilares e o maciço indeslocável (Figura 3.2).

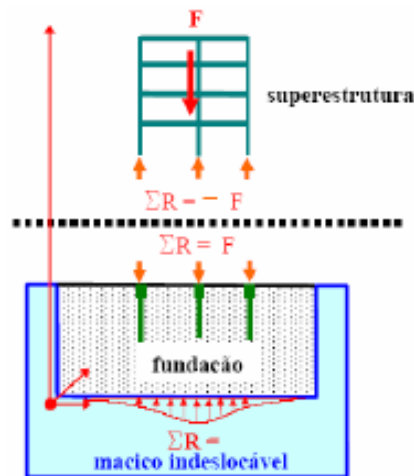


Figura 3.2. Modelo de equilíbrio superestrutura e fundação (Aoki e Cintra, 2004)

- ii. Dois corpos em equilíbrio: a estrutura, com o contorno limitado pela superfície dos elementos estruturais de fundação, e o maciço de solos com contorno limitado pela superfície dos elementos estruturais de fundação e o maciço indeslocável (Figura 3.3).

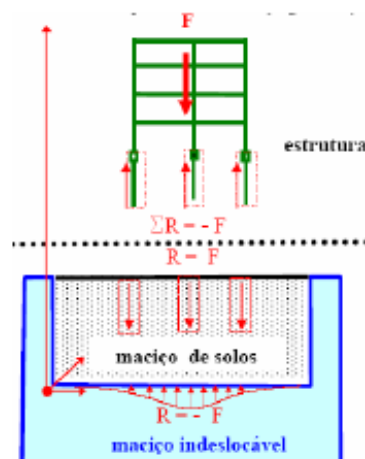


Figura 3.3. Modelo de equilíbrio estrutura e maciço de solos (Aoki e Cintra, 2004)

- iii. Um só corpo em equilíbrio: o sistema global formado pela estrutura e pelo maciço de solos, com contorno limitado pelo maciço indeslocável (Figura 3.4).

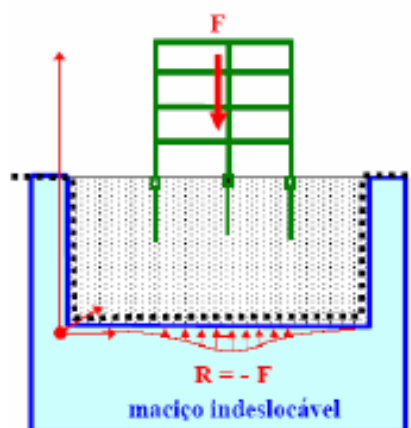


Figura 3.4. Modelo equilíbrio do sistema global (Aoki e Cintra, 2004)

O modelo (a), utilizado nas pesquisas de Chameki (1956), Moura (1995) e Iwamoto (2000), considera o equilíbrio no topo dos elementos estruturais de fundação e utiliza processo iterativo: as forças aplicadas nas fundações geram recalques e estes geram, deslocabilidade da superestrutura e vice-versa.

Já o modelo (c) trabalha considerando a estrutura total, formada por: superestrutura, elementos estruturais de fundação e maciço de solos. Nesta metodologia, a superestrutura, os elementos estruturais de fundação e o maciço de solos são, geralmente, modelados pelo método dos elementos finitos, ou a superestrutura e os elementos estruturais de fundação são modelados por elementos finitos, e o maciço de solos, por elementos de contorno, como fizeram Coda (2000) e Dimas (2009). As incógnitas, constituídas pelas reações do solo ao longo das superfícies de contato solo-estrutura, são determinadas por meio da compatibilidade de deslocamentos na interface estrutura-solo, com a utilização de convenientes elementos de interface.

Mota (2009) também desenvolveu um método numérico em que a superestrutura e os elementos estruturais de fundação são considerados uma estrutura única, modelada pelo Método dos Elementos Finitos e implementada no código computacional PEISE (Pórtico Espacial com Interação Solo-Estrutura). O maciço de solos é representado por um modelo geotécnico proposto por Aoki e Lopes (1975) utilizando a solução de Mindlin.

Pesquisas na área continuaram sendo desenvolvidas no Brasil e tornaram-se crescentes ao longo dos últimos anos. Tal fato contribuiu para o aperfeiçoamento das análises. Como exemplo, é possível citar o trabalho desenvolvido por Holanda Júnior (1998), o qual analisou os efeitos da ISE em edifícios sobre fundações diretas, levando

em consideração a sequência construtiva e a presença de camada indeslocável no interior do solo, isto é, fatores que podem influenciar os resultados, dependendo da maneira em que são considerados.

O autor mostrou que a introdução da camada indeslocável representa com mais fidelidade os perfis de solos, diminuindo os recalques e ajudando a aproximar ainda mais os resultados da realidade. O autor mostra, por meio de exemplos numéricos, a importância de se considerar as etapas construtivas de uma obra na fase de projeto, visto que, as modificações nos esforços entre as peças estruturais são bastante significativas.

Dutta e Roy (2002) discutem em seu trabalho diferentes métodos para a modelagem da interação solo-fundação-estrutura, apontando os pontos fortes e as limitações de cada modelo presente na literatura. Defendem a ideia de que os projetos devem considerar a ISE pelo menos com a hipótese de Winkler, a qual, apesar de apresentar limitações, é de fácil aplicação e proporciona resultados razoáveis, isto é, mais realistas do que os apresentados pela idealização de estruturas com base fixa.

3.4 MODELO NUMÉRICO UTILIZADO

Nesta pesquisa, empregou-se o modelo básico de interação solo-estrutura comentado na seção anterior (c), em que a estrutura é o conjunto formado pela superestrutura e pelos elementos estruturais de fundação, sendo estes últimos constituídos pelos blocos de coroamento das estacas e pelas estacas (Figura 3.5).

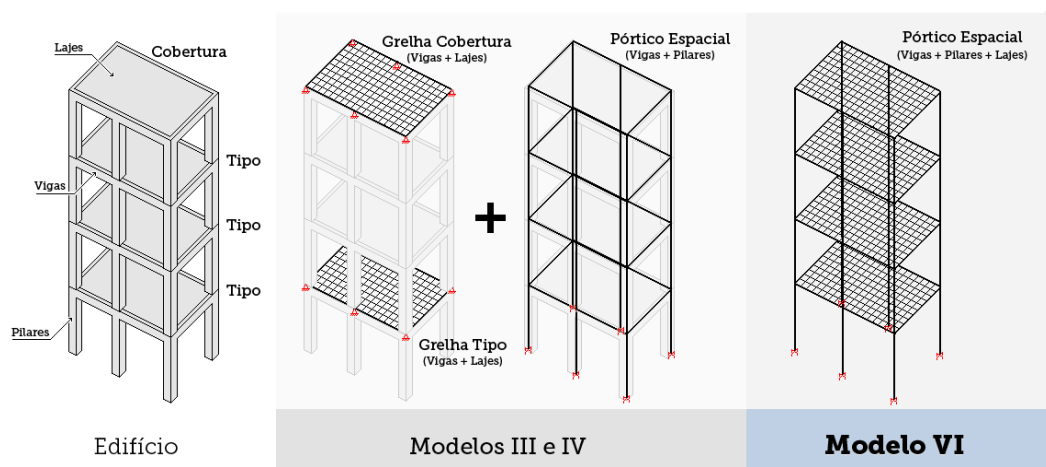


Figura 3.5. Comparação dos modelos utilizados nas análises no software (Manual software TQS)

Ao contrário dos modelos utilizados em diversos trabalhos, em que o edifício era modelado por um conjunto de pórticos espaciais e grelhas (modelos III e IV), neste trabalho, toda a estrutura é analisada por um único pórtico espacial (modelo VI), como exemplificado na Figura 3.5. As malhas de barras das lajes estão inseridas no próprio modelo espacial. Dessa forma, uma vez aplicadas as ações no pórtico, todo o conjunto formado pelas vigas, pilares e lajes se deforma de uma maneira totalmente compatível, distribuindo as solicitações entre os elementos de acordo com o equilíbrio espacial de toda a estrutura.

A vantagem de se utilizar o modelo, segundo as explicações apresentadas no próprio manual do software utilizado, é que, além de ser um modelo mais atualizado, é um modelo mais consistente, pois há total compatibilidade de deformações e equilíbrio de esforços entre todos os elementos que compõem a estrutura. No caso, é desnecessária transferência de cargas entre os modelos dos pavimentos e o modelo global. Toda a análise estrutural fica restrita a um único modelo, tornando mais simples a verificação dos resultados. O modelo possui seis graus de liberdade por nó, de tal forma que são obtidas as translações (D_x , D_y , D_z), as rotações (θ_x , θ_y , θ_z), e os respectivos esforços solicitantes, força normal (F_x), forças cortantes (F_y , F_z), momento torsor (M_x) e momentos fletores (M_y , M_z), nas vigas, pilares e lajes. Estruturas com elementos inclinados (pilares, vigas, rampas e escadas) são resolvidas adequadamente com a compatibilização entre as forças normais atuantes nos elementos e a tração/compressão nas vigas e lajes vinculadas aos mesmos. E as condições ELU e ELS são melhor representadas por dois modelos, Pórtico ELU e Pórtico ELS, ambos contemplando adequadas condições de rigidezes de todos os elementos (vigas, pilares e lajes).

A estrutura é representada por um modelo de pórtico espacial, sendo seus elementos formados por barras idealizadas por seus eixos geométricos, e definidas pela posição de seus pontos nodais extremos. Particularmente, os blocos de coroamento serão definidos por um reticulado plano, composto por barras rígidas interligando o topo das estacas e o pilar correspondente.

Os elementos de fundação são discretizados em elementos de barras com determinada dimensão simulando o comportamento de toda a infra e superestrutura. As barras são conectadas entre si por meio de nós.

O efeito do solo é simulado no SISEs, pacote adicional do programa utilizado, pertencente e desenvolvido pela TQS Informática para projeto estrutural por meio de

vínculos elásticos (coeficientes de reação vertical e horizontal) atrelados aos nós da estrutura. Os vínculos elásticos são baseados na teoria de Winkler onde as características do solo são tratadas e os valores dos vínculos (ou molas) são obtidos.

Para a obtenção dos coeficientes de reação vertical, a capacidade de carga das estacas é obtida pelo método de Aoki-Velloso (1975). O cálculo dos recalques verticais das estacas, considerando o bloco da estaca isolado, é realizado segundo teoria de Aoki-Lopes, Vesic, Mindlin e Steinbrenner, levando em conta o efeito “grupo” de estacas.

Para a obtenção dos coeficientes de reação horizontal foram empregados os métodos preconizados por Allonso e Waldemar Tietz.

A introdução da presença dos elementos de fundação por meio da teoria descrita por Winkler, método que trata o comportamento do solo de forma aproximada, elástica e linear, é o primeiro passo para que se consiga resolver, em parte, o problema da interação solo-estrutura e iluminar um pouco o conhecimento do que acontece nesta fronteira entre a estrutura e a fundação.

O SISEs realiza também a estimativa de recalques das estacas por métodos consagrados da literatura internacional e, conseqüentemente, o cálculo dos CRVs, baseados nos valores das cargas aplicadas e dos recalques mais confiáveis (Figura 3.6).

Os processos mais sofisticados para o tratamento do solo envolvem a discretização pela técnica dos elementos finitos sólidos não lineares. As dificuldades para a simulação do solo estratificado, o tempo de processamento, as dificuldades para o tratamento dos resultados e a incerteza para a garantia da sua confiabilidade, inviabilizaram, em primeira instância, a utilização desta técnica durante esta pesquisa.

Fisicamente, o cálculo do CRV pode ser entendido como um conjunto de “molas” que se distribuem ao longo do fuste e na base da estaca (Figura 3.7), e que estas “molas” representam, proporcionalmente, a distribuição de rigidezes do contato estaca-solo, segundo a lei de transferência de cargas, que pode ser de dois tipos. No primeiro, considera-se que o carregamento será distribuído começando do topo em direção à base, onde cada “mola” será solicitada por um carregamento. Caso o carregamento venha a atingir a plastificação será repassado para “molas” subsequentes (modelo A). Neste modelo, a carga na base da estaca só será mobilizada se todo o contato fuste-solo atingir a sua plastificação (deslizamento). No segundo tipo, considera-se que o carregamento será proporcionalmente distribuído

ao longo do fuste, e como no modelo anterior, só será transferido para a base da estaca quando toda a resistência lateral da estaca for vencida pelo carregamento aplicado no topo, ou seja, quando entrar em plastificação (modelo B).

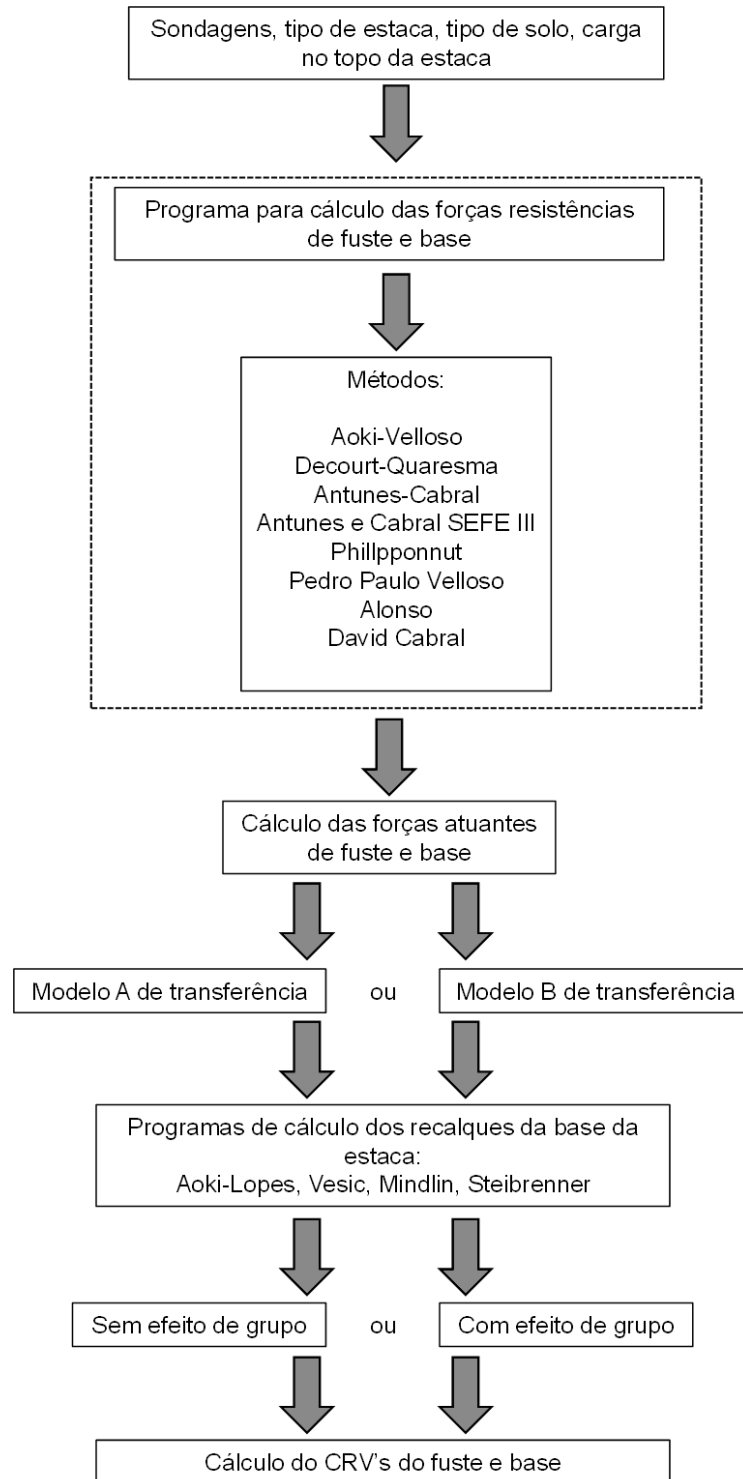


Figura 3.6. Fluxograma geral de processamento e transferência de dados (Manual software TQS)

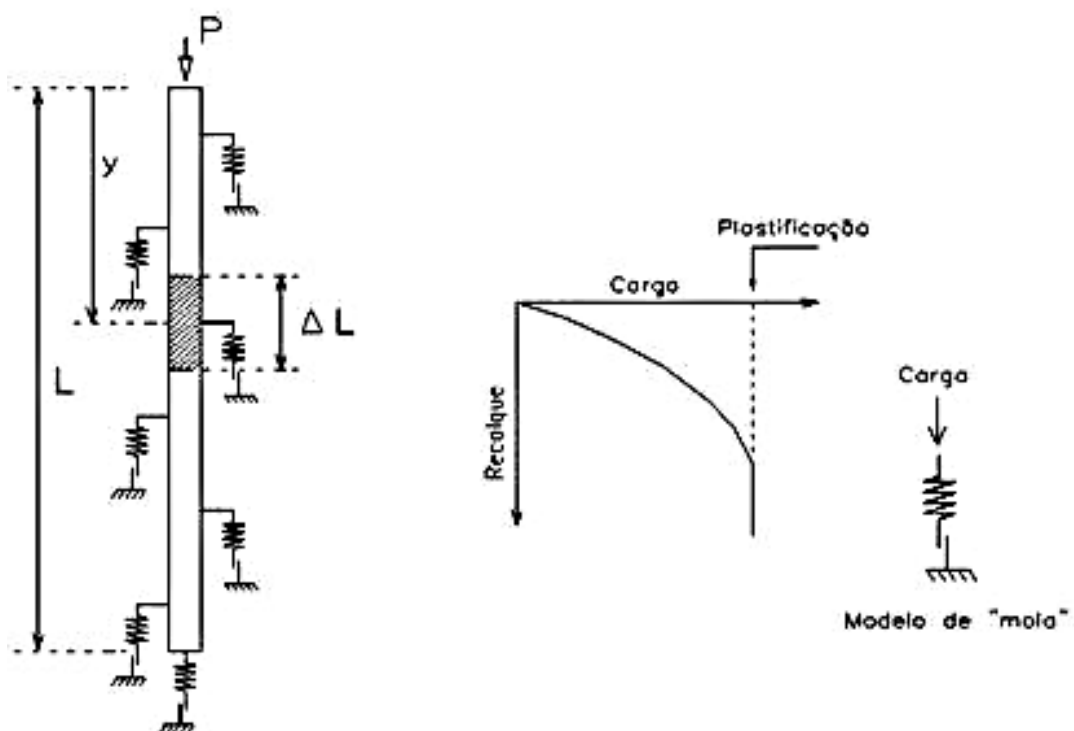


Figura 3.7. Representação da estaca (Manual software TQS)

Vale ressaltar que a grande vantagem do modelo adotado neste trabalho é a simplicidade em relação aos modelos mais sofisticados (método dos elementos finitos ou elementos de contorno), o que facilita a aplicação e a representatividade. É importante destacar que a “mola” idealizada no modelo adotado não é exatamente a mola de Winkler, pois:

- i. A mola varia conforme o nível de carregamento, inclusive altera a curva quando o carregamento ultrapassa a resistência lateral PL do fuste. Portanto, a “mola” representa a não linearidade do comportamento da estaca;
- ii. A mola é influenciada pelo efeito de grupo de estacas, ou seja, o carregamento de uma estaca influenciará nos recalques das demais estacas próximas.

Vale esclarecer que não existe coeficiente de mola constante para um determinado solo. O seu valor depende da interação completa da rigidez da estrutura-solo. Por exemplo, os coeficientes de mola da fundação de um edifício sobre o solo “A” não serão os mesmos, na hipótese de ser construído sobre esse mesmo solo, um edifício com outra rigidez (número de pavimentos, arranjos estruturais ou sistemas estruturais diferentes).

Para o SISEs, são considerados dois modelos para cálculo do recalque de um ponto do maciço; o primeiro modelo leva em consideração somente a influência das estacas contidas no mesmo bloco, denominado “sem efeito de grupo”. Já no segundo, denominado de “com efeito de grupo”, considera-se a influência de todas as estacas do projeto, este último mais geral, mas que demanda um tempo computacional bem maior que o primeiro modelo.

3.4.1 Recalque sem efeito de grupo

Para o cálculo dos recalques da ponta de uma estaca i , as parcelas das forças laterais e de ponta desta estaca têm, muitas vezes, mais influência do que as forças advindas de outras estacas. Deste modo, o modelo, leva apenas em consideração o efeito local. A grande vantagem deste modelo é o baixo custo computacional, uma vez que não é necessário avaliar a influência de todas as estacas para o cálculo do recalque na estaca i .

Para um bloco que contém um total de “Número do bloco” estacas, a base da estaca i pode se deslocar devido às cargas aplicadas ao longo do fuste $Q(z)$ e ou da ponta P_p . De acordo com Vesic (1975), pode-se escrever:

$$\delta_s^i = \sum_{j=1}^{\text{Número do bloco}} \delta_{s,f}^j + \sum_{j=1}^{\text{Número do bloco}} \delta_{s,b}^j \quad 3.2$$

onde, $\delta_{s,f}^j$ é a parcela de recalque na base da estaca i devido à ação de forças de fuste da estaca j do bloco; $\delta_{s,b}^j$ é a parcela de recalque na base da estaca i devido à ação de forças da base da estaca j do bloco; e δ_s^i é o recalque total da base da estaca i .

3.4.2 Recalque com efeito de grupo

Neste caso, o modelo é mais realista, pois leva em conta a influência de todas as estacas do projeto para o cálculo do recalque da estaca i . Desta forma, a mobilização de uma estaca influencia em todo o maciço contínuo. A desvantagem do modelo é o alto custo computacional.

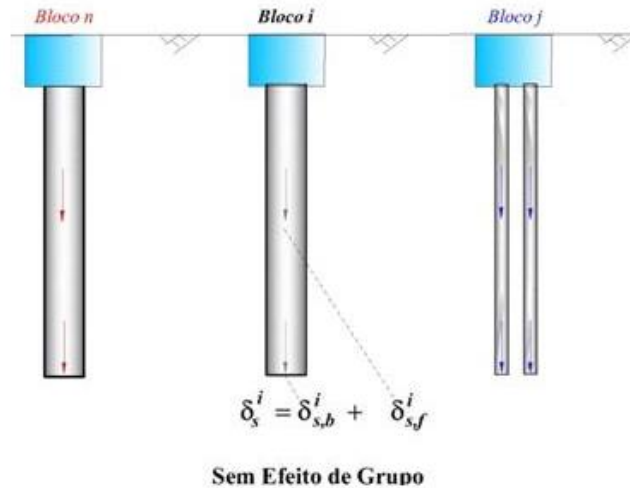


Figura 3.8. Cálculo de recalque sem efeito de grupo (Manual software TQS)

Para um projeto que contém um total de “N” blocos, sendo que cada bloco contém “M” estacas, a base da estaca i pode se deslocar em relação às cargas aplicadas ao longo do fuste $Q(z)$ e ou da base (ponta) P_p devido à todas as estacas do projeto. De acordo com Vesic (1975), pode-se escrever:

$$\delta_s^i = \sum_{k=1}^{N \text{ bloco}} \left[\sum_{j=1}^{M \text{ estaca do bloco}_k} \delta_{s,f}^j + \sum_{j=1}^{M \text{ estaca do bloco}_k} \delta_{s,b}^j \right] \quad 3.3$$

onde, $\delta_{s,f}^j$ é a parcela de recalque na base da estaca i devido à ação de forças de fuste da estaca j do bloco k; $\delta_{s,b}^j$ é a parcela de recalque na base da estaca i devido à ação de forças da base da estaca j do bloco k; e δ_s^i é o recalque total da base da estaca i.

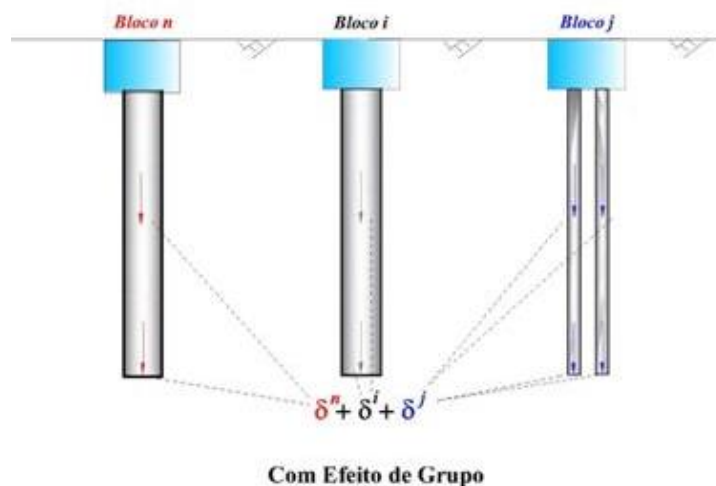


Figura 3.9. Cálculo de recalque com efeito de grupo (Manual software TQS)

3.5 METODOLOGIA APLICADA

Durante a execução da tese, para fazer a simulação considerando a interação estrutura-solo e alcançar os objetivos propostos, foram realizados os seguintes passos:

3.5.1 Cálculo das reações na base dos pilares

Com o programa de pórtico espacial *TQS*, foram calculadas as reações nas bases dos pilares, inicialmente, considerando-os totalmente engastados. As reações foram adotadas como valores das cargas nos pilares sem a consideração da ISE (metodologia normalmente aplicada durante a fase do projeto estrutural);

3.5.2 Cálculo dos recalques – efeito de grupo e rigidez

Com as reações, foram calculados os recalques (deslocamentos na ponta da estaca + encurtamento do fuste da estaca), considerando-os efeitos do grupo pela teoria da elasticidade e as rigidezes equivalentes, dividindo as forças (reações de apoio) aplicadas pelos respectivos recalques.

A ferramenta *SISEs* do software utilizado realiza os passos anteriores, automaticamente, e em seguida volta na estrutura, substituindo os apoios do bloco pelos blocos efetivos (rígidos e/ou flexíveis) e as estacas devidamente discretizadas até a base (Figura 3.10).

Todos os passos foram feitos considerando, sem e com o efeito de grupo (levando em conta apenas interação entre estacas do mesmo bloco e considerando interação entre todas as estacas da obra, respectivamente). Sendo assim, o *SISEs* aplica aos nós da estrutura da fundação discretizada os *CRVs* e *CRHs*, por meio de vínculos elásticos e representativos da presença do solo. Para tal etapa, é necessário introduzir no *SISEs* os boletins de sondagem no local de implantação do edifício, a fim de se conhecer a estratigrafia do solo e calcular os devidos parâmetros.

Posteriormente, resolve-se toda a estrutura integrada (fundação + superestrutura + maciço de solo). Os resultados obtidos já são as apurações nos elementos de fundação e nas vigas e pilares do edifício.

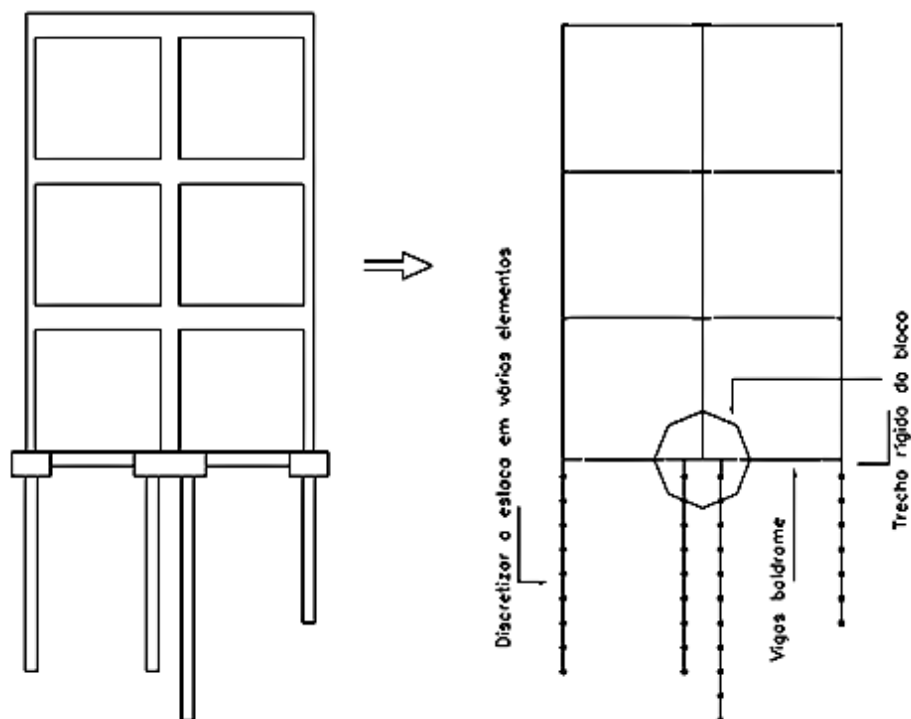


Figura 3.10. Representação da fundação e discretização das estacas (Manual software TQS)

A filosofia adotada neste sistema, de acrescentar molas de rigidez equivalente aos nós dos elementos de fundação discretizados, permite que a estrutura faça a adaptação de acordo com a própria rigidez, sem a necessidade da introdução de forças nas fundações e a imposição de deslocamentos nos apoios. Não é um processo de convergência iterativa, pois toda a estrutura (super e infra) é resolvida, simultaneamente.

3.5.3 Cálculo do recalque – método de Randolph (1977)

Paralelo ao procedimento foi calculado também o recalque das estacas pelo método de Randolph (1977), considerando o efeito de grupo entre estacas de um mesmo bloco. Para esta etapa considerou-se os valores de cargas com ISE e sem ISE obtidas pelo software. Com as cargas obtidas por meio do software TQS (considerando a ISE e sem considerar a ISE) e o recalque obtido de forma analítica pelo método de Randolph (1977), pode-se obter a curva carga vs. recalque de cada pilar do caso de estudo analisado para a condição teórica (carga e recalque teóricos). Detalhe que as cargas e recalques foram obtidos de forma a simular a evolução da construção, analisando cada pavimento, sendo acrescentado à medida do avanço da construção. O método de Randolph (1977) utilizado foi baseado na equação 3.4, onde

é possível obter a estimativa de recalque da estaca isolada. Incluindo os fatores obtidos nas equações 3.35 e 3.6, na equação 3.4, tem-se a estimativa de recalque considerando o grupo de estacas de um mesmo bloco.

$$\frac{P_t}{G_L r w_t} = \frac{\frac{4\eta}{(1-\nu)\varepsilon} + p \frac{2\pi \operatorname{tgh}(\mu L)}{\zeta} \frac{L}{\mu L} \frac{L}{r_o}}{1 + \frac{1}{\pi\lambda} \frac{4\eta}{(1-\nu)\varepsilon} \frac{\operatorname{tgh}(\mu L)}{\mu L} \frac{L}{r_o}} \quad 3.4$$

$$\zeta^* = e\zeta - \sum_{i=2}^n \ln = \frac{S_i}{r_o} \quad 3.5$$

$$\varepsilon^* = \varepsilon \left[1 + \frac{2}{\pi} \sum_{i=2}^n \frac{r_b}{s_i} \right] \quad 3.6$$

onde, P_t - Carga no topo da estaca; w_t - Recalque no topo da estaca; G_L - Módulo cisalhante do solo à uma profundidade $Z = L$; L - Comprimento da estaca; r_o - Raio da estaca; r_b - Raio da ponta da estaca; $\varepsilon = \frac{G_L}{G_b}$, G_b - Módulo cisalhante abaixo da ponta da estaca; $p = \frac{\bar{G}}{G_L}$, \bar{G} - Módulo cisalhante médio do solo no trecho penetrado pela estaca; $\lambda = \frac{E_p}{G_L}$, E_p - Módulo de Young do material da estaca; s_i - Espaçamento entre duas estacas; e - Número de estacas no grupo.

3.5.4 Indução de recalques reais – monitoramento de recalques

Uma vez que o caso de estudo do presente trabalho possuiu um monitoramento de recalque durante a sua construção, foi possível induzir o recalque real de cada pilar monitorado no modelo utilizado no software, induzindo um recalque prescrito na base do pilar e obter o esforço atuante para cada estágio de construção analisado.

Para a etapa da indução do recalque no modelo analisado foi necessário fazer estimativas de recalque em determinados pilares onde não ocorreu o monitoramento de recalque durante a construção do edifício (como, por exemplo, nos pilares de garagem) e também para alguns pilares que apresentaram problemas na obtenção de suas leituras (interferências da obra).

É importante distinguir o local onde houve o monitoramento e onde as leituras foram estimadas (Figura 3.11).

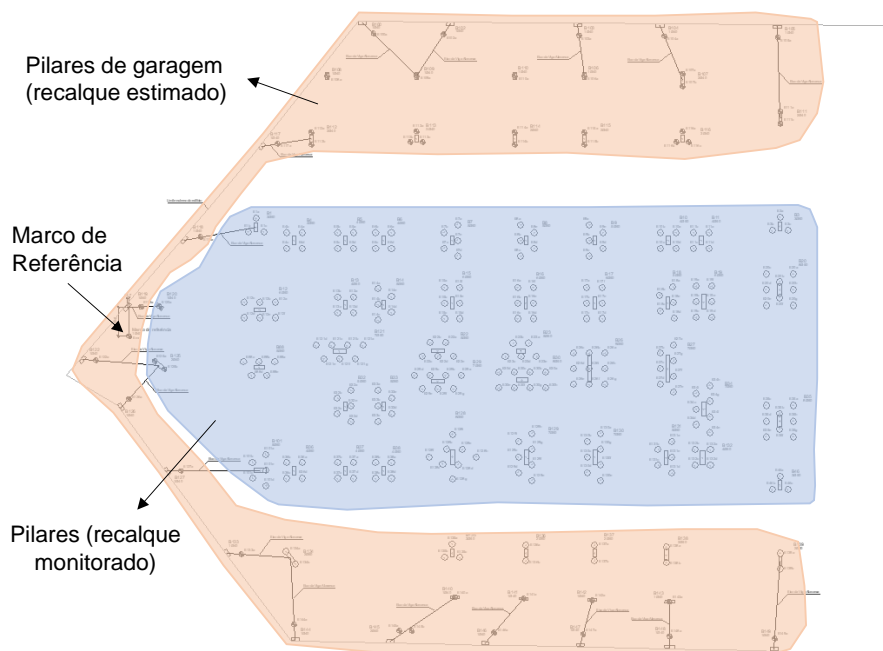


Figura 3.11. Mapa de instrumentação, pontos monitorados e estimados

3.5.5 Indução de recalques – calculados pelo método de Randolph (1977)

Para a estimativa de recalque também foi utilizado o método de Randolph (1977). Como o método depende da variação das propriedades do material da fundação (propriedades do material da estaca, espessura das camadas do solo e diversos parâmetros do solo), foi necessário fazer uma validação do método, analisando a variação das propriedades na estimativa. A propriedade do material da estaca já havia sido definida por meio de ensaio de laboratório e validada no trabalho de Waked *et al*, 2019. Os parâmetros do solo foram analisados segundo a dispersão dos recalques e estimados em relação aos valores de recalque medido.

Os recalques induzidos na etapa anterior foram induzidos em todos os pilares da obra, simultaneamente. Após o processamento, obteve-se a carga atuante em cada pilar, da mesma forma que, para o caso anterior, pode-se obter a curva carga vs. recalque de cada pilar para uma condição mais próxima do real (carga teórica obtida por meio do software e recalque real).

3.5.6 Cálculo dos parâmetros de interação

Para as duas condições (teórica e real) são calculados os parâmetros de análise de interação solo-estrutura consagrados na bibliografia, a fim de analisar os resultados obtidos.

3.5.7 Indução de recalques unitários

O terceiro modelo é para a condição em que é induzido um recalque unitário em cada pilar, individualmente. Cada recalque será induzido no pilar, de forma individual, com o intuito de se verificar a influência do deslocamento nos demais pilares. A análise será feita apenas para os pilares do corpo do prédio (pilares que tiveram o recalque monitorado durante a sua construção).

Capítulo 4 – CASO DE ESTUDO

O capítulo descreve o caso de estudo analisado durante a presente pesquisa. As características referentes ao aspecto geotécnico e da estrutura estão expostas ao longo do conteúdo. Além disto, são apresentadas as informações referentes ao instrumento elaborado para o monitoramento de recalque realizado durante a construção da estrutura, bem como os detalhes a respeito dos projetos do sistema de medição, onde serão descritos, a malha de dutos, o marco de referência e os instrumentos de medição.

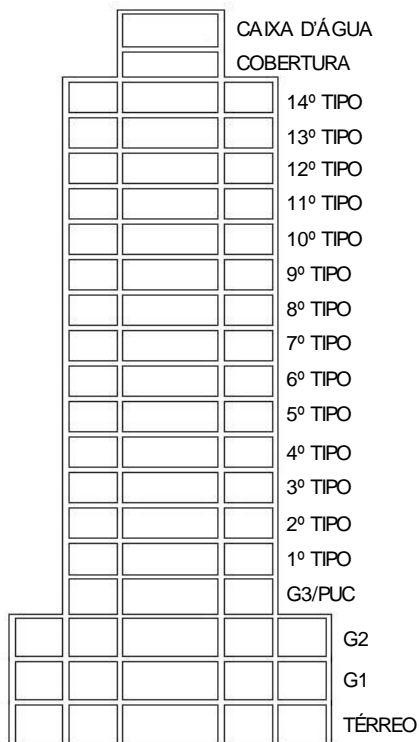
4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

A construção em análise é um edifício residencial composto por 19 pavimentos, sendo: pavimento térreo, dividido entre garagem e portaria; 2 andares somente de garagem (G1 e G2); o próximo pavimento, é dividido entre a garagem e a área de uso comum (PUC); seguem-se 14 andares de pavimento tipo, e por último a laje de cobertura compreendendo a caixa d'água. O corte esquemático e uma imagem externa do edifício, já em estágio finalizado de construção, estão representados na Figura 4.1. De acordo com as informações do projeto de arquitetura, os pavimentos tipo possuem 196 unidades autônomas.

4.2 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

A investigação geotécnica foi realizada por meio de oito ensaios SPT (*Standart Penetration Test*). As sondagens à percussão foram realizadas até uma profundidade média igual a 18,45 metros, relatados nos boletins de sondagens como limite de perfuração. O projeto de locação dos furos de sondagem está apresentado na Figura 4.2. A Figura 4.3 apresenta o perfil stratigráfico e a variação do SPT estimados a partir das sondagens executadas. No anexo A, são apresentados os respectivos relatórios de sondagens de todos os furos realizados. Nota-se que o perfil é constituído por intercalações de camadas de argila e areia. Há também a presença de camada de solo mole na base da camada de areia argilosa. Destaca-se que a camada de solo mole foi observada em todas as sondagens exceto nas verticais 7 e 8.

O nível d'água foi verificado à profundidade média igual a 3,6 metros. O impenetrável foi considerado na profundidade de 19,5 a 20,5 metros.



Corte esquemático do edifício

Imagem externa do edifício

Figura 4.1. Edifício analisado no trabalho

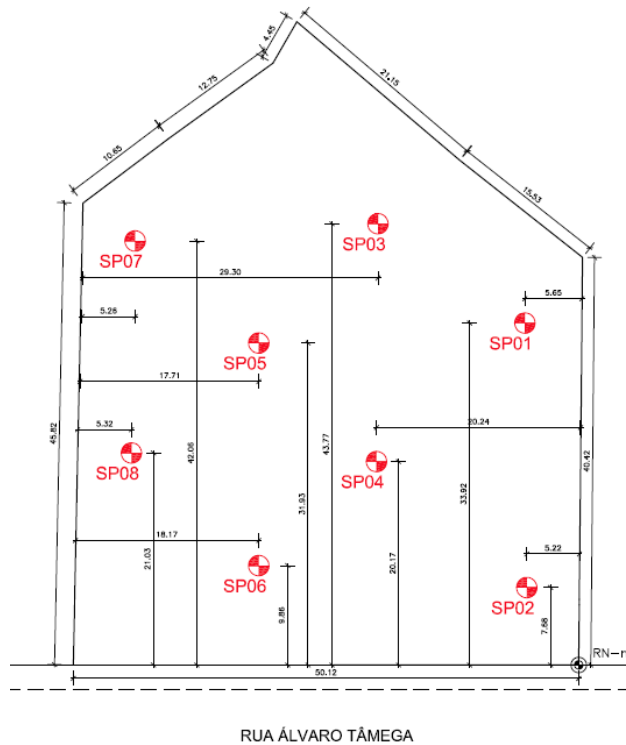


Figura 4.2. Localização dos furos de sondagem realizados

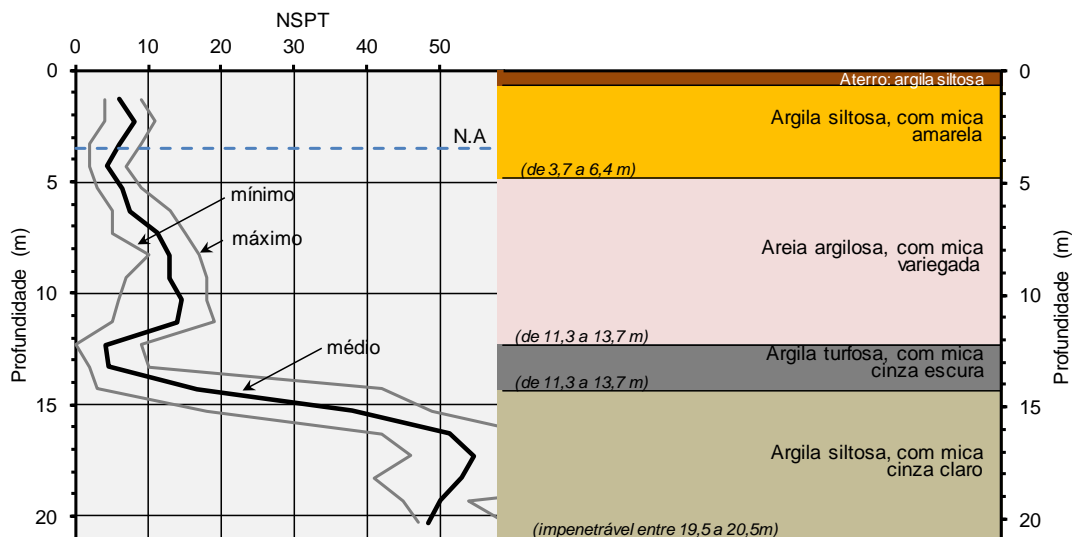


Figura 4.3. Perfil geotécnico

A partir dos relatórios de sondagem, da planta de locação e da carga de pilares fornecidos pela estrutura, as fundações da edificação em análise foram definidas como estacas profundas do tipo, hélice contínua monitorada, com diâmetros iguais a 400 mm e 500 mm, e profundidade igual a 18 metros, armadas nos primeiros quatro metros. Sendo assim, pode-se notar que as estacas estão assentadas em camada de argila siltosa com areia. A partir desta profundidade, o laudo do SPT revela elevados números de golpes.

O edifício possui 82 pilares partindo das fundações, sendo 46 estacas com 400 mm de diâmetro e 235 estacas com 500 mm de diâmetro. As cargas de trabalho das fundações variam entre 270 kN a 915 Kn, conforme informações de projeto.

4.3 CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA

A edificação é constituída de estruturas convencionais em concreto armado como lajes, vigas, pilares, núcleo rígido composto pelos pilares do poço de elevador e paredes de bloco de concreto em torno da escada.

Os elementos estruturais que compõem a edificação são em concreto armado, com resistência característica a compressão do concreto, a nível de projeto, maior ou igual a 20 MPa. As lajes dos pavimentos são maciças com espessuras variando entre 14 e 16 cm. Os pilares apresentam seções variáveis conforme projeto de forma. As alvenarias internas e externas são constituídas por tijolos cerâmicos. A caixa d'água é constituída de paredes de concreto armado.

4.4 PESQUISAS PARALELAS

O caso de estudo contou com a colaboração de pesquisas paralelas ao desenvolvimento da tese, tanto de mestrado como de iniciação científica, inclusive com a participação de outras instrumentações. Todas as pesquisas utilizadas são voltadas para a compreensão do fenômeno da interação solo-estrutura de um edifício com estaca hélice contínua.

Durante o desenvolvimento do trabalho, ocorreu em paralelo, a tese de mestrado de Waked (2017), onde o autor definiu um programa experimental visando a determinação do deslocamento e das deformações da estaca em relação ao maciço de fundação, cujo objetivo era, fundamentalmente, estimar a interação estaca-solo. O autor mediu as seguintes grandezas: deslocamentos de diferentes pontos da estaca em relação ao topo e deformação específica em diferentes pontos da estaca. A partir dos dados obtidos buscou avaliar o processo de transferência de carga da estaca para o maciço de fundação, pela comparação dos resultados experimentais, com previsões por metodologias baseadas na teoria da elasticidade, ensaio de carregamento dinâmico (PDA) e método empírico (ELU).

Para a determinação das grandezas foi projetado um instrumento com hastes de deslocamento (*telltales*) e extensômetros elétricos (*strain-gages*), instalado durante a execução das estacas, mais especificamente, de imediato após a concretagem, enquanto o concreto ainda permitia trabalhabilidade. Detalhes e corte dos *telltales* estão ilustrados nas figuras 4.4 e 4.5. Aproveitando a estrutura do *telltale*, os medidores foram soldados em quatro diferentes profundidades de ancoragem das barras dos *telltales* (Figura 4.6).

O autor obteve como resultado da instrumentação realizada uma análise satisfatória do comportamento da edificação durante a sua construção, sendo os resultados das estacas, intermediária e central, muito próximos do esperado. Entretanto, os resultados das estacas periféricas mostraram comportamentos singulares com surgimento de atrito negativo, provavelmente, causados pela dissipação de poropressão e do escoamento da camada de argila mole presente no caso de estudo entre 12 e 15 m de profundidade. As conclusões de Waked (2017) contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa, pois o autor pode comprovar que a posição relativa da estaca na obra é um dos principais condicionantes de comportamento, sendo que as estacas de periferia apresentaram comportamento distinto das estacas mais centralizadas.

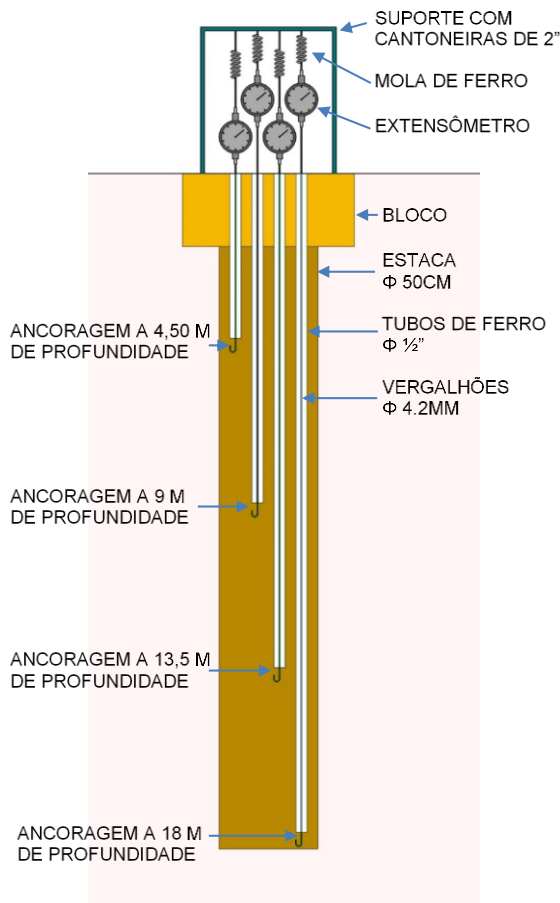


(a) Sistema de aquisição de dados (LYNX) conectado ao computador e aos strain-gages

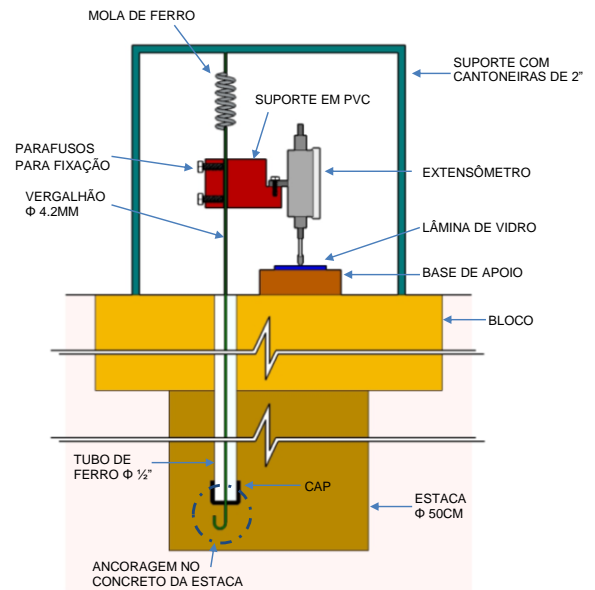


(b) Instrumento instalado no bloco sobre as estacas

Figura 4.4. Detalhes do instrumento instalado no campo



(a) Projeto de montagem do telltale



(b) Projeto de montagem do telltale

Figura 4.5. Corte apresentando detalhes do instrumento

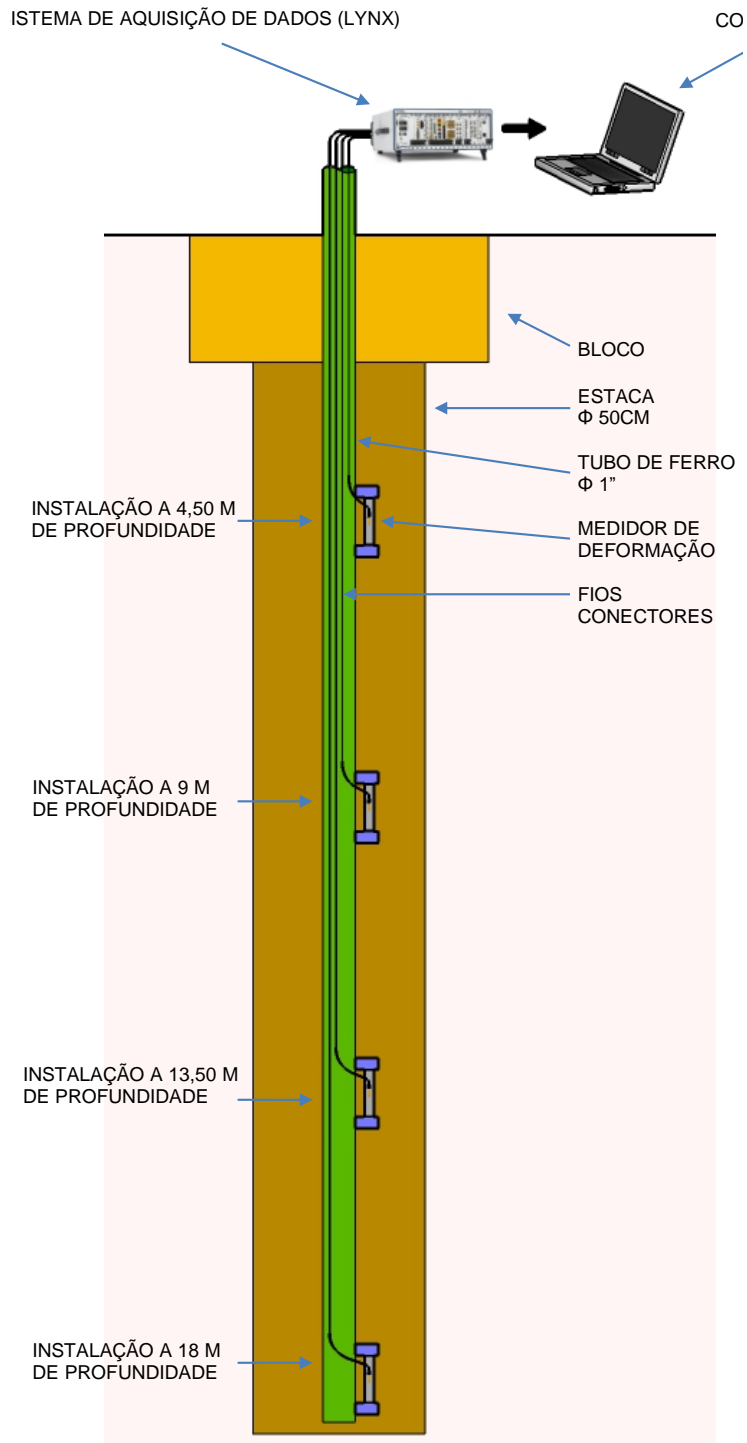


Figura 4.6. Projeto de montagem do medidor de deformação

Foi possível observar significativas diferenças entre os níveis e a distribuição de tensões, entre os resultados obtidos e as previsões, a partir da teoria da elasticidade e ensaios dinâmicos. Sobretudo, notou-se que há maior mobilização de atrito lateral nas camadas superiores do que se prevê e que a distribuição de tensões é fortemente influenciada pela estratigrafia.

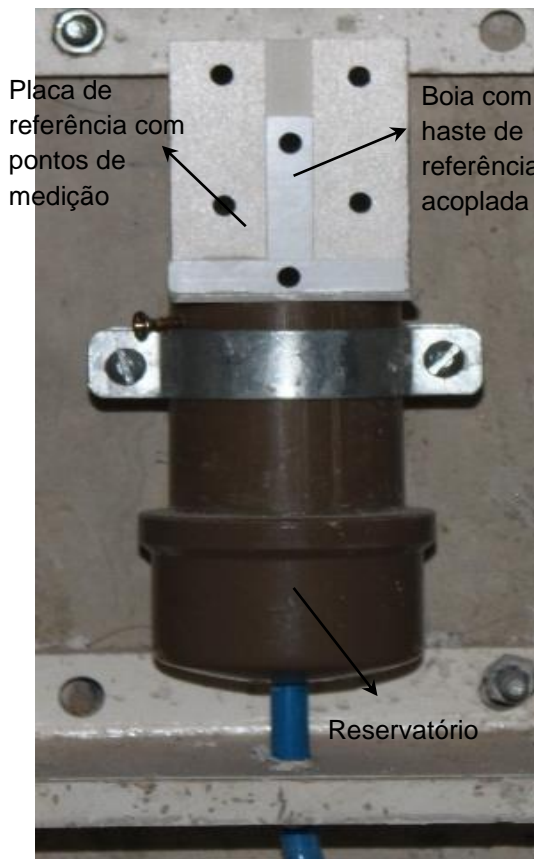
Especialmente, verificou-se que a presença de camada de solo mole interferiu, de maneira significativa, na interação solo-estaca. No caso, o processo de transferência de carga gerado pelo grupo de estacas da obra pode ter gerado níveis de tensões e deformações no maciço, que provocaram o desconfinamento da base da camada de areia mais superior. Desse modo, o comportamento observado, que indica o deslocamento acentuado de trechos intermediários e ponta das estacas de periferia pode ser explicado pelo desenvolvimento de atrito negativo.

4.5 MONITORAMENTO DE RECALQUE

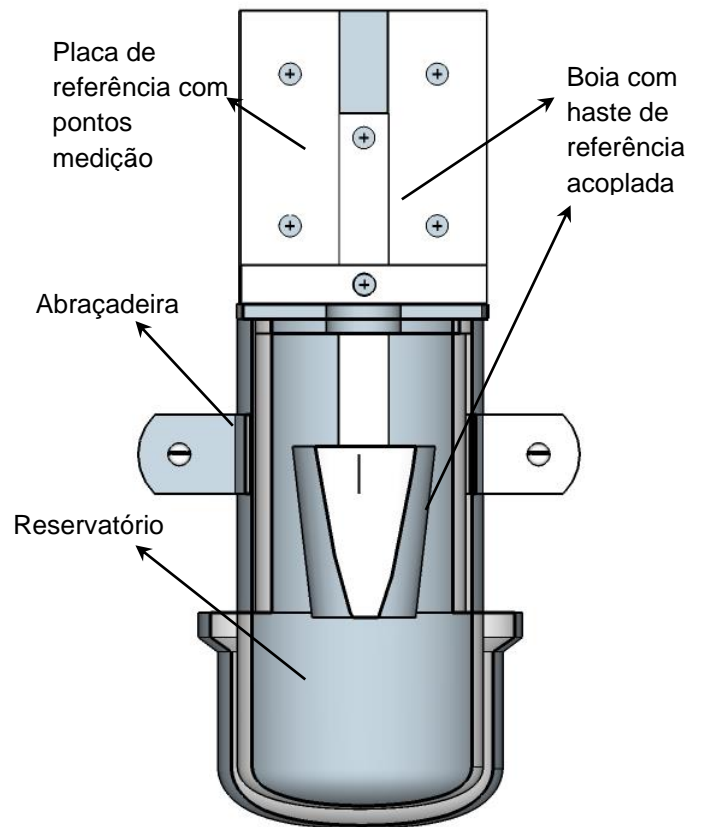
O sistema de monitoramento de recalque utilizado no estudo foi desenvolvido durante a tese de mestrado de Prellwitz (2015). A autora desenvolveu um sistema econômico, de fácil manuseio, mas ao mesmo tempo robusto para evitar danos durante o período de monitoramento na obra. O sistema permite medir deslocamentos verticais de pontos da estrutura, em relação a um nível de referência. Os pontos da estrutura, particularmente monitorados, são os pilares.

Os principais requisitos da aquisição de dados de um sistema de monitoramento de recalque são: agilidade nas leituras no campo, precisão, acurácia e facilidade de tratamento de dados. Dentre as diversas possibilidades nas formas da aquisição de dados de medição de deslocamento, utilizou-se a fotogrametria para medição dos deslocamentos.

No trabalho apresentado por Prellwitz (2015) foi desenvolvido um sistema baseado no princípio dos vasos comunicantes para determinação do nível d'água, que permite a determinação dos deslocamentos dos pilares e medidas sucessivas, instrumentos com aquisição de dados por meio da fotogrametria. Basicamente, mede-se os recalques por meio da observação da variação do nível d'água em um sistema de dutos que interligam um marco de referência a outros pontos de medição, no caso, os pilares da obra. A Figura 4.7 apresenta o sistema de monitoramento de recalque desenvolvido por Prellwitz (2015), sendo que os detalhes dos procedimentos de medição e de aquisição de dados estão especificados em seu trabalho. Assim como também os ensaios realizados para determinar precisão, acurácia e funcionalidade.



(a) Projeto de sistema desenvolvido para monitoramento de recalque.



(b) Detalhamento do sistema de monitoramento de recalque.

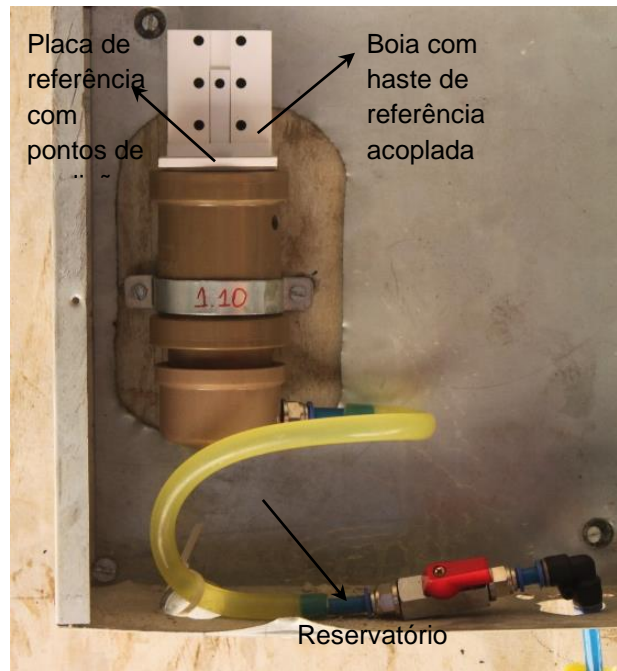
Figura 4.7. Sistema de monitoramento de recalque desenvolvido por Prellwitz (2015)

Para a tese de doutorado pretendeu-se aperfeiçoar o sistema a fim de garantir um perfeito funcionamento, de forma que ocorressem menos interrupções de leituras devido a problemas na obra, e aperfeiçoou-se a precisão das leituras aumentando a quantidade de dados obtidos em cada leitura.

Em razão das condições adversas de uma obra, todo o conjunto do instrumento passou a ser instalado dentro de caixas de passagem de metal, evitando os danos provocados ao sistema por pequenos impactos, tais como, a entrada de poeira e a queda de outros materiais dentro do instrumento. O registro para controle da entrada de água em cada instrumento instalado foi substituído por um registro mais compacto e resistente. A boia utilizada para determinar o nível d'água foi substituída por uma esfera para garantir um perfeito nivelamento na água e obter uma resposta mais rápida quanto à equalização do sistema. A Figura 4.8 apresenta o novo instrumento de monitoramento de recalque desenvolvido para este doutorado.



Novo instrumento instalado no canteiro de obra



Detalhes do sistema de medição do novo instrumento

Figura 4.8. Novo instrumento desenvolvido neste trabalho

Devido as alterações realizadas no instrumento, principalmente a mudança do objeto utilizado como boia para determinar a posição do nível d'água, foi necessário refazer o ensaio de verificação do tempo de estabilização do sistema. Para isso, foi montado no laboratório do LECIV, um arranjo simulando o utilizado na obra (reservatórios conectados por uma mangueira) com a indução de um deslocamento forçado, conhecido em um dos reservatórios, enquanto o outro foi mantido fixo. Foram feitas medições em intervalos de tempo crescentes, determinando o tempo de resposta do sistema e os erros entre o valor real do recalque e o valor resultante da planilha de análise de dados. Na Figura 4.9 é possível observar o sistema montado no laboratório para verificar a sua funcionalidade.

Com o propósito de minimizar as distorções causadas pela concavidade da lente da câmera que pudesse interferir no processo de análise dos dados coletados, utilizou-se a ferramenta de correção de lentes do Adobe Photoshop CC e comparou-se os valores corrigidos com os valores obtidos pelo método tradicional, que consiste em uma correção da distorção, translação e escala de forma analítica a partir de planilhas de cálculo. Verificou-se que o sistema se equalizou em, aproximadamente, 30 minutos (Figura 4.10) e que a leitura do recalque evidenciada pelo sistema possui erro de centésimos de milímetros, ao comparar-se ao deslocamento real. Quanto à

correção de lente realizada, comparada com a metodologia, anteriormente utilizada, a qual corrigia, de forma analítica, em planilhas de cálculo, mostrou-se pouco eficaz (Tabela 4.1).

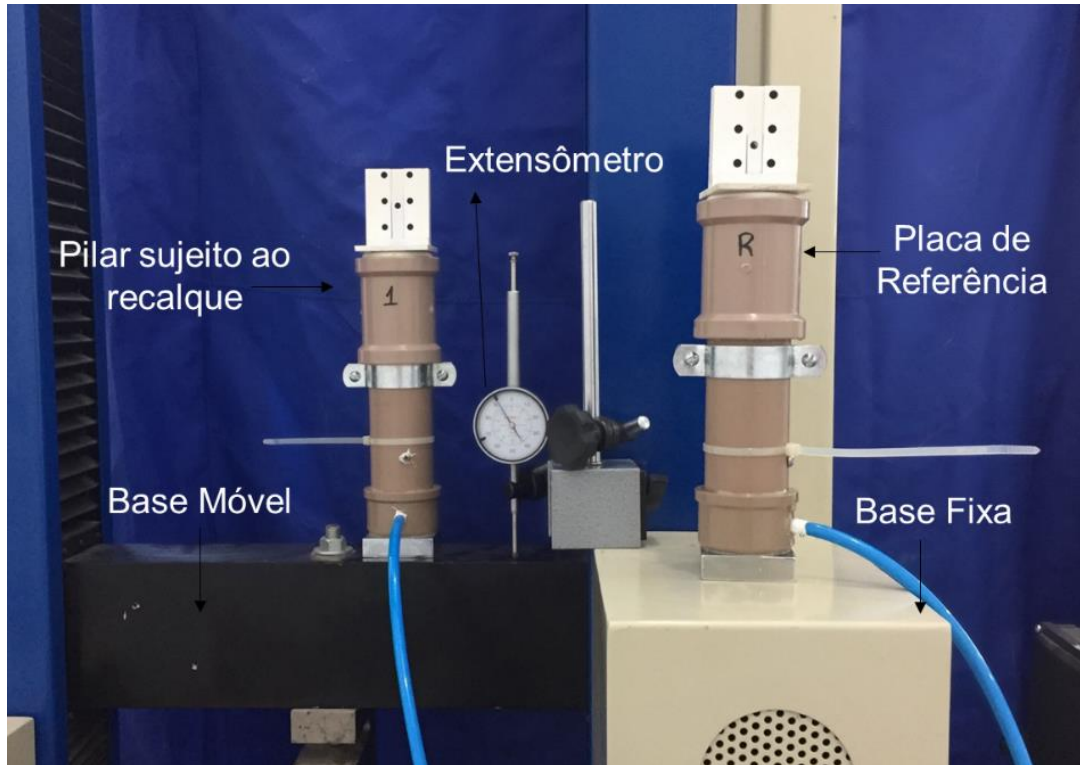


Figura 4.9. Instrumento instalado no laboratório.

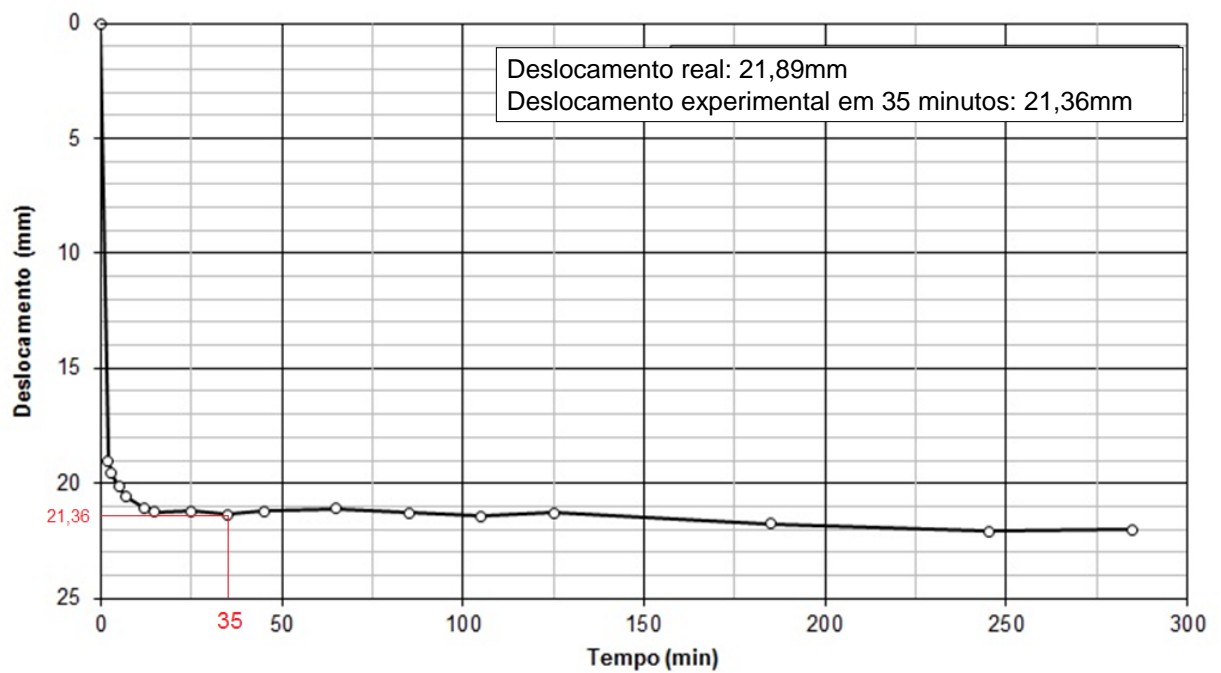


Figura 4.10. Leitura de recalque do ensaio no laboratório

Tabela 4.1. Dados retirados para correção da lente

	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
<i>Valor Real</i>	-20	-20	0	0	20	20
<i>Valor Corrigido</i>	-20,08	-20,08	-0,083	-0,046	19,91	19,943
<i>Erro Absoluto (mm)</i>	0,075	0,075	0,083	0,046	0,09	0,057
					Média	0,0752
<i>Valor Sem Corrigir</i>	-20,05	-20,05	-0,03	-0,012	19,936	19,978
<i>Erro Absoluto (mm)</i>	0,045	0,046	0,03	0,012	0,064	0,022
					Média	0,0376

4.5.1 Marco de referência

Para os sistemas de monitoramento de recalque utilizados é necessária uma referência de nível indeslocável, do tipo “benchmark”. Geralmente, este tipo de nível de referência é engastado em camadas profundas, por meio da injeção de nata de cimento, onde se possa admitir o indeslocável (Figura 4.11). Tendo em vista as características do sistema desenvolvido, o marco de referência tradicional não é adequado, pois não é possível fazer a fixação dos instrumentos de referência de cada linha no próprio marco, sem interferir na aquisição de dados. Neste sentido, o marco de referência para o sistema descrito, anteriormente, deve possuir uma fundação exclusiva e isolada da estrutura do edifício.

Todavia, este tipo de marco de referência requer um cuidado especial devido ao custo que pode acarretar na execução desta fundação. Vale ressaltar que, quando o monitoramento é planejado desde o início da obra, o custo é bastante reduzido. Além disto, a posição da execução do marco deve ser planejada, levando em conta que a fundação do edifício não se movimenta individualmente, e nesse caso, o movimento do maciço pode acabar influenciando o marco de referência, consequentemente, as suas leituras.

Para o caso de estudo, foi selecionado como marco de referência, uma fundação profunda, sendo que esta estaca foi executada juntamente com a fundação do edifício, e posicionada de forma que os deslocamentos maiores do maciço não influenciassem nos deslocamentos do marco. Para o sistema e o caso de obra específico do trabalho, o marco em questão funcionou bem e apresentou resultados adequados para a proposta que se tinha no monitoramento de recalques.

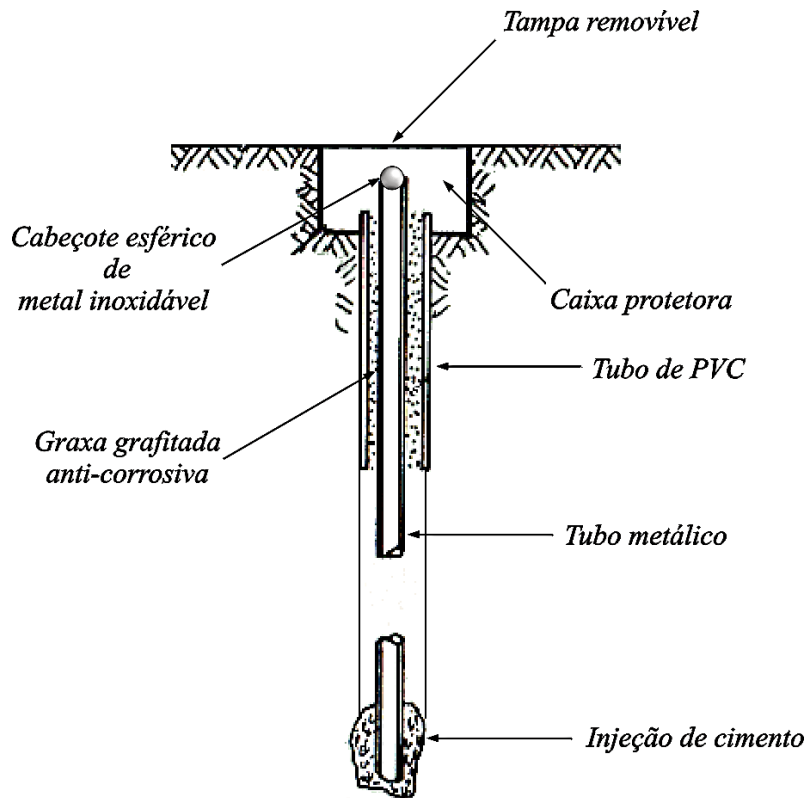


Figura 4.11. Referência de nível profunda (Alonso, 211)

Sobre a fundação foi executado, posteriormente, um pilar provisório onde foram fixados os instrumentos de referência de cada linha. O marco de referência foi constituído por um bloco para fixar as caixas de monitoramento e um pilarete de 20x20x70 cm.

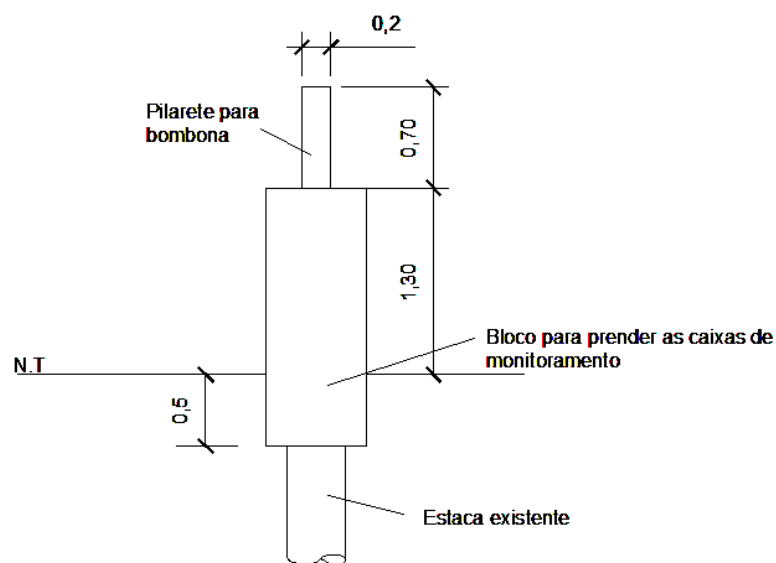


Figura 4.12. Corte transversal do marco de referência

4.5.2 Mapa de instrumentação

O mapa de instrumentação é constituído pela indicação dos pilares que serão monitorados, podendo muitas vezes não incluir todos os pilares da obra. A quantidade de pilares monitorados depende da área e da importância da obra. O ideal é sempre monitorar o maior número possível, pois durante os serviços de acompanhamento de recalque, os instrumentos instalados no pilar costumam ser danificados ou ficar impedidos de acesso.

O projeto de interligação e definição do número de linhas do sistema depende da distribuição dos pilares na obra e da posição do marco de referência, no entanto, consideram-se linhas com as menores distâncias entre pilares.

A disposição do instrumento de medição utilizado, em planta, deve constar de um desenho, onde se numeram os pilares, subdividindo em linhas (Figura 4.13).

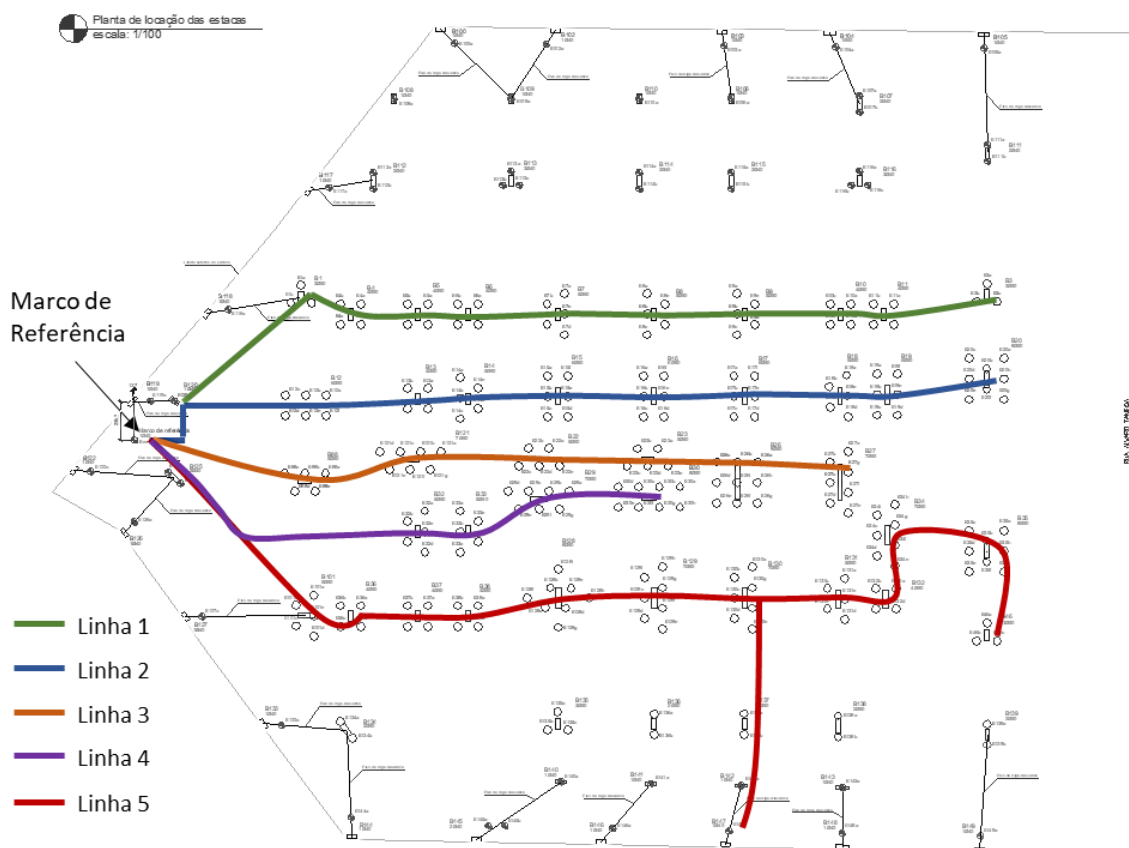


Figura 4.13. Subdivisão das linhas contendo os pilares que serão monitorados

4.5.3 Aquisição de dados

As leituras realizadas no instrumento durante a construção do edifício foram feitas com uma frequência média de duas vezes por semana, e após a finalização da

última laje as leituras passaram a acontecer com uma frequência de uma vez por semana.

A primeira medição dos recalques foi realizada em 24 de fevereiro de 2016, quando já havia sido concretada a terceira laje. Sendo assim, a leitura aferida naquele momento foi considerada como referência, pois o início da leitura só foi possível a partir da terceira laje, no momento que o instrumento se encontrou completamente instalado e pronto (lembrando que a instalação do instrumento só pode ser iniciada após a retirada da forma dos pilares do primeiro andar). Durante esta fase, até a realização da primeira leitura (após execução da terceira laje), o segundo e o primeiro pavimentos ainda se encontravam com o reforço de escoras metálicas. Portanto, considerou-se que a transferência de carga para as estacas teve início somente após o término da terceira laje, com a retirada dos escoramentos do térreo. Nesse sentido, as leituras do monitoramento de recalque representam o início real dos carregamentos.

É importante destacar que, durante a construção do edifício e a aquisição das leituras de recalque, foram necessários alguns serviços de manutenção no instrumento por diversos motivos: suspeita de alguma leitura errada, problemas encontrados no funcionamento (tipo vazamento, bolha, etc.), interferência do processo construtivo por danos (entrada de grande quantidade de poeira/serragem, boia emperrada, por exemplo) ou por conta da própria movimentação da estrutura, somado ao fato da linha de monitoramento ter ficado muito extensa, o que provocou certa dificuldade de se fazer a leitura da própria linha (recalque diferencial grande entre os instrumentos da mesma linha).

A obra teve início com o serviço de execução das fundações no dia 20 de maio de 2015 e a concretagem da primeira laje ocorreu no dia 05 de novembro de 2015. A Tabela 4.2 apresenta um resumo das datas das leituras de recalques obtidas nas etapas construtivas da obra. Foram realizadas, ao todo, 119 leituras; na tabela, a seguir, estão apresentadas apenas as leituras após a execução da concretagem de cada laje.

Tabela 4.2. Datas das leituras de recalque realizadas e as respectivas atividades realizadas até o momento

Leitura	Data do Serviço	Etapa Construtiva	Data da Leitura	Tempo (dias)
-	20/05/2015	Execução Fundação	-	0
-	05/11/2015	Concretagem 1ª Laje	-	169
-	09/12/2015	Concretagem 2ª Laje	-	204
	02/02/2016			
-	03/02/2016	Concretagem 3ª Laje	04/02/2016	260
	04/02/2016			
1	11/03/2016	Concretagem 4ª Laje	11/03/2016	296
2	31/03/2016	Concretagem 5ª Laje	04/04/2016	320
3	25/04/2016	Concretagem 6ª Laje	26/04/2016	342
4	12/05/2016	Concretagem 7ª Laje	13/05/2016	359
5	23/06/2016	Concretagem 8ª Laje	24/06/2016	401
6	12/07/2016	Concretagem 9ª Laje	14/07/2016	421
7	28/07/2016	Concretagem 10ª Laje	28/07/2016	435
8	10/08/2016	Concretagem 11ª Laje	10/08/2016	448
9	26/08/2016	Concretagem 12ª Laje	30/08/2016	468
10	12/09/2016	Concretagem 13ª Laje	13/09/2016	482
11	29/09/2016	Concretagem 14ª Laje	30/09/2016	499
12	18/10/2016	Concretagem 15ª Laje	21/10/2016	520
13	07/11/2016	Concretagem 16ª Laje	08/11/2016	538
14	24/11/2016	Concretagem 17ª Laje	25/11/2016	555
15	13/12/2016	Concretagem 18ª Laje	16/12/2016	576
16	03/01/2017	Concretagem 19ª Laje	03/01/2017	594
17	30/01/2017	Concretagem 20ª Laje	30/01/2017	621
18	31/01/2017	Alvenaria	31/01/2017	622

Capítulo 5 – PARÂMETRO DE ANÁLISE DA ISE

Atualmente, a ISE, do ponto de vista geotécnico, é analisada somente quando são conhecidos os recalques reais (medidos) da estrutura. As metodologias utilizadas, normalmente, para análise da ISE necessitam como parâmetro de entrada o recalque absoluto da estrutura, o que permite analisar os seus efeitos apenas durante e/ou após a construção, e não desde a fase de projeto, inclusive durante o dimensionamento. Quando os recalques são induzidos na estrutura, ainda durante a fase de projeto, para análise considerando a ISE, estes são determinados por metodologias teóricas da bibliografia e, também, conservadoras.

A intenção deste trabalho é criar um parâmetro que represente um dos efeitos provocados pela ISE na estrutura, a redistribuição de carga ou interação entre os pilares, a partir da determinação do nível de recalque distorcional que se deseja obter em um determinado projeto.

Portanto, neste capítulo são apresentados detalhes a respeito da metodologia empregada para análise numérica e para a compreensão do problema de interação solo-estrutura por meio de um novo parâmetro. Para efeito de comparação, o mesmo modelo, e seus resultados, foram analisados pelos parâmetros já consagrados pela bibliografia.

Para a elaboração do novo parâmetro foi empregado, inicialmente, um modelo de estrutura simples e simétrica. Foram induzidos recalques a fim de mostrar, de forma didática, os efeitos gerados ao se considerar a interação solo-estrutura, mais especificamente, para analisar o processo de transferência de carga entre os pilares da estrutura. Os valores de recalques induzidos correspondem a deformações distorcionais específicas para correlacionar o mecanismo da ISE com parâmetros de avaliação de recalque já consagrados na bibliografia.

5.1 PARÂMETRO DE ANÁLISE

Ao longo dos anos, os engenheiros de fundação desenvolveram alguns limites para os recalques diferenciais. A prática usual entre os projetistas de fundação é estimar os recalques, obter os diferenciais e decidir se os diferenciais são excessivos. Se os diferenciais forem excessivos, os projetos são alterados para reduzir o recalque

total. Os critérios utilizados para avaliar os recalques diferenciais, geralmente, incluem o parâmetro de distorção angular (β), que representa o recalque diferencial entre dois pontos, Δw , dividido pela distância entre os pontos, ΔL .

Muitas estruturas foram projetadas para limitar o $\Delta w/\Delta L$ a 1/500 ou menos, uma vez que esse valor foi considerado o limite para o surgimento de patologias como rachaduras (Wahls, 1981). A primeira fissuração das paredes do painel foi associada ao $\Delta w/\Delta L$ de 1/300 e o comprometimento estrutural grave foi associado ao $\Delta w/\Delta L$ de 1/150 ou superior. Skempton e MacDonald (1956) recomendam um valor limite de 1/500 para fornecer um fator de segurança contra rachaduras.

Sabendo que recalque distorcional (β) é igual a razão do recalque diferencial entre dois pilares e a distância entre eles, $\beta = \Delta w/\Delta L$, e sendo β o parâmetro distorcional variável provocado nas estruturas, dependendo da bacia de recalque que se deseja obter, substituindo por $1/x$, tem-se que $\Delta w = \Delta L/x$. Sabendo-se também que o recalque distorcional ocorre, principalmente, por conta da rigidez da estrutura, e que a rigidez é medida pela capacidade de redistribuir carga com relação a distorção gerada, substitui-se a relação anterior na equação de rigidez de um corpo, tem-se então, que:

$$k = \frac{\Delta Q}{\Delta L/x} \quad 5.1$$

onde, ΔQ é a variação de carga no pilar; ΔL é a distância entre o pilar deslocado e o pilar i ; e x é o recalque distorcional provocado na estrutura.

A capacidade de variação de carga é inversamente proporcional à distância, sendo assim, a proposta é definir o Fator de Transferência de Carga, F_k , a partir da relação entre a variação de carga gerada pelos deslocamentos da fundação e a distância entre os pilares, sabendo que, quanto maior a distância entre os pilares menor a capacidade de transferência de carga. Tem-se, portanto, um parâmetro que reflete a capacidade de redistribuir a carga e a capacidade da estrutura de se distorcer.

Para tornar o parâmetro independente do recalque distorcional e eliminar o efeito do deslocamento que foi dado em um pilar, a relação foi normalizada por um fator escala, em termos de geometria e carga, dando origem ao parâmetro F_k , dado pela seguinte expressão:

$$F_k = \frac{\sum_{j=1}^{82} \frac{\Delta Q_j}{\Delta L_{ij}}}{\frac{Q_{s/ISE_{med}}}{\Delta L_{med}}} \quad 5.2$$

onde, F_k é fator de rigidez ou Fator de Transferência de Carga; ΔQ_j é a variação de carga no pilar j devido ao recalque induzido (carga obtida com o recalque induzido - carga obtida com apoios indeslocáveis) ($Q_j - Q_{s/ISE}$); ΔL_{ij} é a distância entre o pilar i e o pilar j ; $Q_{s/ISE_{med}}$ é a carga média considerando apoios indeslocáveis; ΔL_{med} é a distância média entre pilares.

A relação do numerador fornece a fração com que um determinado pilar j redistribui carga quando recalca em relação aos outros pilares (Figura 5.1). O somatório de todas as frações representa, portanto, um fator de influência na estrutura para um determinado recalque.

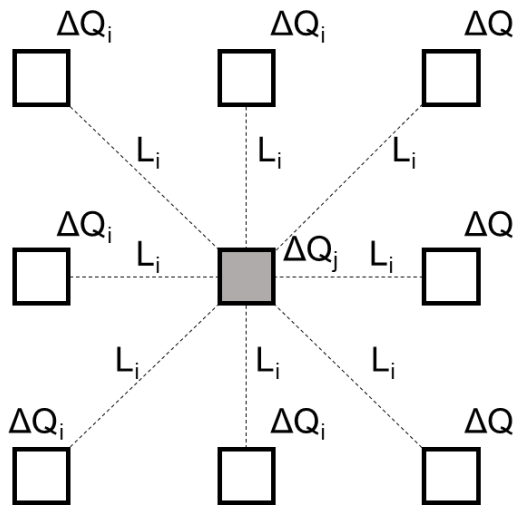


Figura 5.1. Pilar deslocado e simbologia utilizada na equação

5.2 MODELO HIPOTÉTICO

Para a etapa de aplicação do parâmetro em uma condição controlada, foi desenvolvido, inicialmente, um modelo hipotético, numérico simples, simétrico e com características convenientes de análise tridimensional a fim de validar o parâmetro desenvolvido durante o trabalho.

As vigas foram admitidas com seção igual em todos os pavimentos, ao nível das lajes, com suas extremidades conectadas nos pilares. Os pilares, por sua vez, fazem a conexão entre dois pavimentos consecutivos. Em todos os pavimentos são consideradas as mesmas quantidades de pilares com seções idênticas. As lajes foram consideradas como estruturas planas. As vigas baldrame foram adotadas com as mesmas dimensões das vigas dos andares superiores.

O edifício será modelado por um único pórtico espacial, contendo os modelos dos pavimentos (vigas contínuas ou grelhas). O pórtico será composto apenas por barras que simulam as vigas e pilares da estrutura e os pavimentos simulados por grelha. Durante o processamento do modelo, ou seja, geração dos esforços, há uma integração entre os modelos do pórtico e das grelhas. Os esforços resultantes das barras das lajes, sobre as vigas são transferidas como cargas para o pórtico espacial.

A Figura 5.2 apresenta um esquema tridimensional do modelo utilizado e na Figura 5.3 a planta de forma estrutural do pavimento.

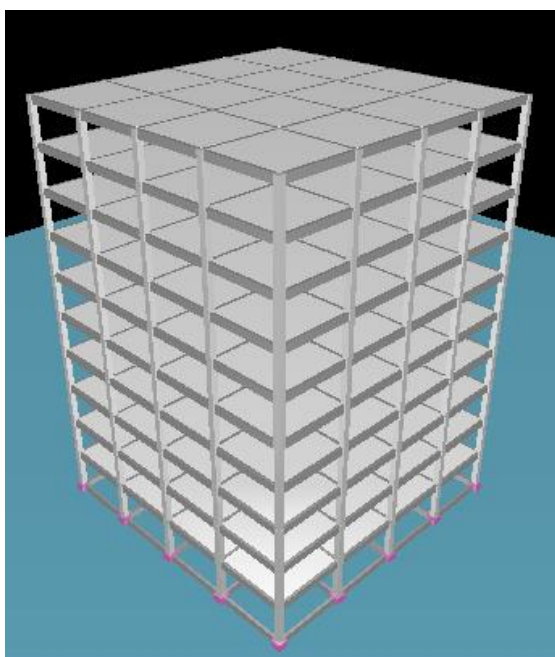


Figura 5.2. Esquema tridimensional do modelo

O modelo numérico utilizado durante a análise foi um modelo que considera o equilíbrio no topo dos elementos estruturais de fundação e utiliza processo iterativo: as forças aplicadas nas fundações geram recalques e estes geram deslocabilidade da superestrutura e vice-versa, alterando os esforços na superestrutura e nas forças nas fundações. Este modelo é bastante utilizado nos escritórios de projetos quando se

deseja considerar a interação solo-estrutura na análise estrutural. Sendo que a fundação é introduzida na análise da superestrutura por meio da indução de recalques na superestrutura.

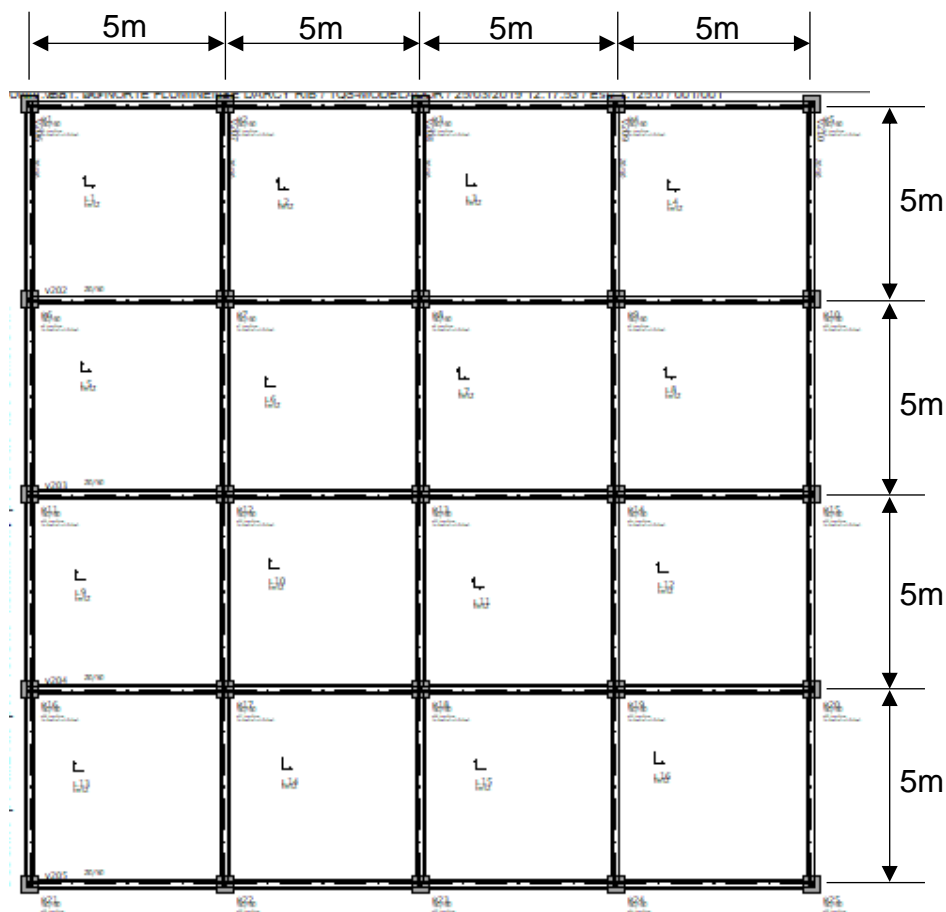


Figura 5.3. Planta de forma estrutural do pavimento

5.3 APLICAÇÃO DO PARÂMETRO NO MODELO HIPOTÉTICO

A fim de compreender o processo de transferência de carga e, portanto, o comportamento da estrutura em relação ao mecanismo da ISE, calculou-se, inicialmente, a estrutura para a condição de apoios indeslocáveis, condição normalmente considerada durante a fase de projeto, obtendo os esforços atuantes nos apoios. Para a determinação destes esforços foi considerado apenas o peso próprio da estrutura + cargas permanentes.

Posteriormente, induziu-se recalque nos pilares, mas de forma isolada, um de cada vez (cada pilar individualmente), e obteve-se novos valores de esforços. Os valores de recalque induzidos foram determinados de forma que gerasse na estrutura uma deformação distorcional conhecida. A Tabela 5.1 apresenta as deformações

distorcionais estabelecidas e os respectivos recalques. As deformações distorcionais foram definidas de forma que se obtivesse uma bacia de recalque com comportamento próximo ao que, geralmente, se encontra nas estruturas pilares centrais, recalcando mais do que os pilares da periferia (Figura 5.4). Vale destacar que as bacias de recalques possuíam como recalque distorcional máximo o recalque distorcional estabelecido.

Tabela 5.1. Deformações distorcionais estabelecidas e recalques

Recalque Distorcional - $1/\beta$	Recalque - Δw (m)
1/100	0,05
1/250	0,02
1/500	0,01
1/750	0,0067
1/1000	0,005

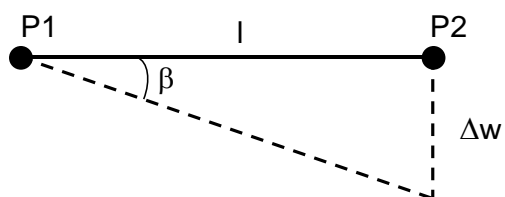


Figura 5.4. Deformação distorcional

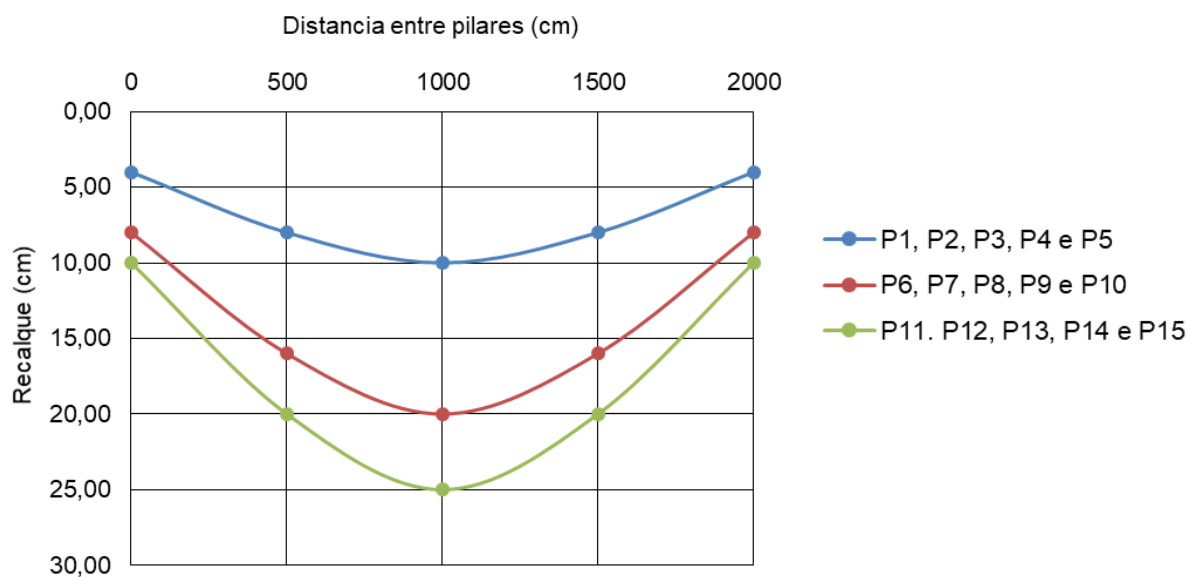


Figura 5.5. Deformada de recalque aplicadas no modelo

A análise do parâmetro foi realizada para todos os pilares da estrutura e para os diferentes níveis de recalque. Com isso pode-se observar a relação da variação de carga com as deformações distorcionais para pilares em diferentes posições na estrutura.

A Figura 5.6 apresenta a variação do fator de rigidez (equação 5.2) com o recalque distorcional para todos os pilares do modelo analisado. Como o modelo é uma estrutura simétrica, representou-se apenas uma parte da estrutura. É possível observar que o fator de rigidez independe do recalque distorcional; para qualquer que seja o recalque distorcional o valor do parâmetro F_k deu-se o mesmo. Porém, é possível observar também, uma dependência espacial em relação à posição do pilar na estrutura. As curvas tendem à aproximação, entre si, ou sobrepostas, dependendo da posição e do grau de pilares influenciadores.

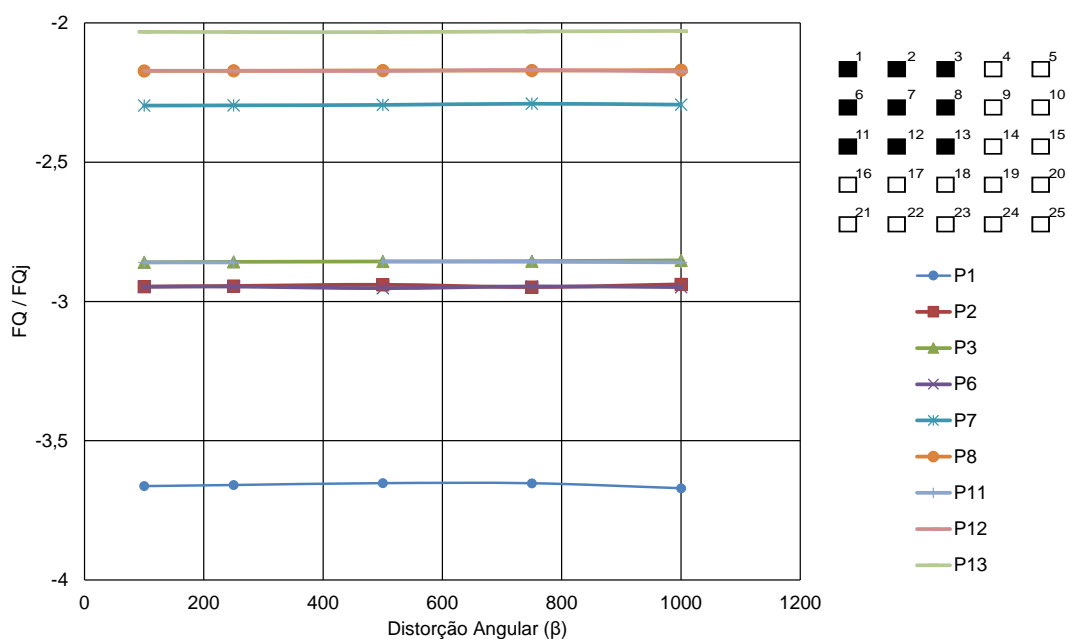


Figura 5.6. Variação do fator de rigidez com a distorção angular

A variação de carga entre os pilares, por meio do parâmetro desenvolvido, foi analisada por meio de isocurvas, para ajudar a compreender melhor o comportamento da estrutura e a relação com o parâmetro. A Figura 5.7 apresenta as isocurvas para todos os recalques distorcionais analisados, conforme Tabela 5.1. É possível confirmar que não há uma dependência do parâmetro F_k em relação ao recalque distorcional e que o comportamento da estrutura é igual em todas as situações, variando apenas na sua magnitude.

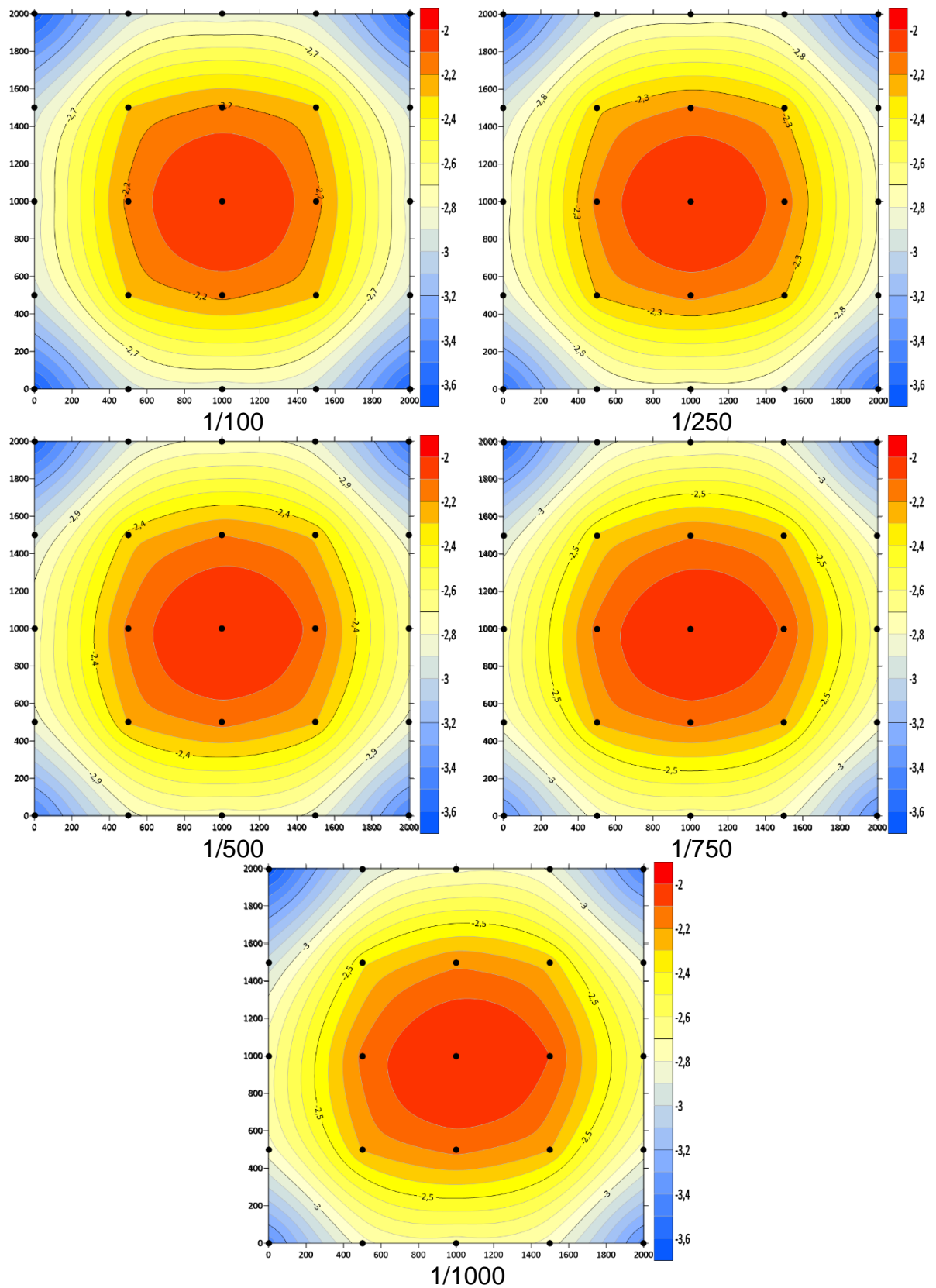


Figura 5.7. Isocurvas para todas os recalques distorcionais analisados

5.4 COMPARAÇÃO COM PARÂMETROS DA BIBLIOGRAFIA

Para efeito de comparação e validação, tanto do modelo hipotético criado quanto do parâmetro desenvolvido, aplicou-se sobre o mesmo modelo os parâmetros que, geralmente, são utilizados para análise da interação solo-estrutura, parâmetros já consagrados pela bibliografia.

Atualmente, a análise da interação solo-estrutura pode ser feita por diferentes metodologias. A forma analítica apresentada por Gusmão (1990), com a finalidade de analisar os efeitos da interação solo-estrutura, mais especificamente os efeitos da redistribuição de cargas nos pilares e a tendência à uniformização dos recalques, pode ser definida por meio de três parâmetros.

5.4.1 Fator de recalque absoluto (AR)

O fator de recalque absoluto é definido pela relação entre o recalque absoluto w_i de um apoio i e o recalque absoluto médio de todos os apoios, definido pela Equação 5.3.

$$R = \frac{w_i}{w_m} \quad 5.3$$

Quando a relação apresenta valor maior do que 1 ($AR > 1$) são observados alívios nos pilares que possuem recalques medidos maiores que a média. No caso contrário, quando a relação apresenta valor menor do que 1 ($AR < 1$), verifica-se um acréscimo de carga nos pilares.

5.4.2 Fator de recalque diferencial (DR)

O fator de recalque diferencial é definido pela relação entre a dispersão do recalque absoluto w_i do apoio i e do recalque absoluto médio de todos os pilares w_m pelo recalque absoluto médio de todos os pilares, definido pela Equação 5.4.

$$DR = \frac{w_i - w_m}{w_m} \quad 5.4$$

É importante ressaltar que o valor obtido pelo fator de recalque diferencial é apresentado em porcentagem. O fator de recalque diferencial representa o desvio percentual do recalque do pilar i , em relação à média dos recalques de todos os pilares. Nos casos onde se obtêm a relação maior do que 1, ou seja, $DR > 1$, constata-

se um alívio de carga nos pilares, enquanto que, quando se obtêm a relação menor do que 1, $DR < 1$, gera-se uma sobrecarga nos pilares.

5.4.3 Coeficiente de variação dos recalques (CV)

O coeficiente de variação dos recalques é definido pela relação entre o desvio padrão dos recalques σ_m e o recalque médio absoluto w_m , definido pela Equação 5.5.

$$CV = \frac{\sigma_m}{w_m} \quad 5.5$$

Barros (2005) apresenta uma crítica em relação aos fatores de recalque absoluto (AR) e de recalque diferencial (DR), propostos por Gusmão (1990). O autor ressalta que estes fatores são de extrema importância quando se deseja avaliar os efeitos da interação solo-estrutura, tais como a redistribuição de cargas nos pilares e sua tendência à uniformização dos recalques. No entanto, tais parâmetros fornecem informações estatísticas, baseadas em dados de recalque ora medidos, ora estimados. Barros acredita existir uma carência de metodologia de análise da presença do mecanismo da interação solo-estrutura, capaz de agregar parâmetros oriundos do acompanhamento de recalque consorciado com um coeficiente numérico indicativo dos efeitos dos mesmos recalques, sobre a redistribuição de cargas nos pilares.

Segundo Prellwitz (2015), a análise definida por Gusmão (1990) é uma análise simplificada, baseada na média e no desvio padrão dos resultados obtidos com o monitoramento de recalque, onde é feita uma comparação do recalque previsto com o medido. Sendo assim, Barros (2005) define uma metodologia de previsão de interação em que, por meio dos dados obtidos com o monitoramento, será definido um coeficiente avaliativo para a redistribuição de carga dos pilares (equações 5.6 e 5.7). O coeficiente de redistribuição de carga é definido como:

$$FQ = \frac{Q_{ssi} - Q_i}{Q_i}, \text{ para situações em que } Q_i \geq Q_{ssi} \quad 5.6$$

$$FQ = \frac{Q_{ssi} - Q_i}{Q_{ssi}}, \text{ para situações em que } Q_i \leq Q_{ssi} \quad 5.7$$

onde, Q_i é a carga do pilar i estimado por meio da suposição de apoios indeslocáveis da estrutura, e Q_{ssi} é a carga do pilar i estimada considerando os recalques medidos durante a fase de construção. Para condições em que $FQ > 1$ ocorre sobrecarregamento do pilar e $FQ < 1$, constata-se um alívio no esforço transmitido ao

apoio. As situações em que FQ e DR são iguais a zero indicam a ausência da interação solo-estrutura (Barros, 2005).

Todos os parâmetros foram aplicados no modelo e foram geradas as isocurvas para análise (figuras 5.8, 5.9 e 5.10).

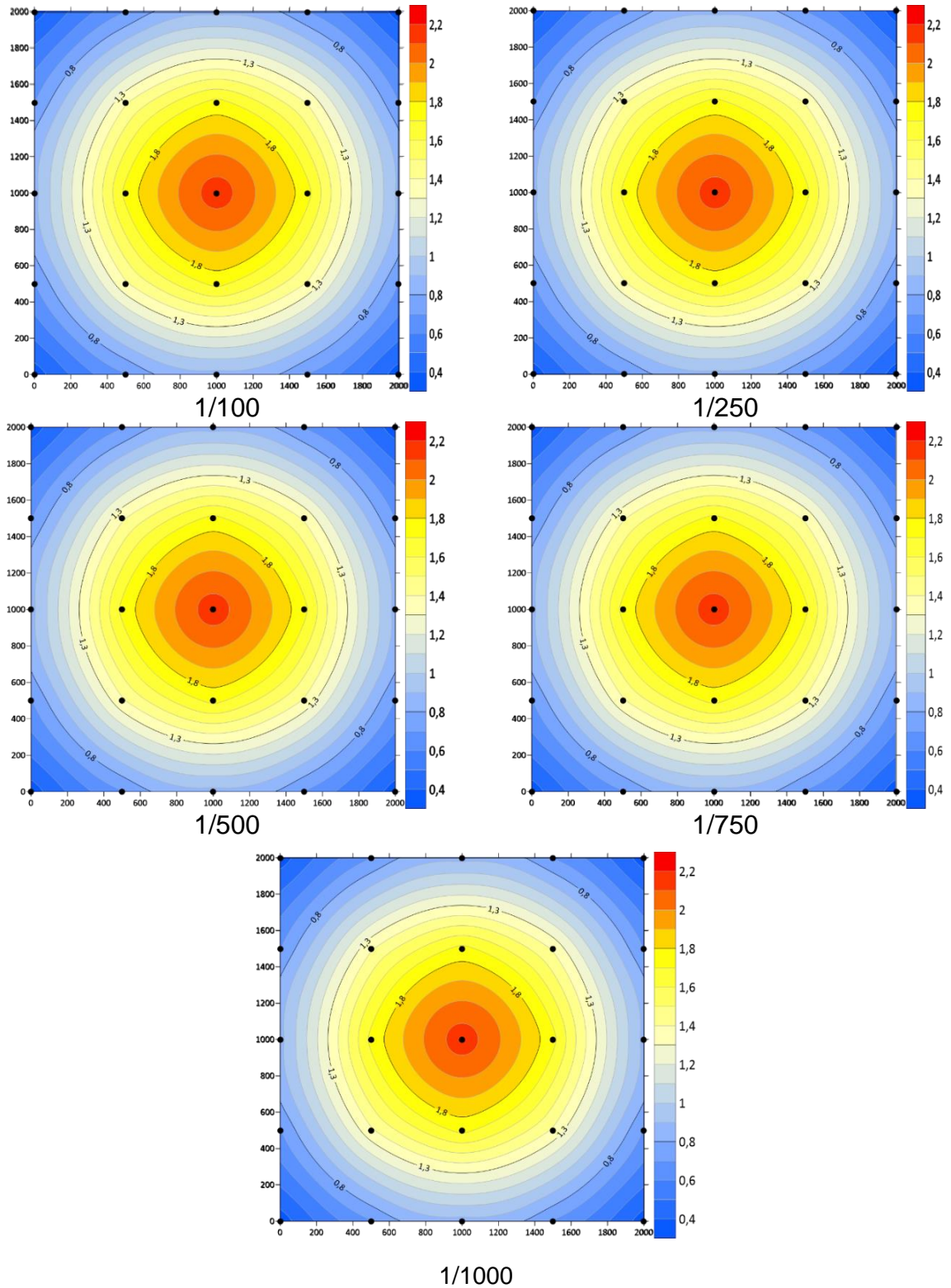
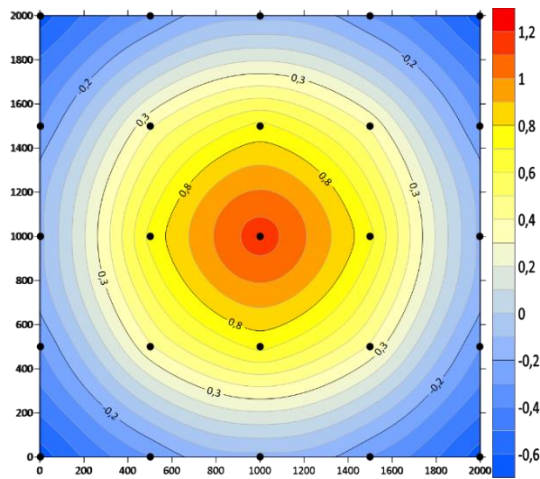
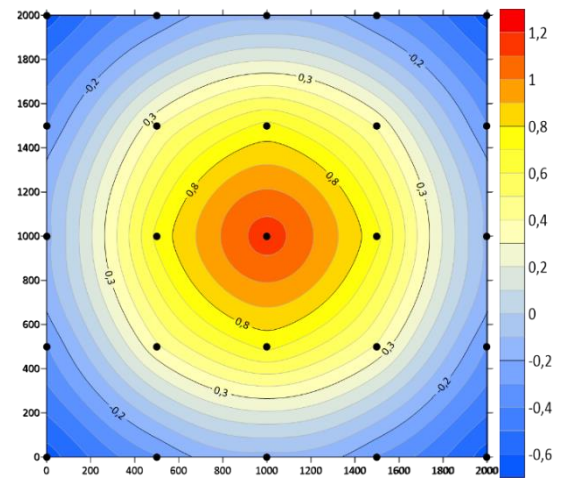


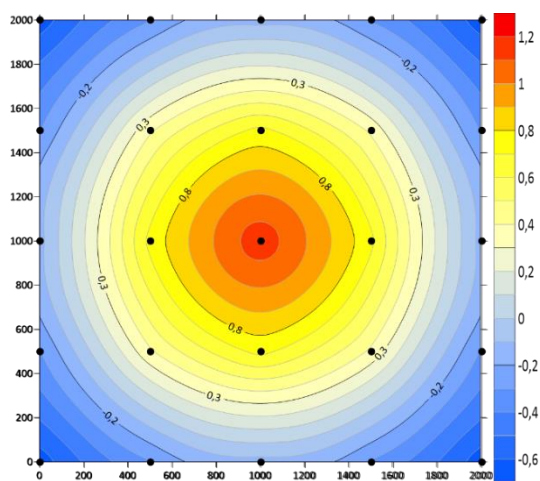
Figura 5.8. Isocurvas de AR



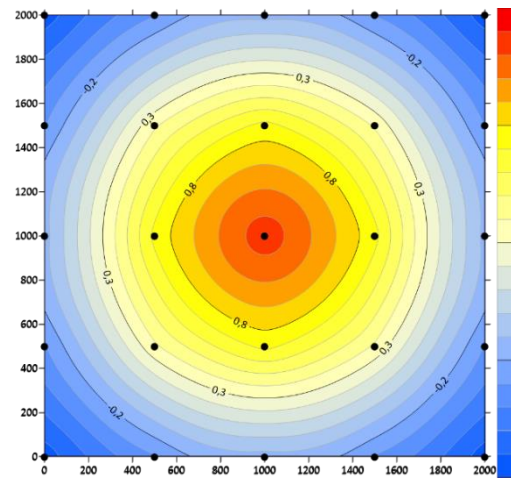
1/100



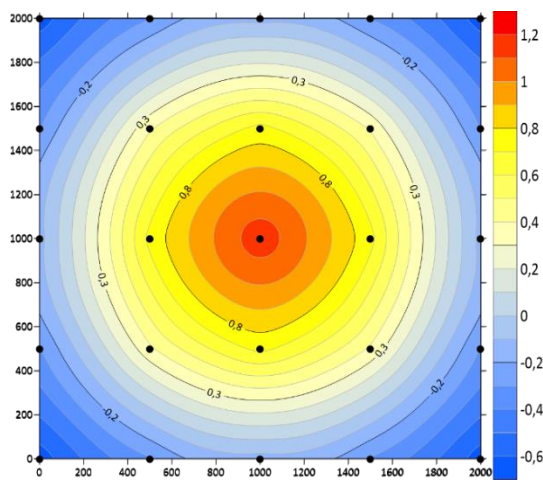
1/250



1/500

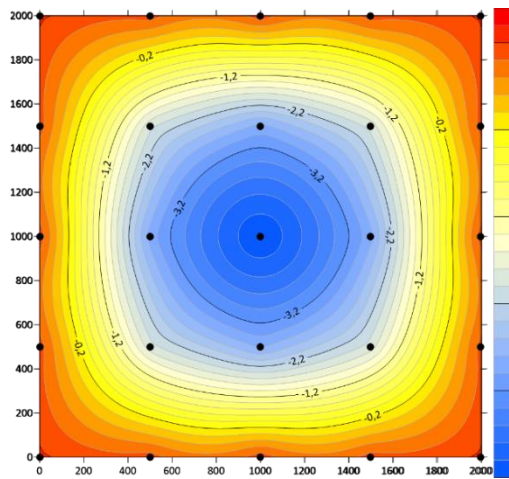


1/750

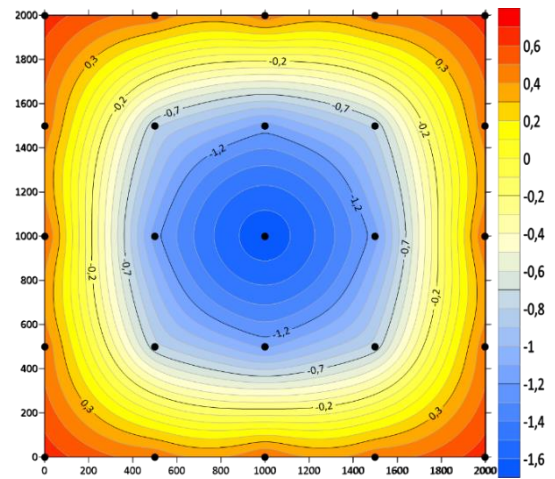


1/1000

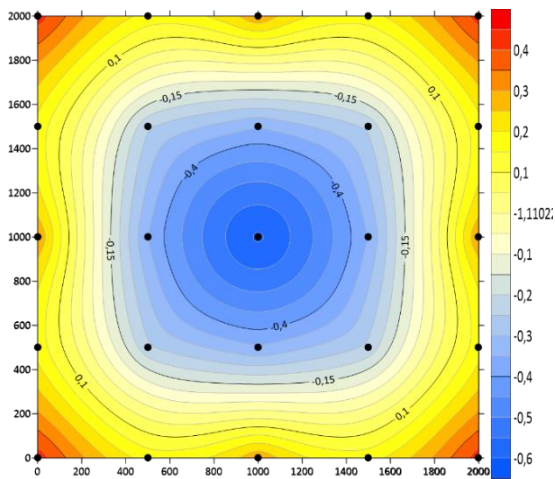
Figura 5.9. Isocurvas de DR



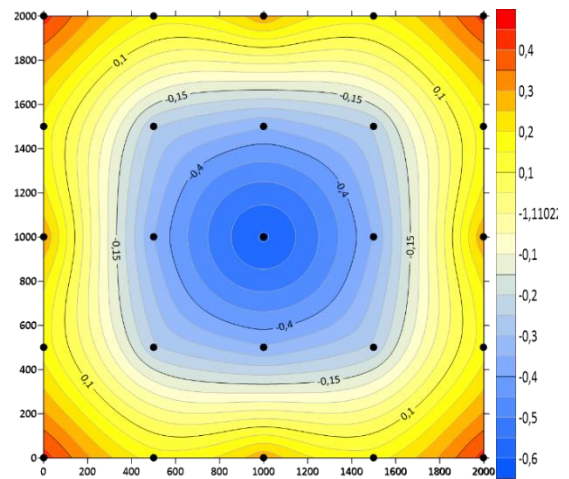
a) 1/100



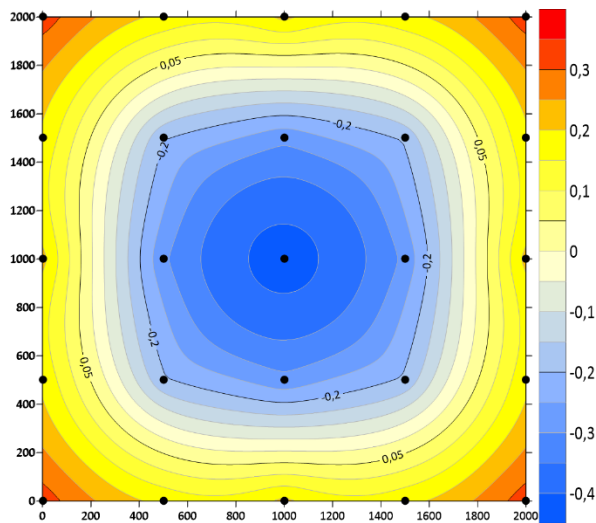
b) 1/250



c) 1/500



d) 1/750



e) 1/1000

Figura 5.10. Isocurvas de FQ

5.5 ANÁLISE DO PARÂMETRO

Após a modelagem da estrutura hipotética e a aplicação do parâmetro, obteve-se a relação F_k para cada pilar. Como a estrutura é simétrica nas duas direções, representou-se apenas uma parte da estrutura, porém, ressalta-se que foi observado o comportamento em todos os pilares e foi confirmada a simetria durante a análise.

A partir da Figura 5.11 pode-se observar a variação do parâmetro com os recalques distorcionais induzidos na estrutura. Quanto maior o valor do recalque distorcional na estrutura, maior é o valor do parâmetro F_k . E isto acontece, independentemente, da posição do pilar, da sua magnitude e da sua posição espacial. A partir de recalques distorcionais entre 1/300 e 1/500 a variação da relação aumenta, significativamente. Quando a estrutura apresenta recalques distorcionais pequenos, ou seja, a estrutura está mais rígida, o valor do parâmetro tende a valores próximos de zero.

Por meio desta análise é possível observar que calculando o parâmetro F_k consegue-se determinar se uma estrutura está com problema ou não, independente do recalque do distorcional para chegar à mesma conclusão.

É possível identificar também uma tendência de comportamento dependente da posição geométrica do pilar; observa-se que alguns pilares, conforme a posição na planta, apresentam a mesma relação do parâmetro e as curvas se agrupam.

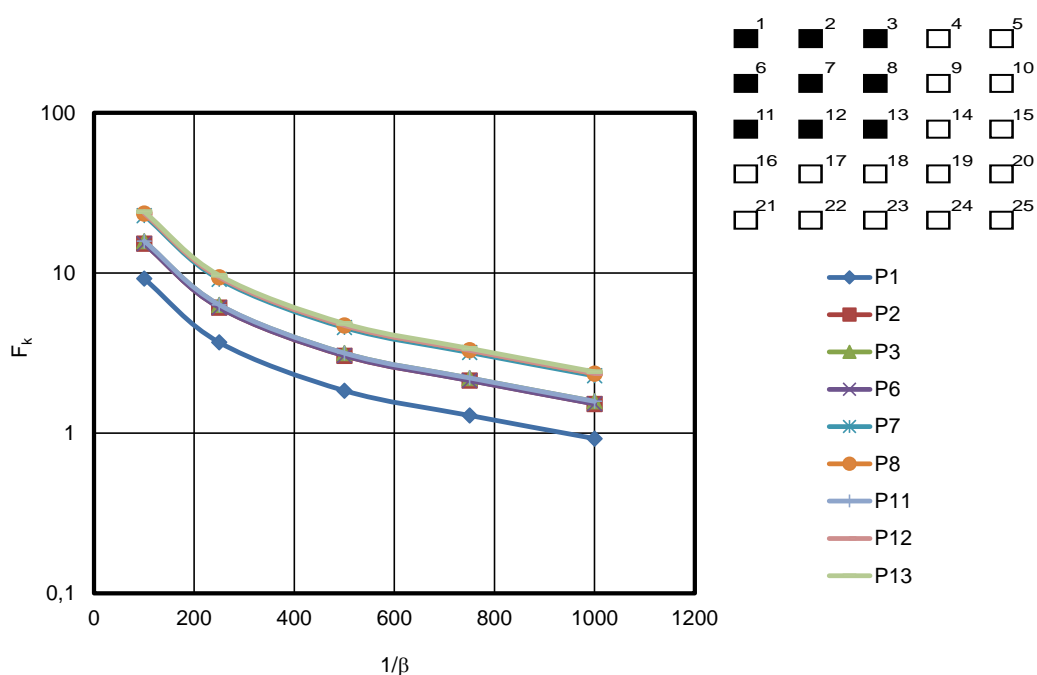


Figura 5.11. Variação do fator de rigidez com os recalques distorcionais analisados

Para cada distorção angular analisada obteve-se uma nova variação de carga nos pilares. Os dados foram analisados e representados por meio do gráfico na Figura 5.12. Foi possível observar que os valores do parâmetro estão aumentando para maiores valores de distorção angular, uma vez que se obtém maior variação de carga entre os pilares. A partir deste gráfico é possível apontar a faixa de valores esperada para o parâmetro durante este trabalho, para cada distorção angular.

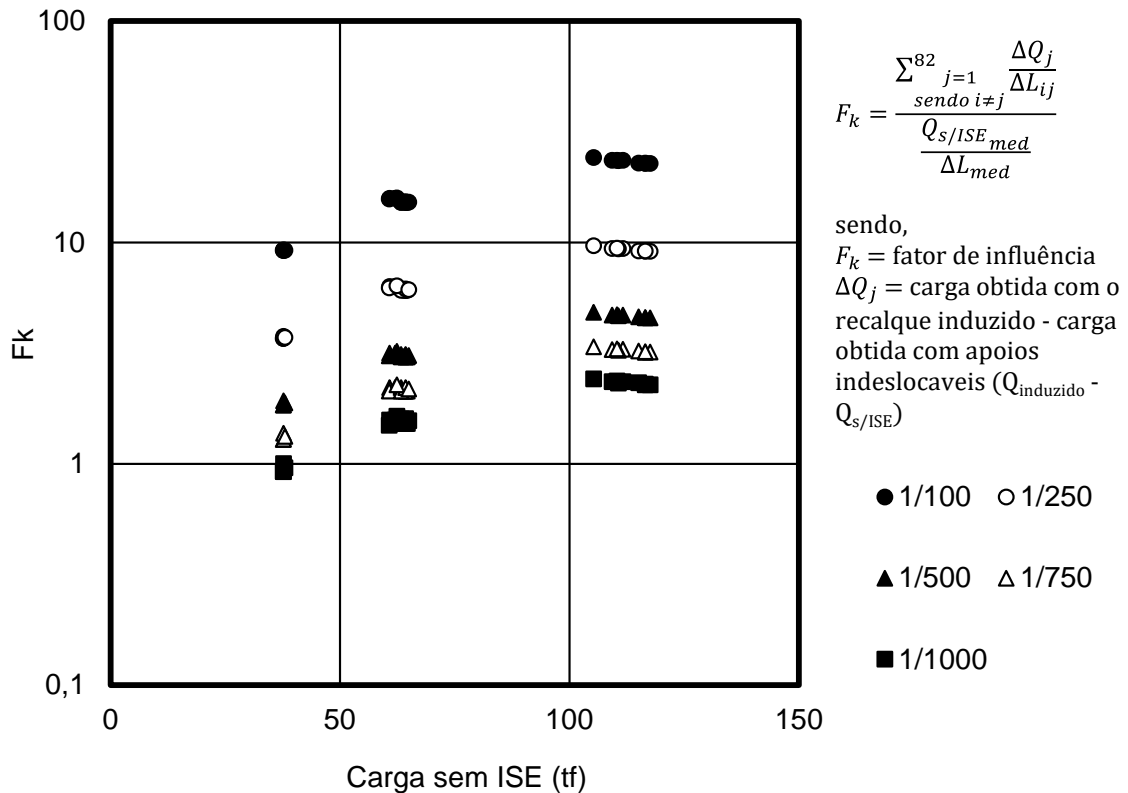


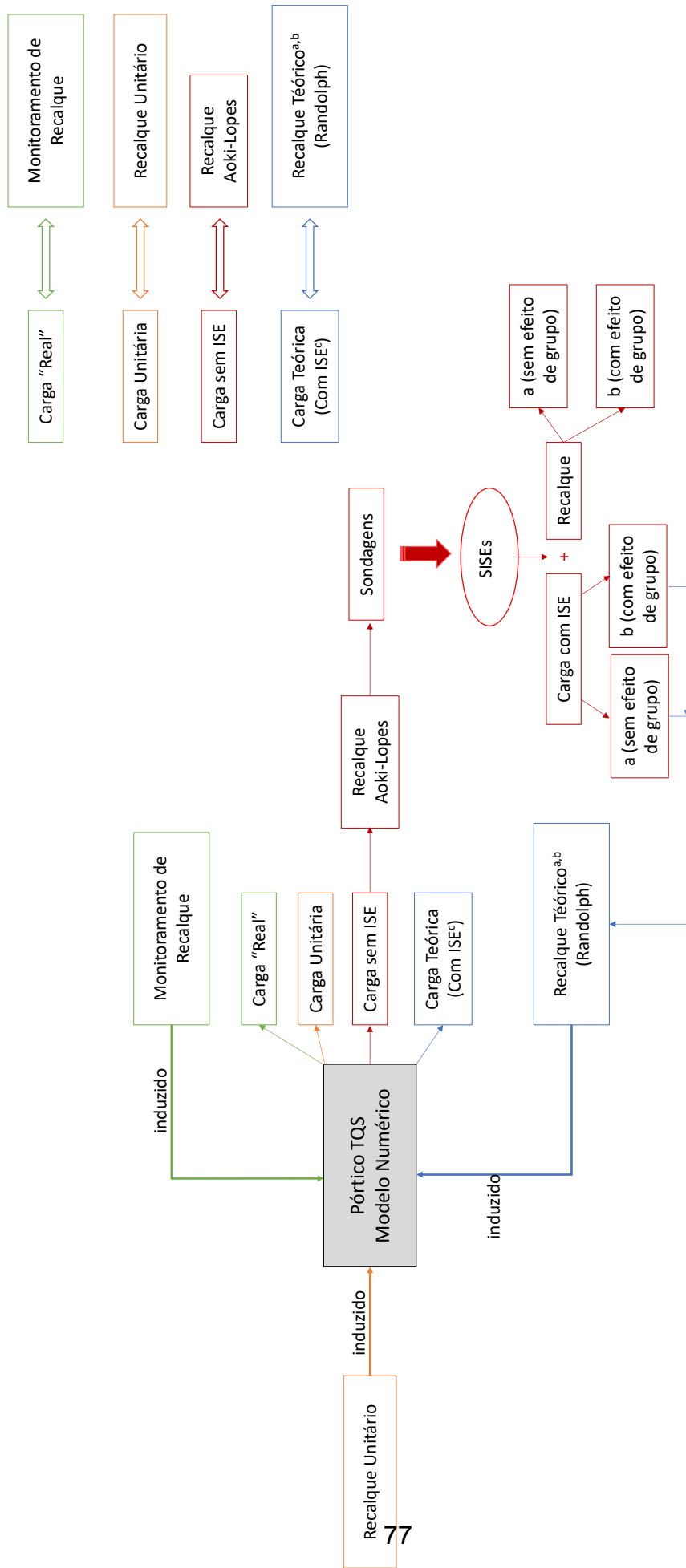
Figura 5.12. Variação do fator de rigidez com a carga sem considerar ISE

Capítulo 6 – RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos com os dados do monitoramento de recalque realizados e com resultados provenientes das simulações numéricas realizadas (recalques calculados de forma teórica, com recalque monitorado induzido e com recalque unitário induzido). A Figura 6.1 apresenta um esquema das simulações feitas durante o desenvolvimento da tese e são utilizadas como orientação como identificação do nome dado para cada modelo analisado.

No desenvolver do capítulo são apresentadas, inicialmente, as cargas obtidas para o modelo teórico (Aoki-Lopes) nas seguintes condições; sem levar em consideração a ISE e levando em conta a ISE, assim como os recalques estimados a partir destas cargas pelo método de Randolph (1977). Com os dados do monitoramento de recalque realizado durante a construção foi possível analisar, inicialmente, os parâmetros de recalque (recalque absoluto, recalque absoluto médio, recalque diferencial e recalque distorcional) e com a simulação numérica, ou seja, induzindo os recalques reais no modelo numérico, obtiveram-se supostas “carga real”. E por fim, no último modelo, foi induzido um recalque unitário no mesmo modelo numérico, onde se obteve novos carregamentos. A partir dos dados, as interpretações foram realizadas, segundo o parâmetro desenvolvido no trabalho e as análises consagradas na bibliografia, a fim de ser possível analisar os efeitos da interação solo-estrutura e o comportamento da estrutura.

O edifício utilizado como caso de estudo foi modelado com auxílio de um programa computacional. Foi disponibilizada a versão acadêmica do software TQS Informática, o que permitiu a modelagem, tanto da estrutura, quanto da consideração da interação solo-estrutura durante a análise. Com o intuito de avaliar o efeito da ISE durante a construção, foi gerado um modelo para cada etapa de construção, obtendo, portanto, a evolução do carregamento com o tempo, à medida que o edifício foi sendo construído, e a diferença de nível de carregamento quando se considera ou não a interação solo-estrutura.



a = sem efeito de grupo (interação entre estacas de um mesmo bloco)
 b = considera efeito de grupo (interação entre todas as estacas da obra)
 c = recalque calculado por Randolph foi validado em uma planilha eletrônica

Figura 6.1. Fluxograma das simulações analisadas

A presente pesquisa contou com o monitoramento de recalque realizado no caso de estudo. De tal modo, não foi possível realizar o monitoramento de recalque de todos os pilares, apenas os do corpo do edifício. Por isso, os resultados apresentados são analisados e interpretados somente dos pilares do corpo do edifício (onde houve monitoramento), sendo que estes foram divididos em setores, de acordo com o nível de carregamento do pilar no projeto estrutural, classificados como, periféricos, intermediários e centrais, conforme Figura 6.2.

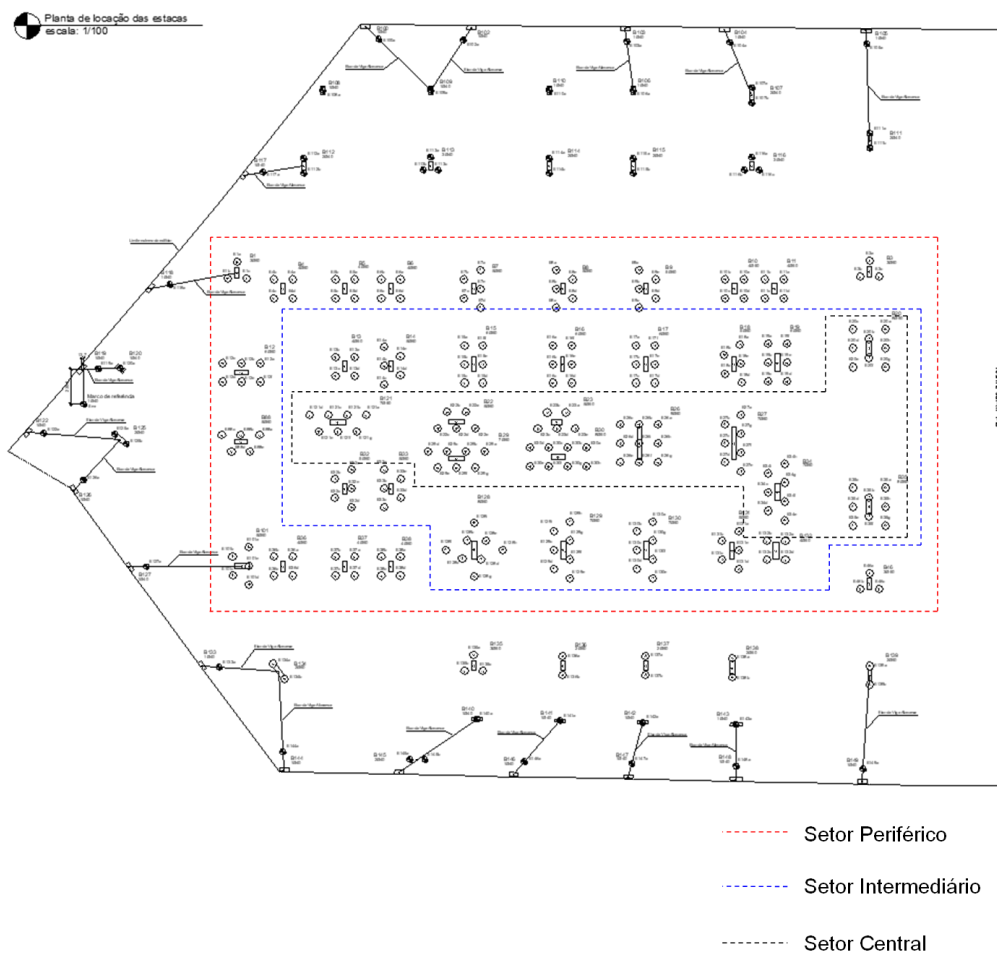


Figura 6.2. Divisão dos setores no caso de obra

6.1 CARGA DE PROJETO

Como o modelo do edifício representa um caso real, obteve-se, inicialmente, a carga considerada pelo projetista estrutural durante o seu dimensionamento. A carga observa as simplificações feitas, tradicionalmente, pelo projetista, ou seja, leva em conta os apoios indeslocáveis. A Tabela 6.1 apresenta, na terceira coluna (carga

projetista), os valores das cargas de cada pilar do modelo, carga permanente, mais a carga accidental.

Tabela 6.1. Cargas permanentes e accidentais - Modelo VI (parte 1)

Cargas permanentes e accidentais (Modelo VI)								
	Pilar projeto	Carga projetista (tf)	Carga sem ISE (tf)	(Carga sem ISE- Carga projetista)/ Carga projetista (%)	Carga com ISE ^a (tf)	(Carga sem ISE - Carga com ISE)/ Carga com ISE (%)	Carga com ISE ^b (tf)	(Carga sem ISE - Carga com ISE ^b)/ Carga com ISE ^b (%)
C	P1	215,4	198	-8,08	182,5	8,49	141,1	40,33
G	P2	25,7	53,7	108,95	71,1	-24,47	115,3	-53,43
P	P3	237,4	244,3	2,91	242,1	0,91	299,9	-18,54
C	P4	326,1	324,3	-0,55	317,9	2,01	282,6	14,76
C	P5	319,6	319,9	0,09	325,9	-1,84	307	4,20
C	P6	350,3	344,5	-1,66	340,4	1,20	333,6	3,27
C	P7	432,7	428,6	-0,95	428,2	0,09	428,2	0,09
C	P8	428,4	426,4	-0,47	424,9	0,35	428,1	-0,40
C	P9	434,3	430,9	-0,78	427	0,91	436,4	-1,26
C	P10	298,9	298,6	-0,10	316,8	-5,74	308,6	-3,24
C	P11	354,2	350,9	-0,93	340,8	2,96	365,2	-3,92
C	P12	476,6	473,9	-0,57	462,9	2,38	383,1	23,70
C	P13	333	320	-3,90	332,2	-3,67	283	13,07
C	P14	410,1	418,2	1,98	418,3	-0,02	366,5	14,11
C	P15	526,4	524,1	-0,44	514,1	1,95	472,5	10,92
C	P16	481,5	487,5	1,25	495,6	-1,63	443	10,05
C	P17	517,5	518,1	0,12	513,8	0,84	471,8	9,81
C	P18	392,2	399,9	1,96	409,9	-2,44	359,4	11,27
C	P19	542,1	552	1,83	531,7	3,82	498,3	10,78
P	P20	651,3	666,2	2,29	666,3	-0,02	693,5	-3,94
C	P22	399,7	397,8	-0,48	394,2	0,91	345,6	15,10
C	P23	399,8	450,7	12,73	430,2	4,77	384,4	17,25
G	P24	71,7	79,6	11,02	91,3	-12,81	163,5	-51,31
C	P26	778,3	786,9	1,10	782,9	0,51	677,5	16,15
C	P27	605	615,7	1,77	592,5	3,92	530,6	16,04
C	P29	565,7	514,1	-9,12	527,3	-2,50	447,8	14,81
C	P30	672,2	639,7	-4,83	650,5	-1,66	538,2	18,86
C	P32	388,6	384,3	-1,11	402	-4,40	338,6	13,50
C	P33	424,5	423,2	-0,31	412,2	2,67	366,5	15,47
C	P34	544,9	524,4	-3,76	540,2	-2,92	457,2	14,70
P	P35	663,3	659,7	-0,54	659	0,11	659,1	0,09
C	P36	313,9	318,6	1,50	316,4	0,70	269,4	18,26
C	P37	321,7	324	0,71	324,7	-0,22	301,1	7,61
C	P38	339,7	332,8	-2,03	328,6	1,28	311,2	6,94
P	P46	236,2	246,9	4,53	241,5	2,24	260,9	-5,37
C	P88	370,6	358,1	-3,37	363,4	-1,46	311,9	14,81
G	P100	21,6	28,3	31,02	48,7	-41,89	96,2	-70,58
C	P101	402	387,3	-3,66	368,8	5,02	318,8	21,49
G	P102	28,7	37,9	32,06	63,7	-40,50	173,4	-78,14
G	P103	41,5	52,6	26,75	94,6	-44,40	249,8	-78,94
G	P104	51,5	67,6	31,26	56,5	19,65	78,7	-14,10

Tabela 6.1. Cargas permanentes e acidentais - Modelo VI (parte 2)

Cargas permanentes e acidentais (Modelo VI)								
	Pilar projeto	Carga projetista (tf)	Carga sem ISE (tf)	(Carga sem ISE- Carga projetista)/ Carga projetista (%)	Carga com ISE ^a (tf)	(Carga sem ISE - Carga com ISE)/ Carga com ISE (%)	Carga com ISE ^b (tf)	(Carga sem ISE - Carga com ISE ^b)/ Carga com ISE ^b (%)
G	P105	48,9	56,7	15,95	68	-16,62	165,7	-65,78
G	P106	82,6	75,9	-8,11	38,4	97,66	18,6	308,06
G	P107	128,3	114,3	-10,91	73,9	54,67	26,7	328,09
G	P108	57,4	56,6	-1,39	32,7	73,09	2,3	2360,87
G	P109	77,8	69,6	-10,54	32,6	113,50	-1,8	-3966,67
G	P110	80,4	79,7	-0,87	60,7	31,30	42,9	85,78
G	P111	99,4	94,5	-4,93	82,2	14,96	63,7	48,35
G	P112	111,8	95,4	-14,67	57,9	64,77	14,4	562,50
G	P113	165,8	161,2	-2,77	160,2	0,62	102,3	57,58
G	P114	126	122	-3,17	123,5	-1,21	87,5	39,43
G	P115	127,2	123,7	-2,75	119,7	3,34	76,1	62,55
G	P116	172,4	167	-3,13	159,7	4,57	90,7	84,12
G	P117	33,2	49,1	47,89	100,4	-51,10	270,8	-81,87
G	P118	55,8	73,3	31,36	89,1	-17,73	354,9	-79,35
G	P119	17,8	47,6	167,42	99	-51,92	179,8	-73,53
G	P120	76,6	50,7	-33,81	6,5	680,00	-13,4	-478,36
C	P121	616	623,1	1,15	591,6	5,32	527,1	18,21
G	P122	25,7	32,5	26,46	28,8	12,85	12	170,83
G	P125	121,5	105,1	-13,50	69,9	50,36	28,1	274,02
G	P127	70,6	82,9	17,42	95	-12,74	334,8	-75,24
C	P128	570,5	568,9	-0,28	575	-1,06	502,5	13,21
C	P129	538	535,3	-0,50	534	0,24	460,7	16,19
C	P130	552,7	522,8	-5,41	551,5	-5,20	471,2	10,95
C	P131	375,7	380,9	1,38	389,6	-2,23	329,3	15,67
C	P132	336	323,3	-3,78	319,6	1,16	291,2	11,02
G	P133	45,5	60,2	32,31	76,1	-20,89	172,3	-65,06
G	P134	167,1	140,6	-15,86	111,3	26,33	47,8	194,14
G	P135	191,7	208,5	8,76	201	3,73	196,7	6,00
G	P136	133,9	146,8	9,63	137,7	6,61	158	-7,09
G	P137	130,2	146,3	12,37	143,5	1,95	160,2	-8,68
G	P138	182,8	197,2	7,88	173,7	13,53	207,4	-4,92
G	P139	105,4	103	-2,28	99	4,04	83	24,10
G	P140	56,9	51,4	-9,67	43,2	18,98	101,1	-49,16
G	P141	47,9	38,7	-19,21	49,3	-21,50	116,5	-66,78
G	P142	48,2	38,5	-20,12	55,1	-30,13	160,6	-76,03
G	P143	81	71,9	-11,23	82,2	-12,53	270,5	-73,42
G	P144	53,7	66,4	23,65	68,9	-3,63	92,3	-28,06
G	P146	43,9	61,3	39,64	80,4	-23,76	215,8	-71,59
G	P147	44,6	60,7	36,10	81,6	-25,61	238,7	-74,57
G	P148	46,6	59,2	27,04	117,6	-49,66	418,6	-85,86
G	P149	40,2	48,8	21,39	55,8	-12,54	165,7	-70,55
	Σ	21482,5	21521,8		21487,5		21940,8	

6.2 MODELO CONSIDERANDO ISE – AOKI LOPES

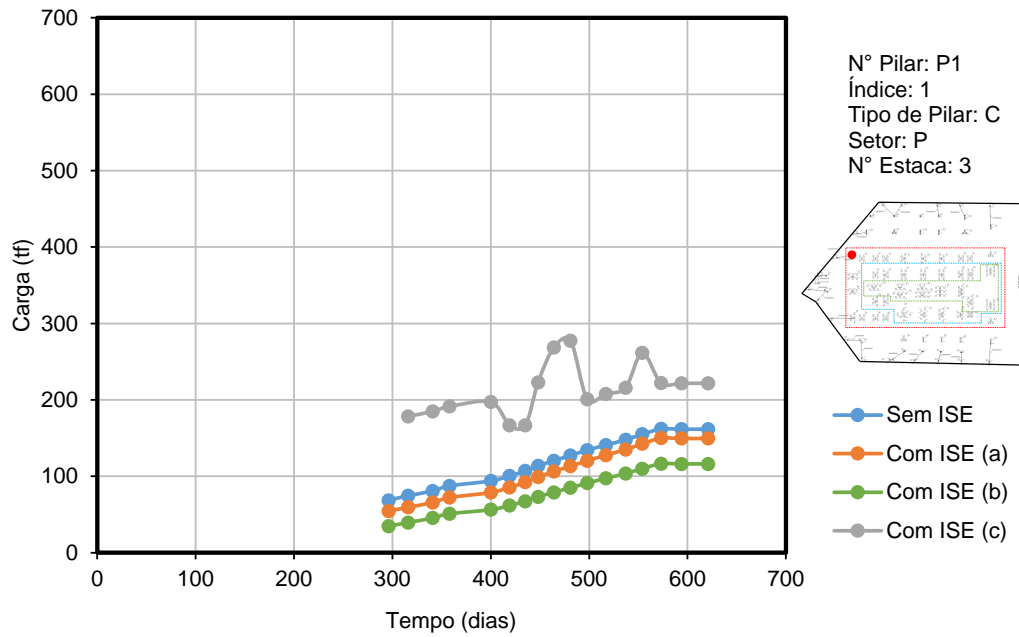
O primeiro modelo analisado foi realizado com auxílio do software TQS e um pacote adicional que permite introduzir a interação entre o maciço de fundação e a estrutura, ou seja, levando em consideração a interação solo-estrutura (ISE). No pacote adicional é possível introduzir as sondagens realizadas no terreno onde o edifício foi construído e por meio dos valores de NSPT, características do solo local e posição do furo no terreno, para determinar parâmetros capazes de representar o maciço de fundação. Os parâmetros serão utilizados nos cálculos do recalque das estacas e nos coeficientes de reação vertical e horizontal, e posteriormente, na determinação de uma nova configuração de carregamento nos pilares, observando a interação entre o maciço de fundação e a estrutura (ISE).

A metodologia aplicada para cálculo do recalque pelo software é a de Aoki-Lopes. O software permite fazer também a simulação do modelo sem levar em conta a ISE e as cargas obtidas que estão apresentadas na Tabela 6.1, identificadas como carga sem ISE. Assim como estão apresentadas as cargas obtidas levando em consideração a ISE (carga com ISE^{a,b}). A diferença entre o modelo a e b é que no primeiro modelo, durante o cálculo do recalque, ocorre uma interação entre todas as estacas da obra, já no segundo a interação ocorre entre estacas do mesmo bloco.

Pelo somatório total das cargas, apresentado na Tabela 6.1, é possível notar que, apesar da diferença entre a carga calculada pelo projetista estrutural e a carga sem ISE, determinada no trabalho, ser pequena, existe uma subestimativa do valor devido às considerações feitas pelo projetista estrutural durante a elaboração do referido projeto. (como, por exemplo, o tipo de modelo utilizado e a forma de representar a estrutura no software).

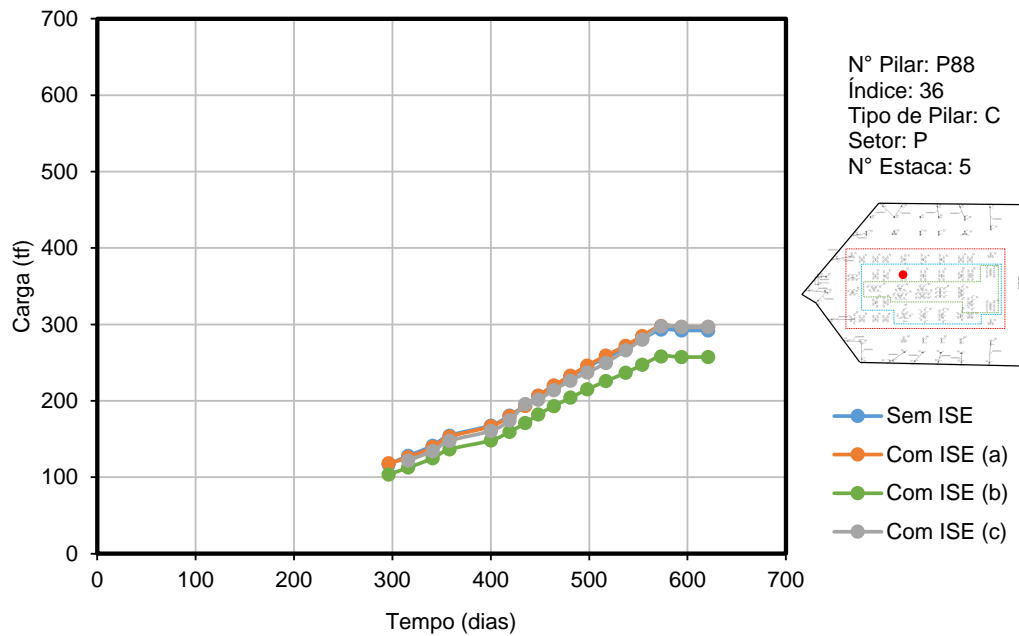
Já a comparação das cargas com ISE e sem ISE, quando a interação solo-estrutura é levada em conta, não apresenta diferença substancial no total da carga do projeto.

No anexo B estão as curvas de carga e recalque de todos os pilares da obra com a evolução da construção do edifício. É importante destacar alguns pontos observados durante a análise dos pilares, individualmente; para isso, serão destacadas determinadas curvas, como exemplo, para ilustrar os comentários (Figura 6.3 à Figura 6.16).



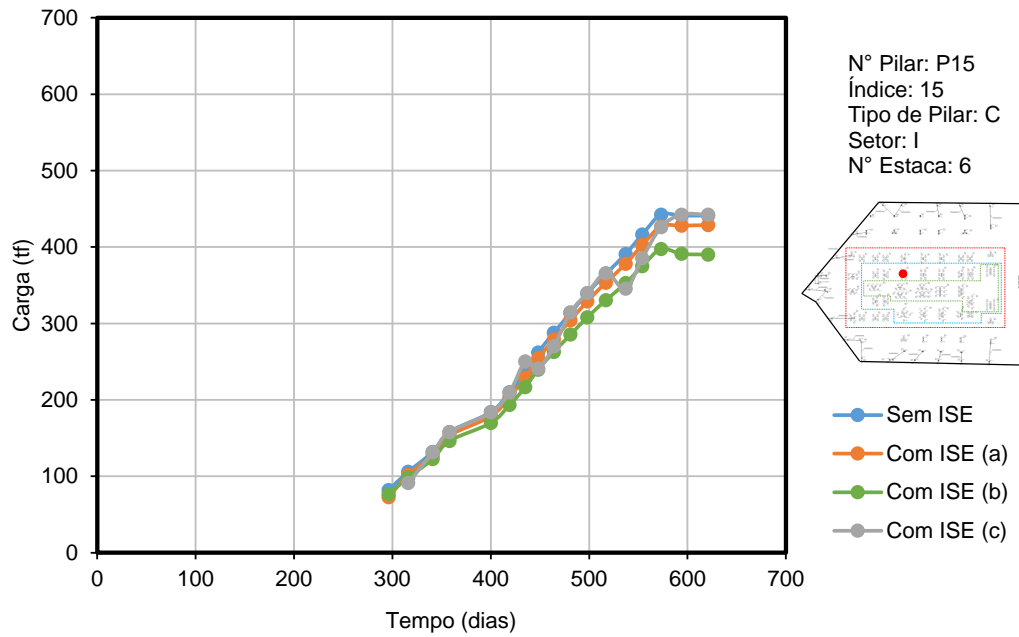
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
 Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra
 Com ISE (c) = carga/recalque do TQS após recalque de Randolph validado

Figura 6.3. Curva carga vs tempo do pilar P1, corpo do prédio - setor periférico



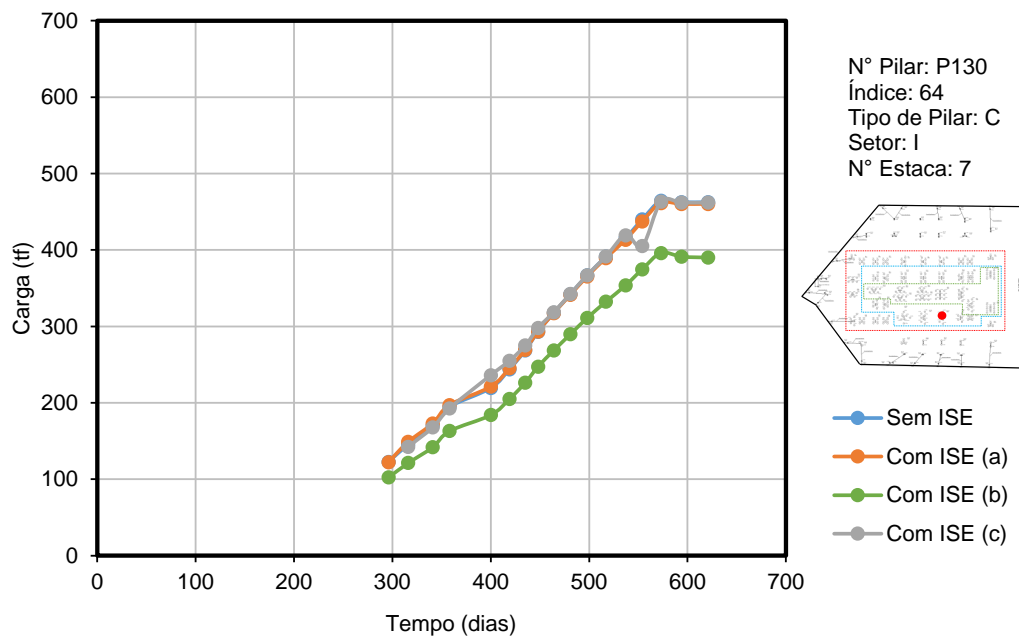
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
 Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra
 Com ISE (c) = carga/recalque do TQS após recalque de Randolph validado

Figura 6.4. Curva carga vs tempo do pilar P88, corpo do prédio - setor periférico



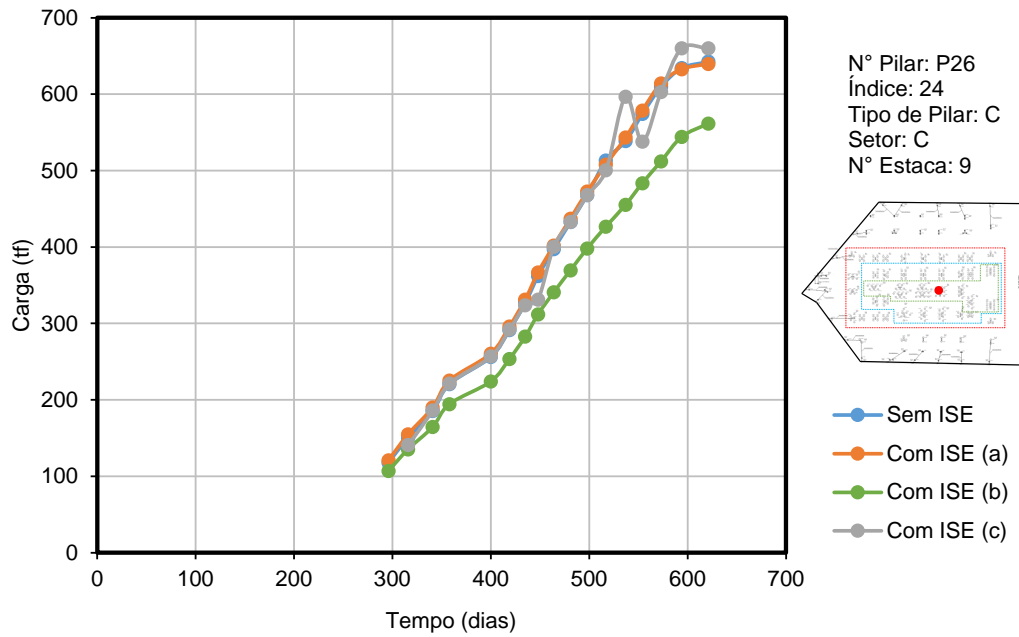
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
 Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra
 Com ISE (c) = carga/recalque do TQS após recalque de Randolph validado

Figura 6.5. Curva carga vs tempo do pilar P15, corpo do prédio - setor intermediário



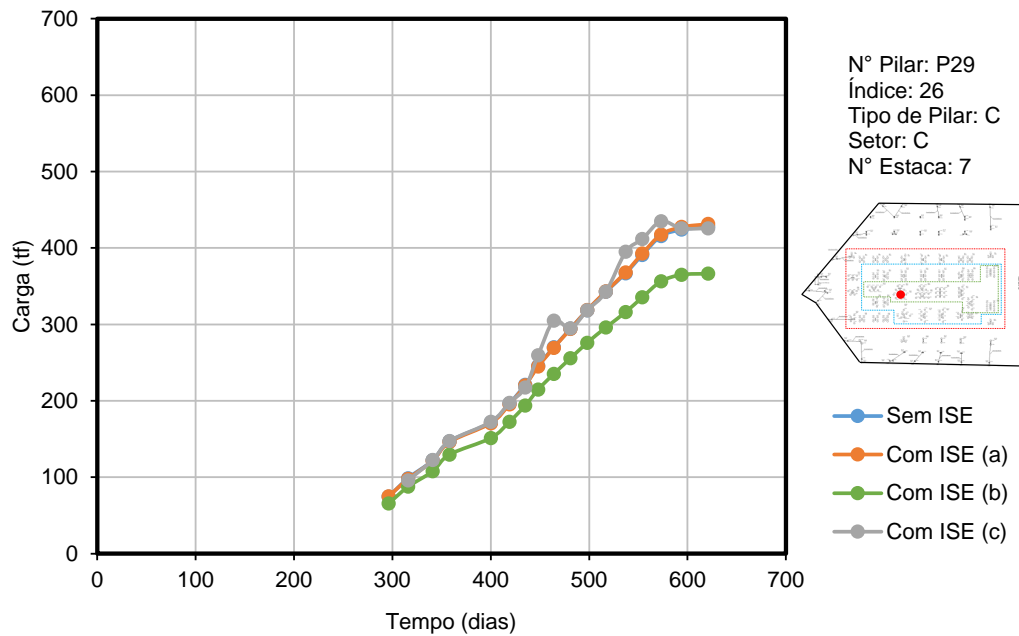
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
 Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra
 Com ISE (c) = carga/recalque do TQS após recalque de Randolph validado

Figura 6.6. Curva carga vs tempo do pilar P130, corpo do prédio - setor intermediário



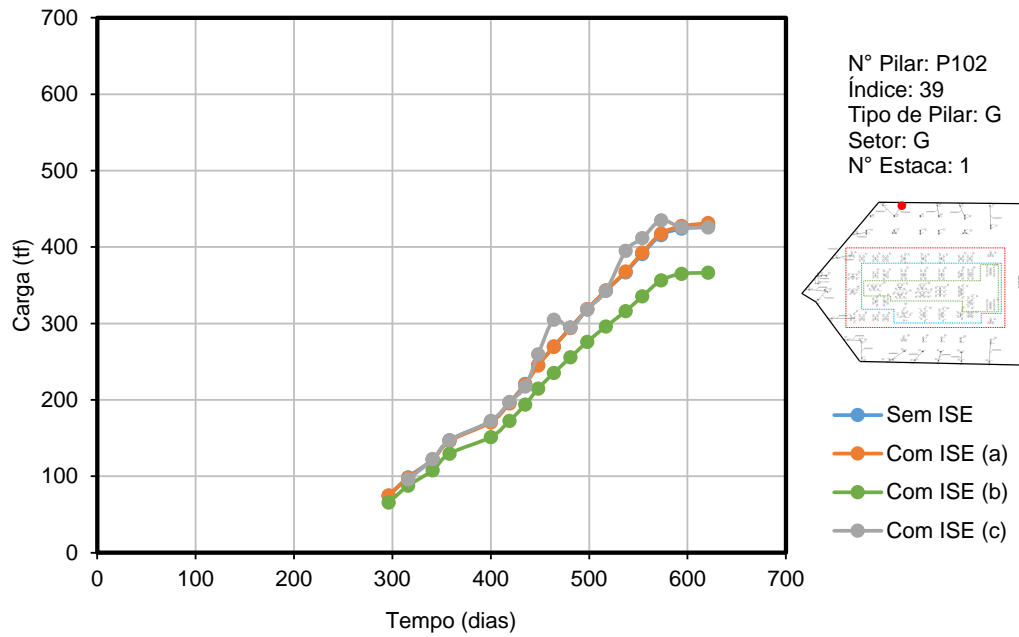
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
 Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra
 Com ISE (c) = carga/recalque do TQS após recalque de Randolph validado

Figura 6.7. Curva carga vs tempo do pilar P26, corpo do prédio - setor central



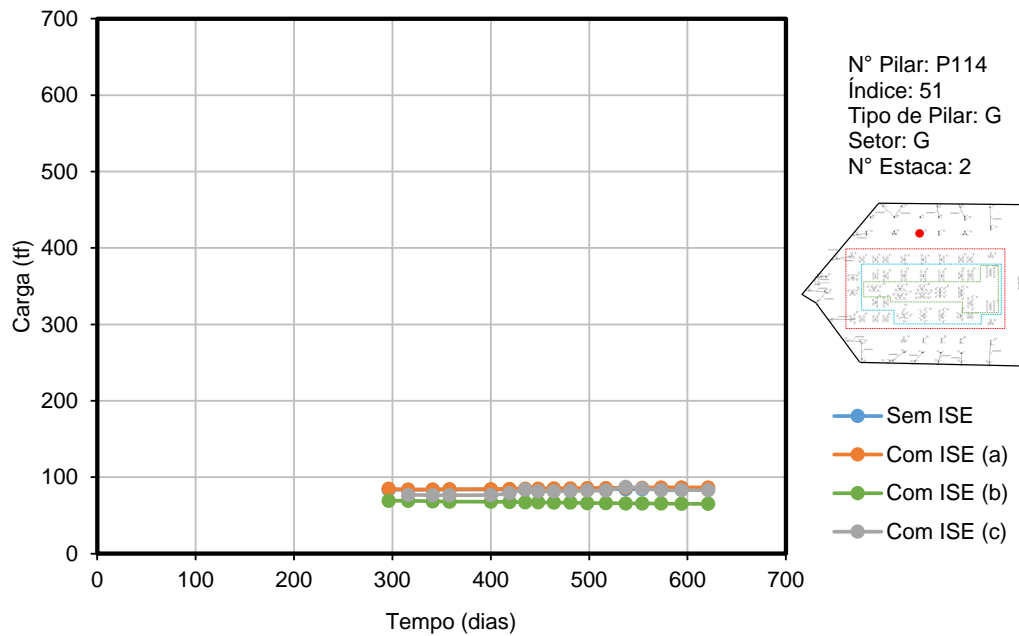
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
 Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra
 Com ISE (c) = carga/recalque do TQS após recalque de Randolph validado

Figura 6.8. Curva carga vs tempo do pilar P29, corpo do prédio - setor central



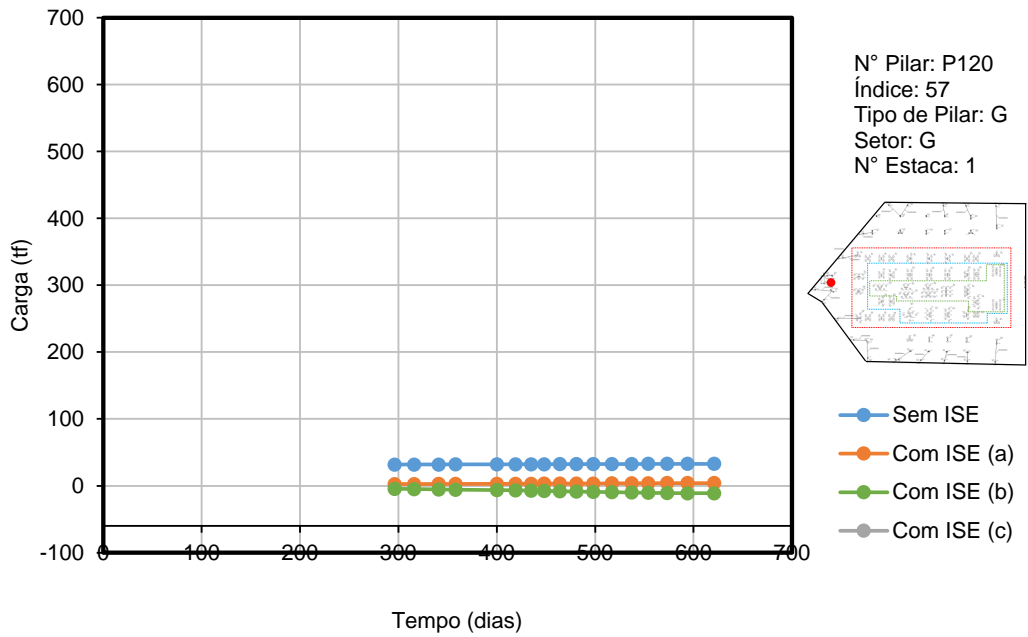
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra
Com ISE (c) = carga/recalque do TQS após recalque de Randolph validado

Figura 6.9. Curva carga vs tempo do pilar P102, garagem



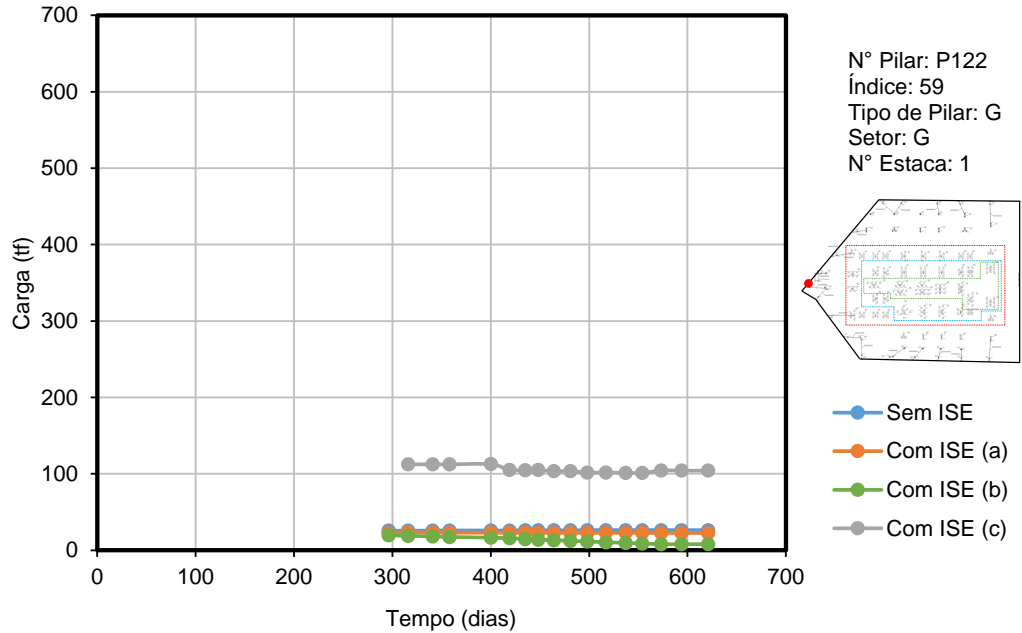
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra
Com ISE (c) = carga/recalque do TQS após recalque de Randolph validado

Figura 6.10. Curva carga vs tempo do pilar P114, garagem



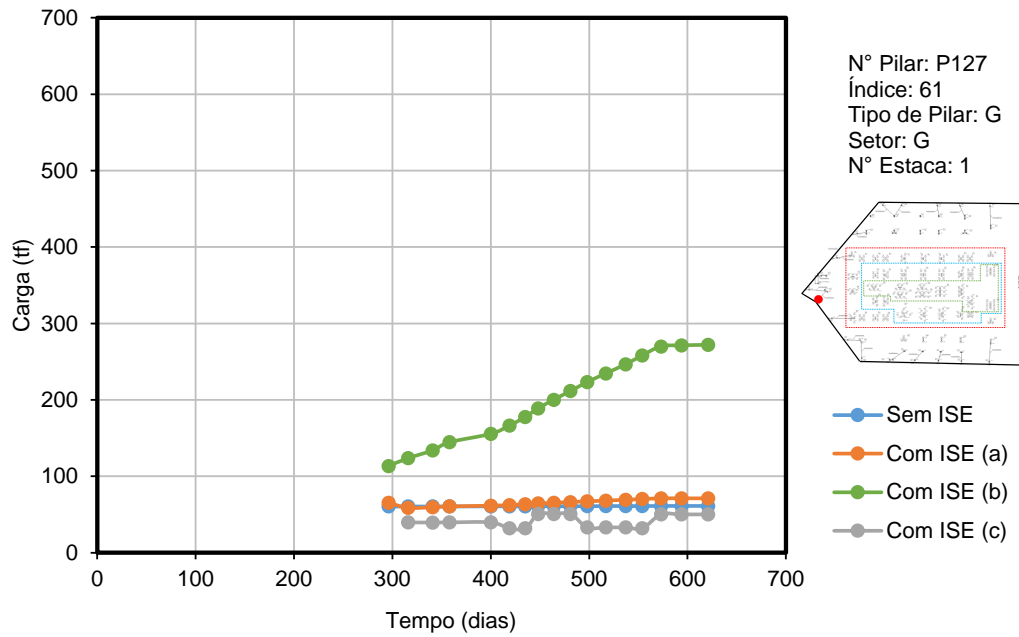
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
 Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra
 Com ISE (c) = carga/recalque do TQS após recalque de Randolph validado

Figura 6.11. Curva carga vs tempo do pilar P120, garagem



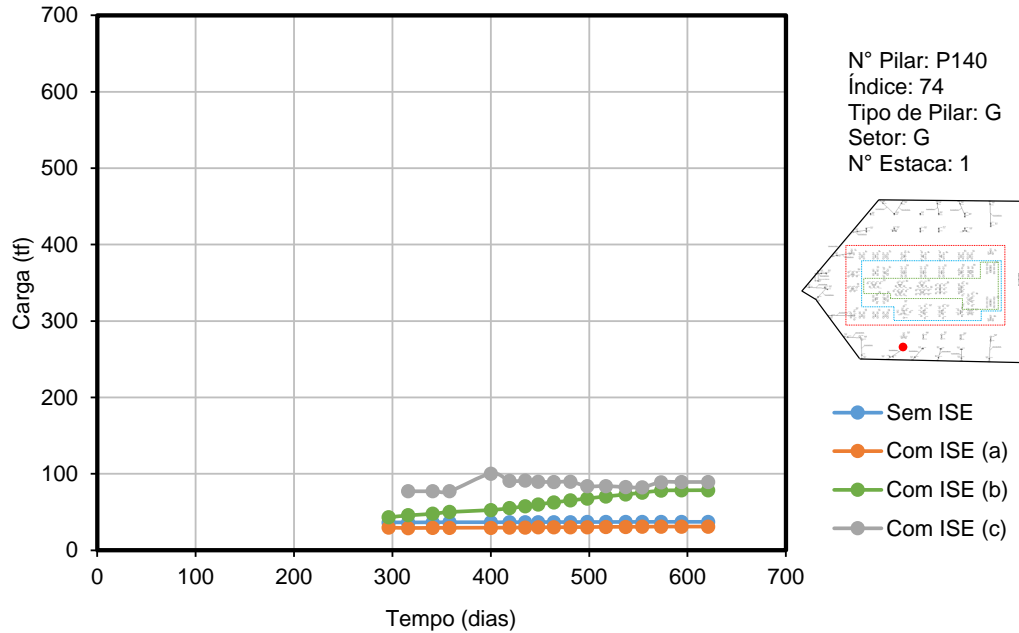
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
 Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra
 Com ISE (c) = carga/recalque do TQS após recalque de Randolph validado

Figura 6.12. Curva carga vs tempo do pilar P122, garagem



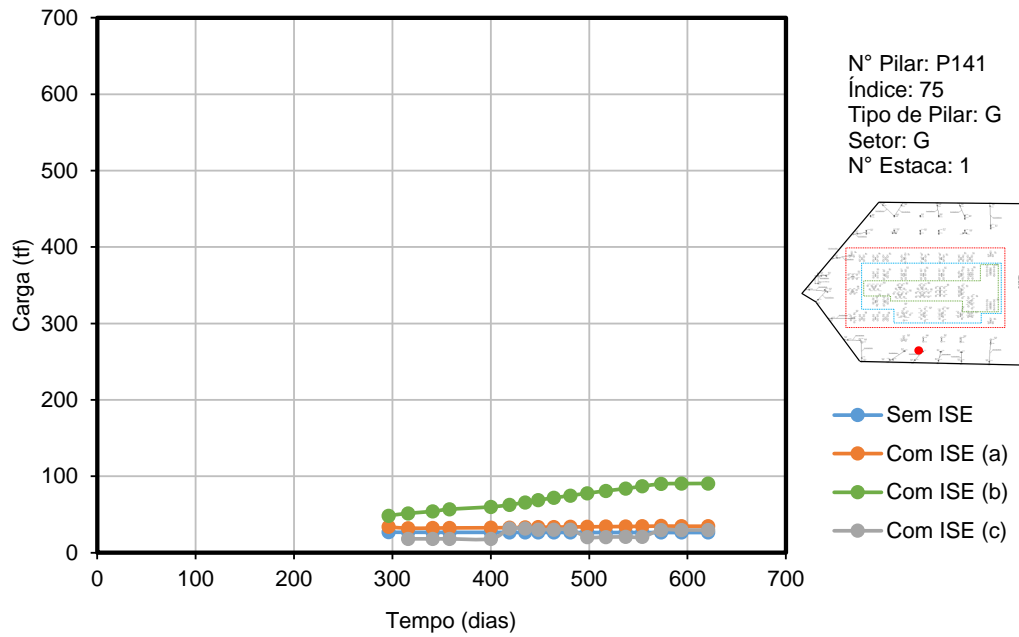
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
 Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra
 Com ISE (c) = carga/recalque do TQS após recalque de Randolph validado

Figura 6.13. Curva carga vs tempo do pilar P127, garagem



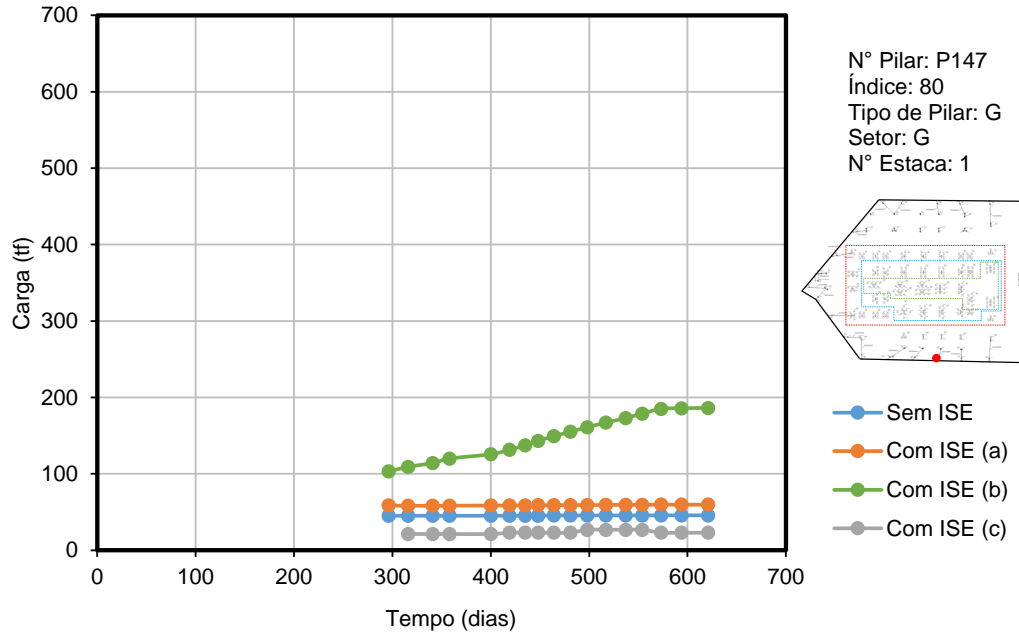
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
 Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra
 Com ISE (c) = carga/recalque do TQS após recalque de Randolph validado

Figura 6.14. Curva carga vs tempo do pilar P140, garagem



Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
 Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra
 Com ISE (c) = carga/recalque do TQS após recalque de Randolph validado

Figura 6.15. Curva carga vs tempo do pilar P141, garagem



Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
 Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra
 Com ISE (c) = carga/recalque do TQS após recalque de Randolph validado

Figura 6.16. Curva carga vs tempo do pilar P147, garagem

Ao observar, individualmente, cada pilar, é possível salientar que as curvas para o modelo, sem considerar a ISE, e as curvas considerando ISE^a, se sobrepõem na maioria dos casos, ou apresentam uma pequena diferença perto da diferença para a curva do modelo, considerando ISE^b. O carregamento dos pilares no modelo com ISE^b, para a maioria dos pilares do corpo do edifício, apresentam valores menores que os outros dois modelos, embora apresente um somatório de carga total com acréscimo significativo em relação aos outros dois modelos (Tabela 6.1).

Tal fato acontece porque nos pilares de garagem há um acréscimo do carregamento em relação aos outros padrões. A justificativa é que no modelo com ISE^b é levado em conta a interação de todas as estacas da obra, o que faz com que haja uma redistribuição de carga maior entre todas as estacas. Portanto, há uma transferência de carga dos pilares do corpo do edifício para os pilares da garagem.

A partir de então, fica claro que o padrão que melhor representa o efeito de redistribuição, ou seja, que leva em consideração os efeitos da ISE é o modelo ISE^b, uma vez que este leva em consideração as diferenças de rigidez existente entre os pilares da garagem e o corpo do edifício.

6.3 MODELO TEÓRICO – RANDOLPH (1977)

Para esta análise utilizou-se o mesmo modelo numérico usado, anteriormente, considerando o pacote de SISEs do software, observando a interação solo-estrutura. As cargas foram obtidas por meio do software e por uma planilha para cálculo do recalque pelo método de Randolph (1977), o cálculo foi feito apenas com as cargas do modelo ISE^a, onde foi aferido o recalque de cada pilar para cada estágio de construção. O recalque foi realizado a partir de uma planilha eletrônica, determinado pelo método Randolph (1977), e por um processo de validação dos parâmetros do maciço do local, conforme Waked (2019).

6.4 VALIDAÇÃO MÉTODO RANDOLPH (1977)

A planilha utilizada para estimativa do recalque pelo método de Randolph (1977) foi desenvolvida para o trabalho de Waked (2019). O caso de obra utilizado pelo autor foi o mesmo utilizado nesta tese, e um dos seus objetivos foi exemplificar o efeito da estimativa do módulo de elasticidade do concreto no cálculo do recalque de uma fundação profunda tipo hélice contínua. Após o desenvolvimento da planilha, a

mesma foi utilizada para validar o recalque estimado pelo método de Randolph (1977), a partir do recalque medido durante o desenvolvimento do estudo.

Na planilha:

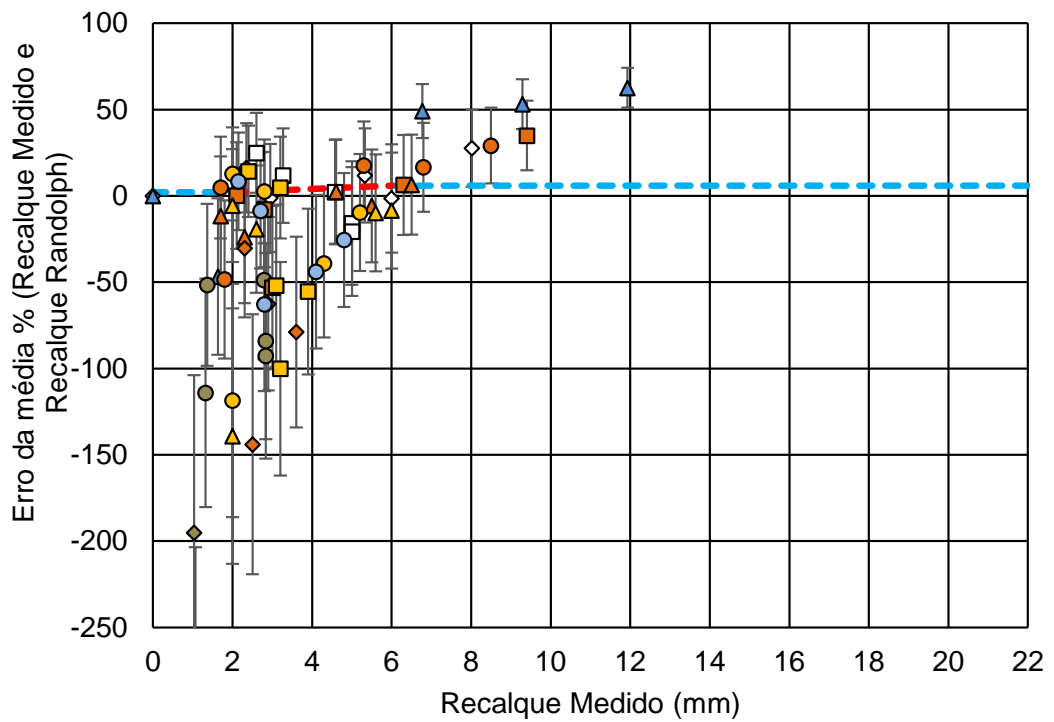
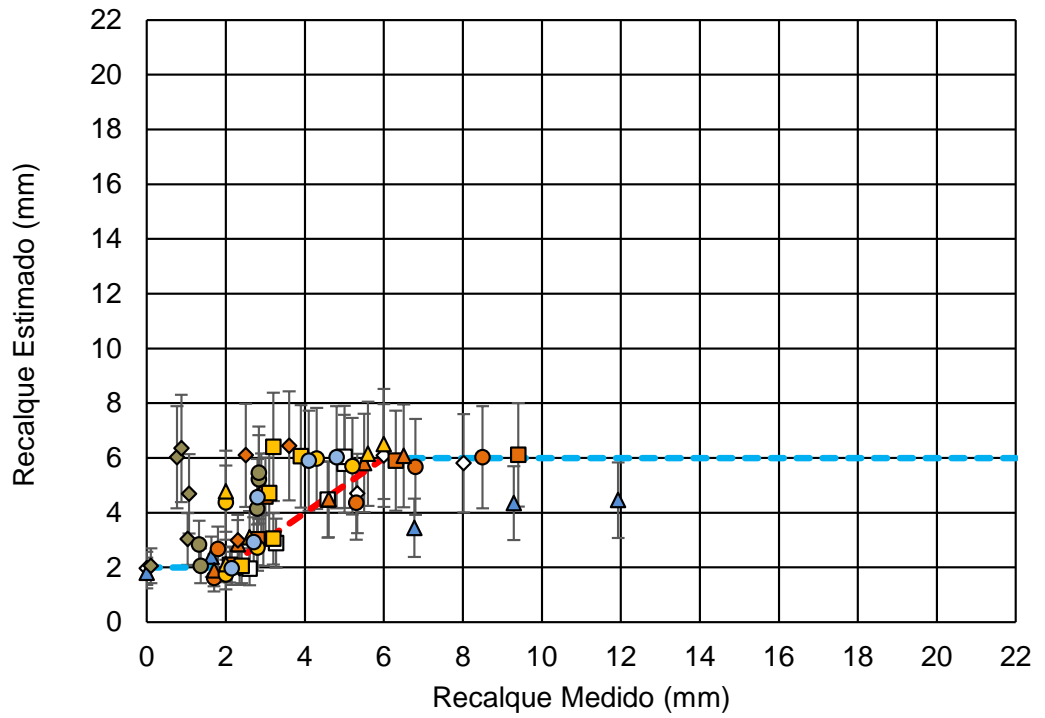
- i. E_{estaca} É o módulo de elasticidade da estaca, igual a 14,8GPa (determinado a partir de análises do trabalho citado);
- ii. $E_{estimado}$ É o módulo de elasticidade da estaca estimado. Considera-se uma variação de $E_{estimado}$ de 10 a 40GPa, que corresponde ao espectro de valores obtidos, partindo de correlações empíricas, apresentadas no trabalho citado, com a resistência proveniente do controle tecnológico do concreto. No cálculo de $W_{estimado}$ admite-se que o módulo cisalhante do maciço no trecho do fuste, próximo da ponta, (GL) é diferente do módulo cisalhante do maciço abaixo da ponta da estaca (GP).

Para cálculo do módulo cisalhante do maciço na meia profundidade da estaca ($GL/2$) adotou-se um módulo equivalente, correspondente à média ponderada dos módulos de cada camada, e a espessura de cada camada como fator de ponderação. A determinação dos módulos cisalhantes do maciço é feita considerando correlação da Teoria da Elasticidade (Equação 6.1). O módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson foi obtido por meio das correlações com os valores de NSPT, propostas por Teixeira e Godoy (1996).

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad 6.1$$

O efeito da variação do módulo cisalhante do solo para estimativa do recalque da estaca analisada, W_{estaca} , é feito considerando a variabilidade dos valores de GP, GL e $GL/2$. Para isso, foi utilizado o método de Monte Carlo, onde foram geradas 10000 combinações aleatórias entre esses parâmetros, admitindo distribuição normal de frequência para cada parâmetro. Das combinações aleatórias foi determinado que a relação $GP/GL/2$ é igual a $2,4 \pm 1,0$.

A partir dos resultados de recalque estimados por Randolph (1977), validados, e dos recalques medidos, fez-se uma comparação conforme apresentado nas figuras Figura 6.17 a Figura 6.19.



- ◇ P6 ▲ P1
- P37 ◆ P8
- P101 ■ P3
- P4 ▲ P5
- ◆ P7 ■ P9
- P10 ▲ P11
- P46

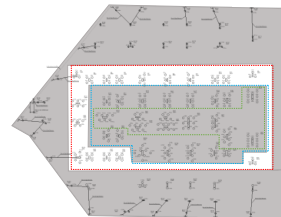


Figura 6.17. Recalques estimados por Randolph (1977) e validados vs. recalques medidos - Setor Periférico

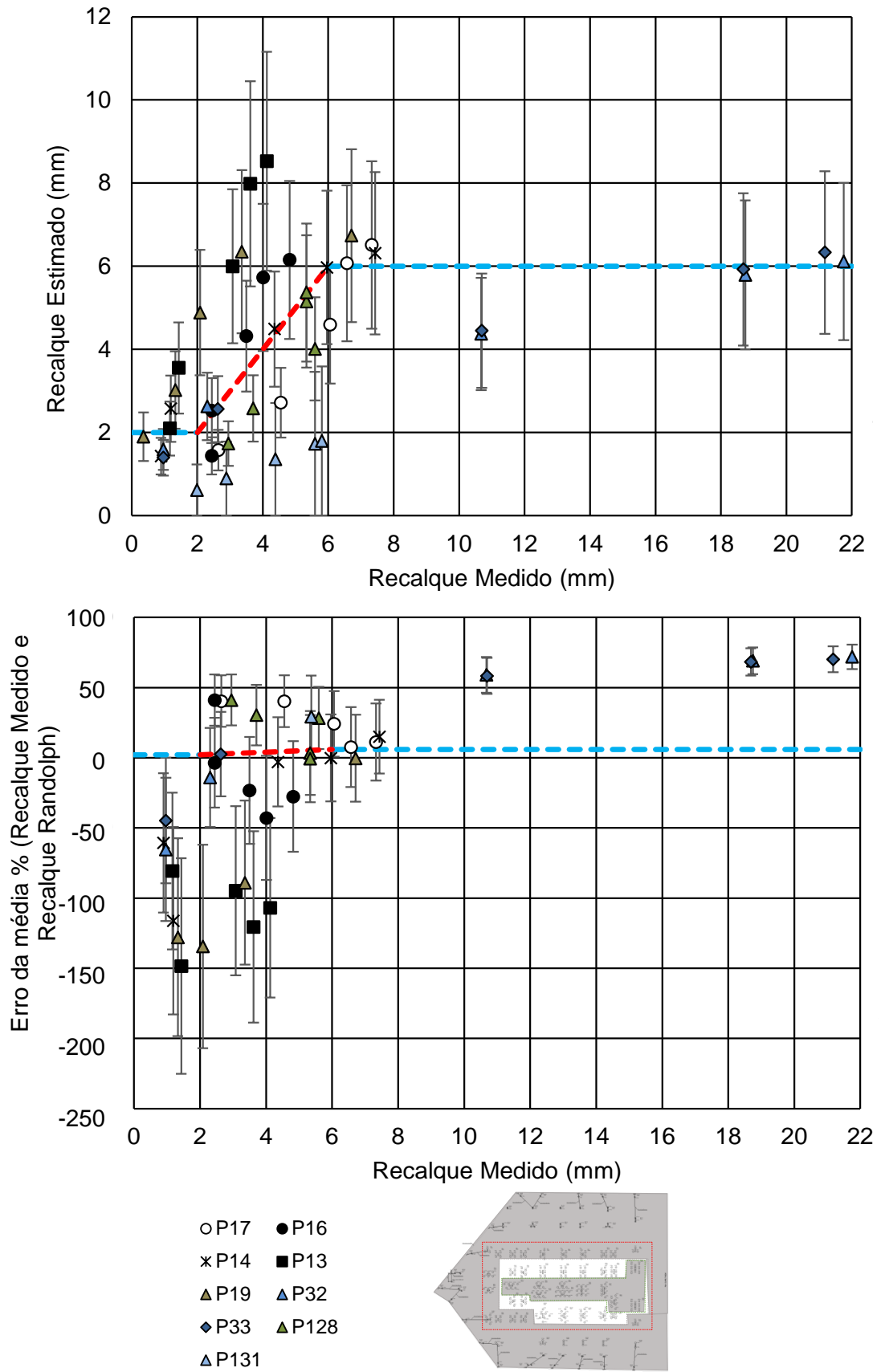


Figura 6.18. Recalques estimados por Randolph (1977) e validados vs. recalques medidos - Setor Intermediário

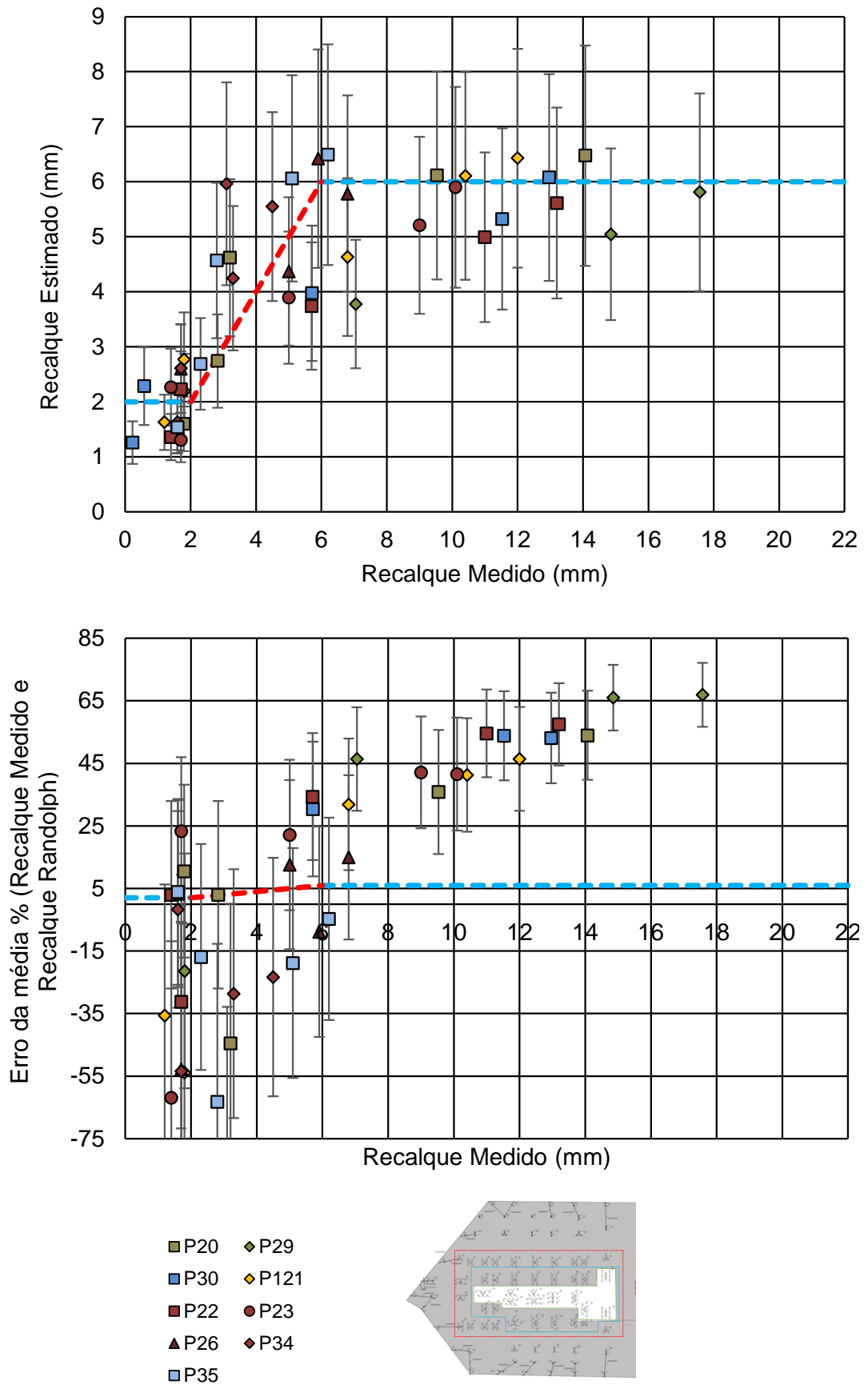


Figura 6.19. Recalques estimados por Randolph (1977) e validados vs. recalques medidos – Setor Central

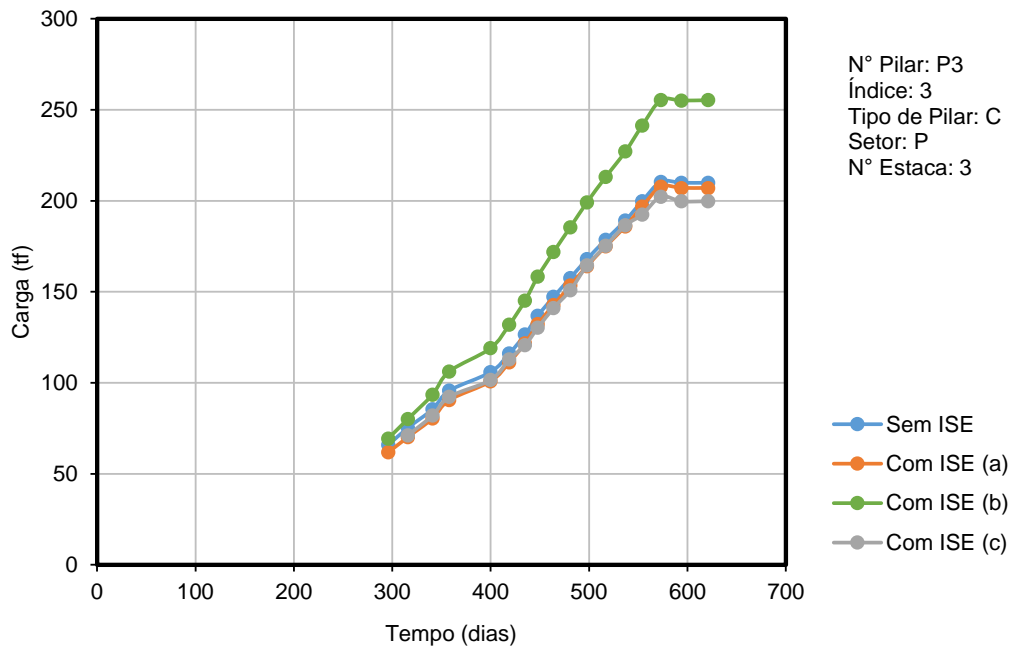
É possível observar que o método de Randolph, para estimativas de recalque de até 6mm (ou seja, para valores de recalque muito pequenos), superestima os valores em todos os setores do edifício. E que, a partir de 6 mm, o recalque estimado é subestimado, principalmente, no setor central (onde se observou maiores valores de recalque).

Para o caso dos dados, estudados e utilizados, durante a validação dos recalques, percebe-se que as fundações mobilizam tensões muito baixas e/ou o maciço de fundação tem rigidez alta, por isso os recalques reais estão muito pequenos na fase inicial.

Outro ponto importante para ser observado no gráfico é que os recalques maiores estão localizados nos pilares do setor central do corpo do edifício, e que há uma tendência clara de aumento do erro no recalque estimado por Randolph (1977) com o aumento da carga no pilar, ou seja, em estágios mais avançados de construção.

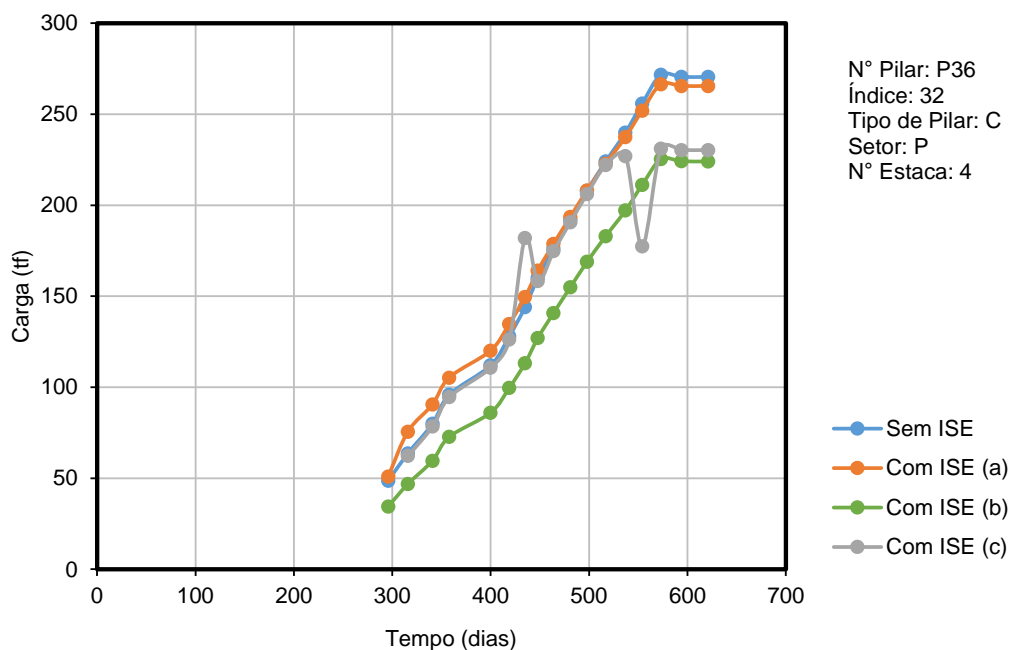
Os recalques validados foram induzidos no software utilizado e foi obtida uma nova configuração de carregamento. As cargas e os recalques estão apresentados no anexo C, como “Com ISE^c”. Nas figuras Figura 6.20 à Figura 6.27 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** estão exemplos de resultados obtidos para efeito de comparação com o modelo de Aoki-Lopes (1975), com ISE^{a,b}. É possível observar que o modelo de Randolph (1977) se aproxima do modelo de Aoki-Lopes (1975) quando se considera a interação entre as estacas de um mesmo bloco, ou seja, com ISE^a. Isso acontece porque o modelo de Randolph (1977) não permite fazer a interação entre todas as estacas da obra.

Como o modelo de Randolph (1977) só considera a interação entre estacas de um mesmo bloco, as cargas utilizadas para calcular o recalque foram a do modelo com ISE^a. Neste modelo as cargas dos pilares de garagem ficam constantes a partir do terceiro pavimento (onde os pilares de garagem morrem), porém o efeito da variação do maciço foi levado em consideração no cálculo do recalque, o que provocou, conseqüentemente, uma variação de carga após a indução do recalque no modelo. Portanto, para os pilares de garagem não foi possível observar um comportamento característico.



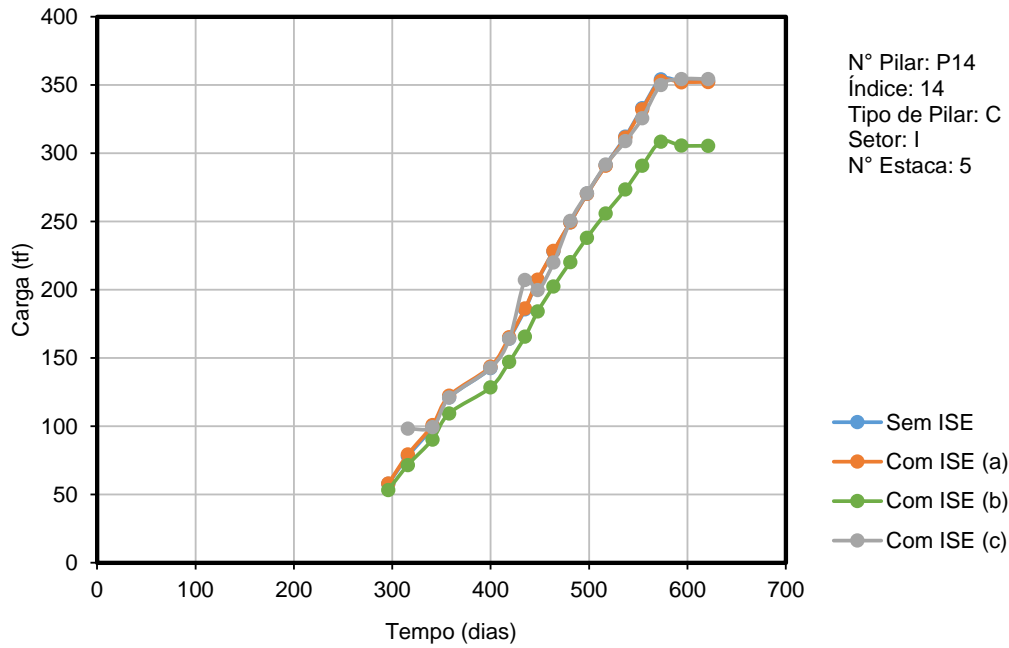
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
 Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra
 Com ISE (c) = carga/recalque do TQS após recalque de Randolph validado

Figura 6.20. Curva carga vs tempo por diferentes metodologias do pilar P3



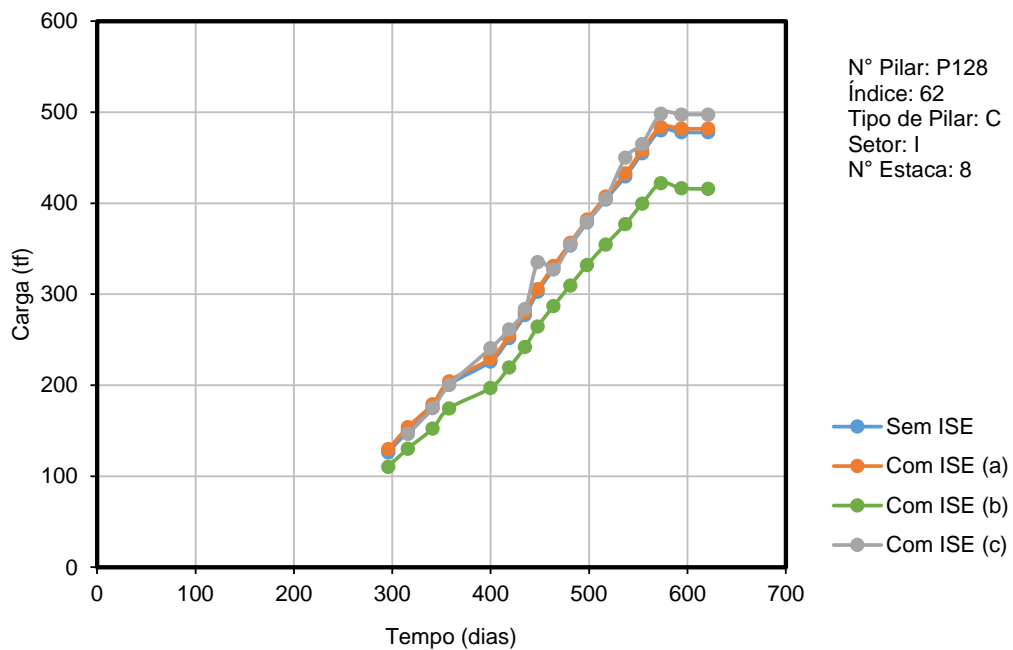
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
 Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra
 Com ISE (c) = carga/recalque do TQS após recalque de Randolph validado

Figura 6.21. Curva carga vs tempo por diferentes metodologias do pilar P36



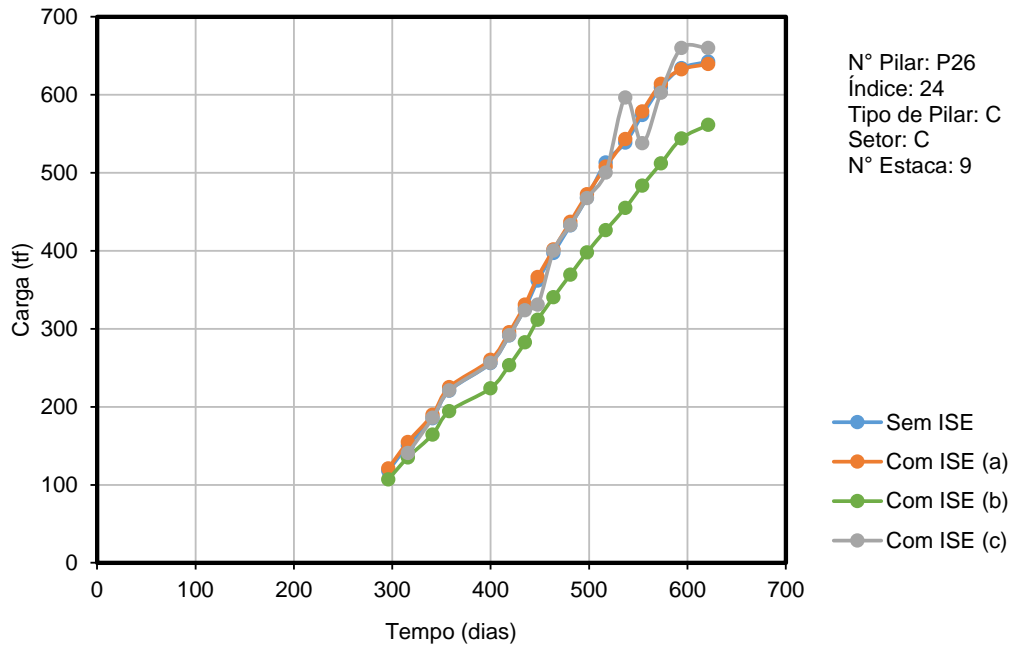
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
 Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra
 Com ISE (c) = carga/recalque do TQS após recalque de Randolph validado

Figura 6.22. Curva carga vs tempo por diferentes metodologias do pilar P14



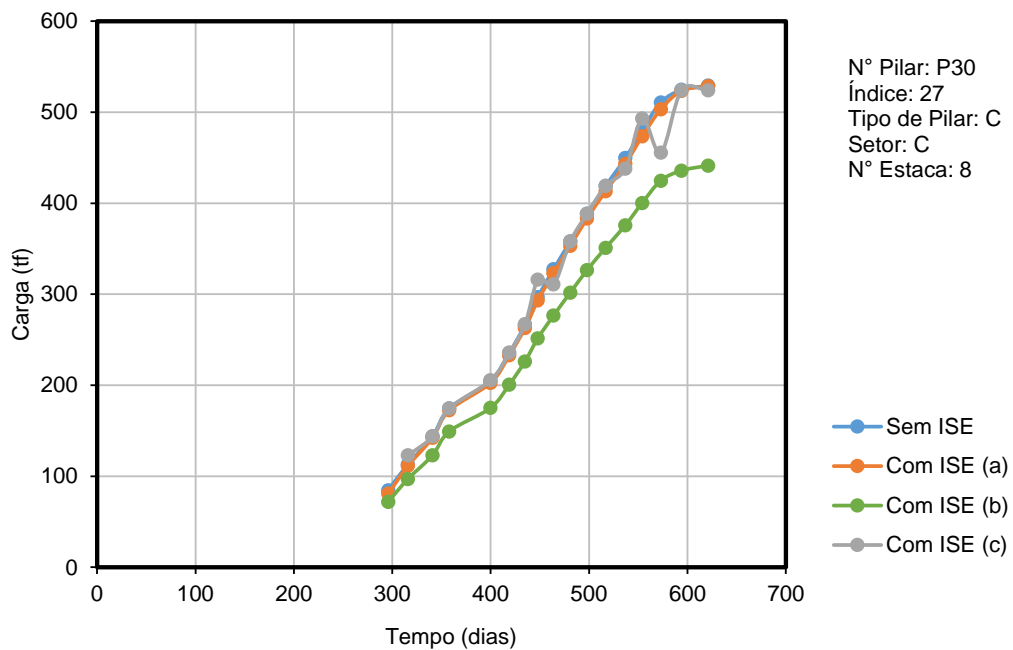
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
 Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra
 Com ISE (c) = carga/recalque do TQS após recalque de Randolph validado

Figura 6.23. Curva carga vs tempo por diferentes metodologias do pilar P128



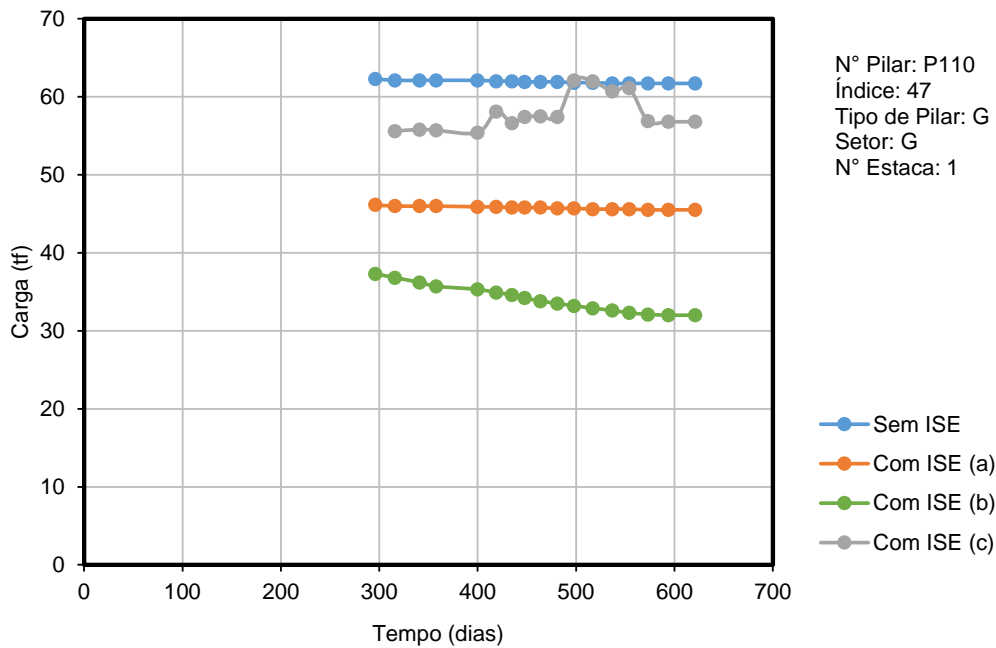
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra
Com ISE (c) = carga/recalque do TQS após recalque de Randolph validado

Figura 6.24. Curva carga vs tempo por diferentes metodologias do pilar P26



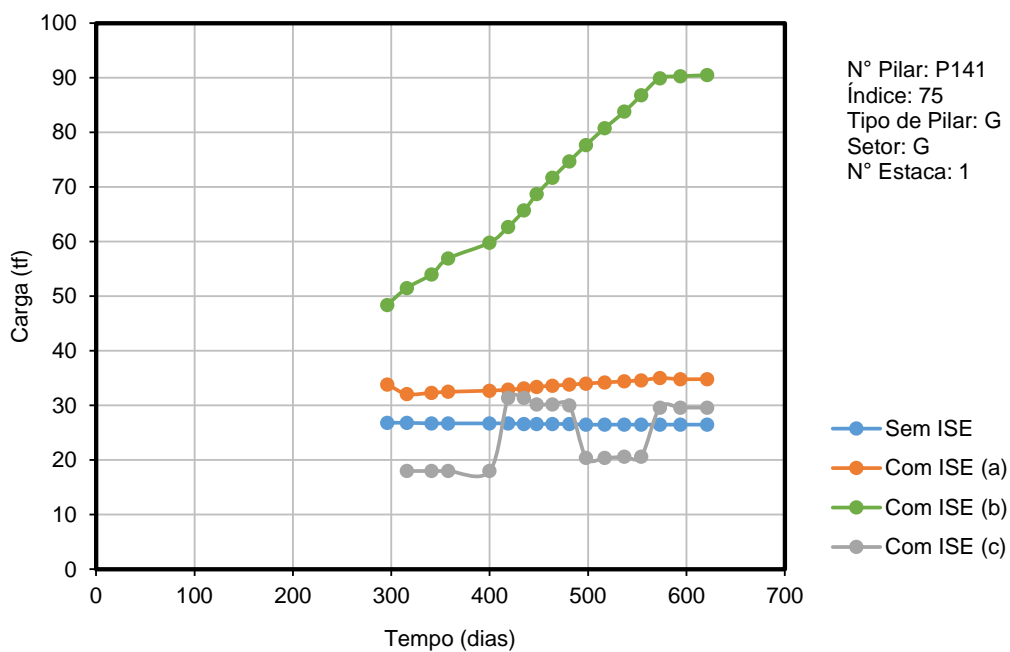
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra
Com ISE (c) = carga/recalque do TQS após recalque de Randolph validado

Figura 6.25. Curva carga vs tempo por diferentes metodologias do pilar P30



Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra
Com ISE (c) = carga/recalque do TQS após recalque de Randolph validado

Figura 6.26. Curva carga vs tempo por diferentes metodologias do pilar P110



Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra
Com ISE (c) = carga/recalque do TQS após recalque de Randolph validado

Figura 6.27. Curva carga vs tempo por diferentes metodologias do pilar P141

As Figura 6.28 à Figura 6.32 destacam o comportamento de alguns pilares do edifício estudado, pois apresentaram comportamentos e valores bem diferentes dos demais pilares do edifício. Isso ocorreu, provavelmente, por causa do nível de carregamento destes pilares e das vigas alavancas existentes nessa região do prédio.

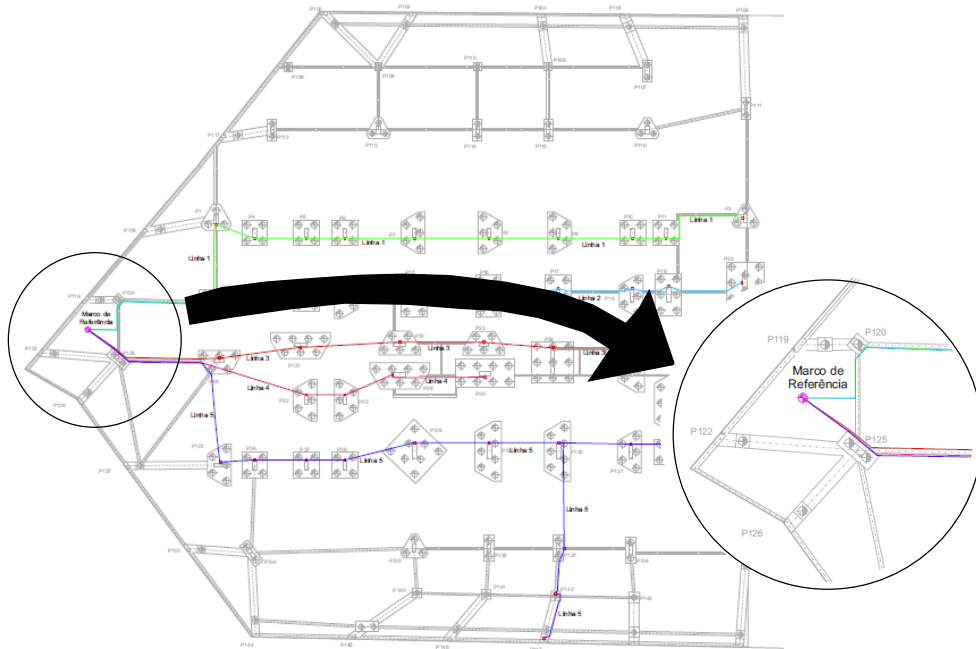
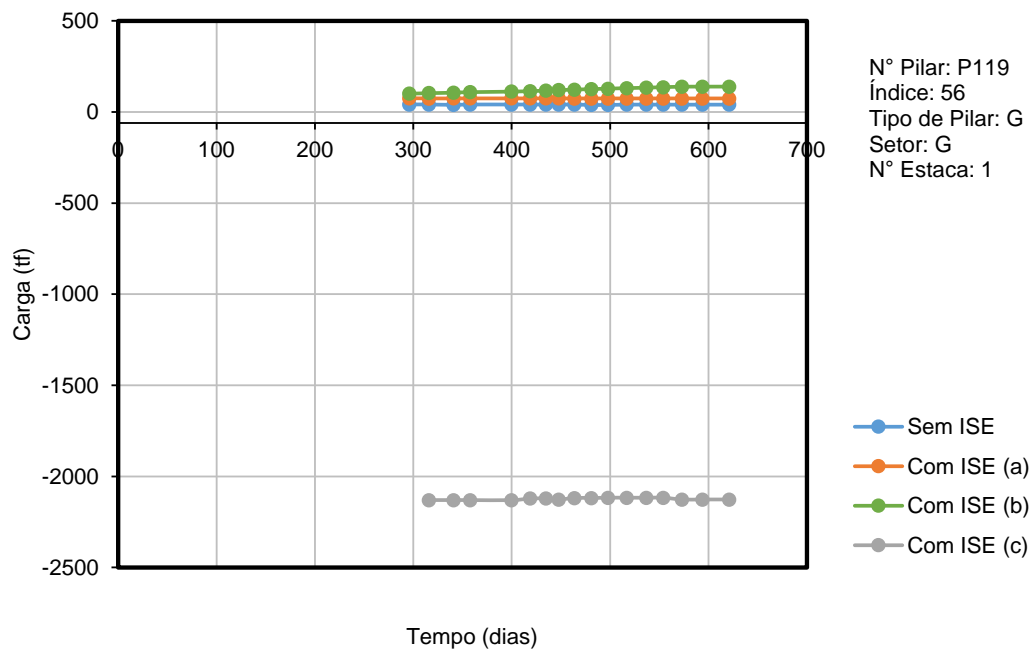
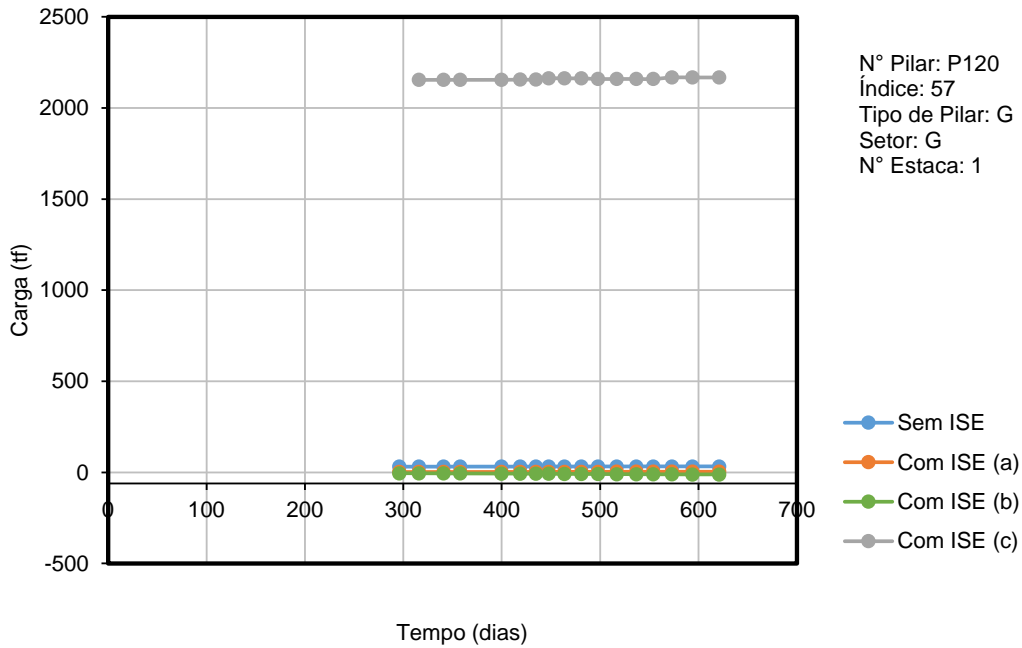


Figura 6.28. Pilares destacados devido ao seu comportamento



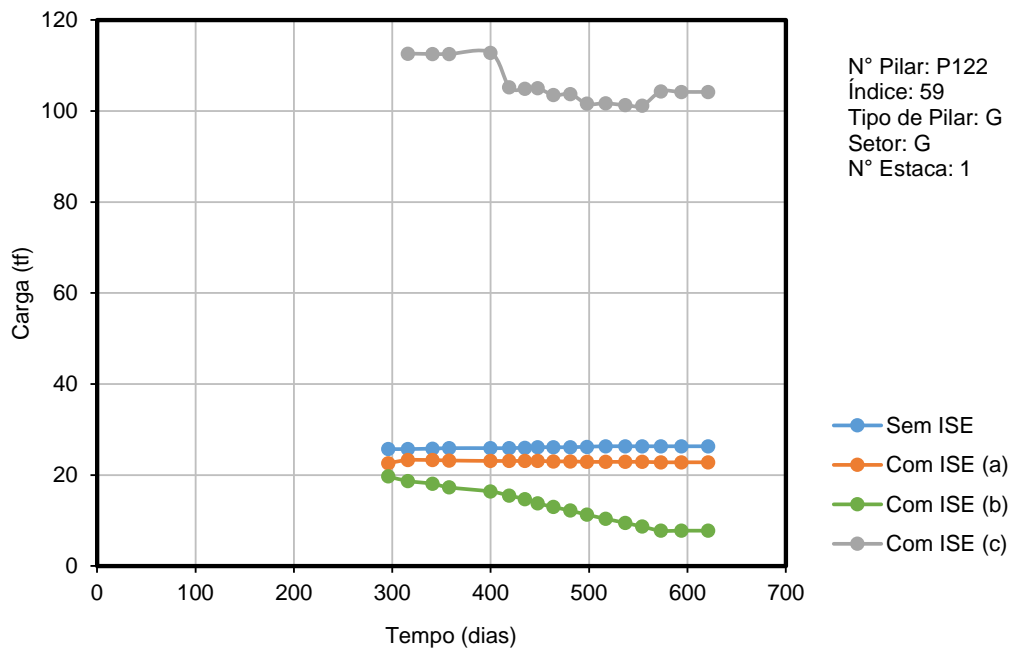
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
 Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra
 Com ISE (c) = carga/recalque do TQS após recalque de Randolph validado

Figura 6.29. Curva carga vs tempo do pilar P119 - pilares destacados



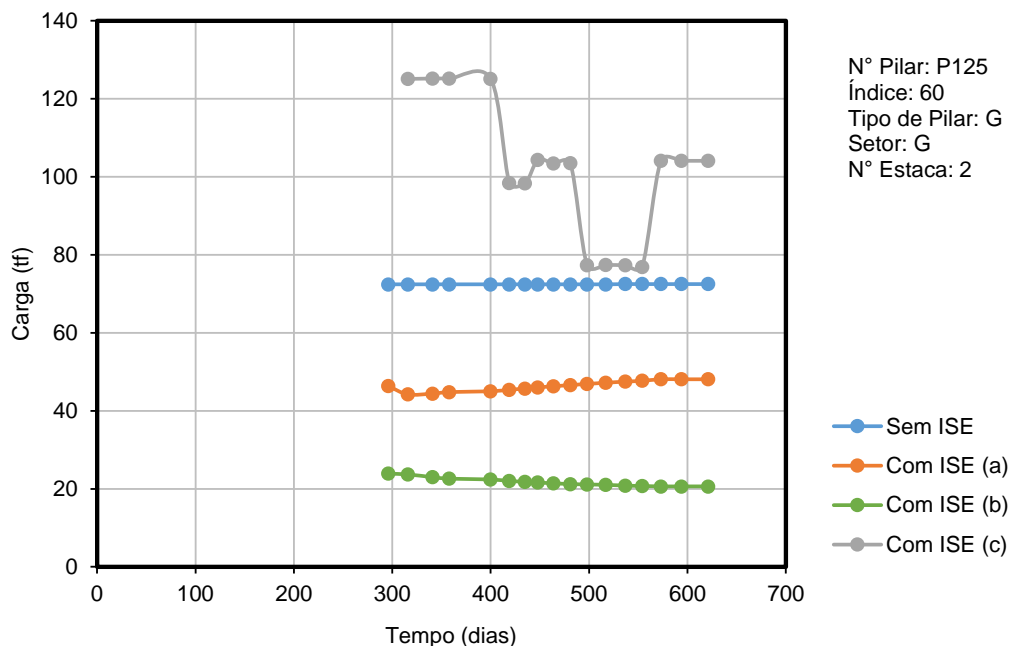
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra
Com ISE (c) = carga/recalque do TQS após recalque de Randolph validado

Figura 6.30. Curva carga vs tempo do pilar P120 - pilares destacados



Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra
Com ISE (c) = carga/recalque do TQS após recalque de Randolph validado

Figura 6.31. Curva carga vs tempo do pilar P122 - pilares destacados



Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra
Com ISE (c) = carga/recalque do TQS após recalque de Randolph validado

Figura 6.32. Curva carga vs tempo do pilar P125 - pilares destacados

6.5 MONITORAMENTO DE RECALQUE

A partir do monitoramento de recalque realizado no edifício estudado durante o seu processo construtivo, foi possível obter leituras de recalque com o tempo para todos os pilares monitorados. As curvas se encontram no anexo D e os resultados serão discutidos por meio de parâmetros apresentados nos itens, a seguir.

Utilizando os valores de recalques medidos para cada pilar foram geradas curvas de iso-recalque para todas as etapas de execução das lajes, que se encontram no anexo E. Para efeito de ilustração e apresentação dos resultados serão expostas as etapas referentes aos dias: 4, 8, 12 e 16, conforme apresentados nas figuras Figura 6.33 à Figura 6.36. As etapas foram definidas por representarem o início (4), a fase intermediária (8 e 12) e a conclusão da inserção dos pavimentos tipo e alvenaria (16), respectivamente.

Observa-se na Figura 6.33, que para as primeiras etapas de construção da obra, os recalques ocorreram de forma uniforme nos elementos de fundação do edifício. Observa-se, ainda, que somente pequenas variações estão entre os recalques das fundações do setor de garagem e do setor dos pilares centrais.

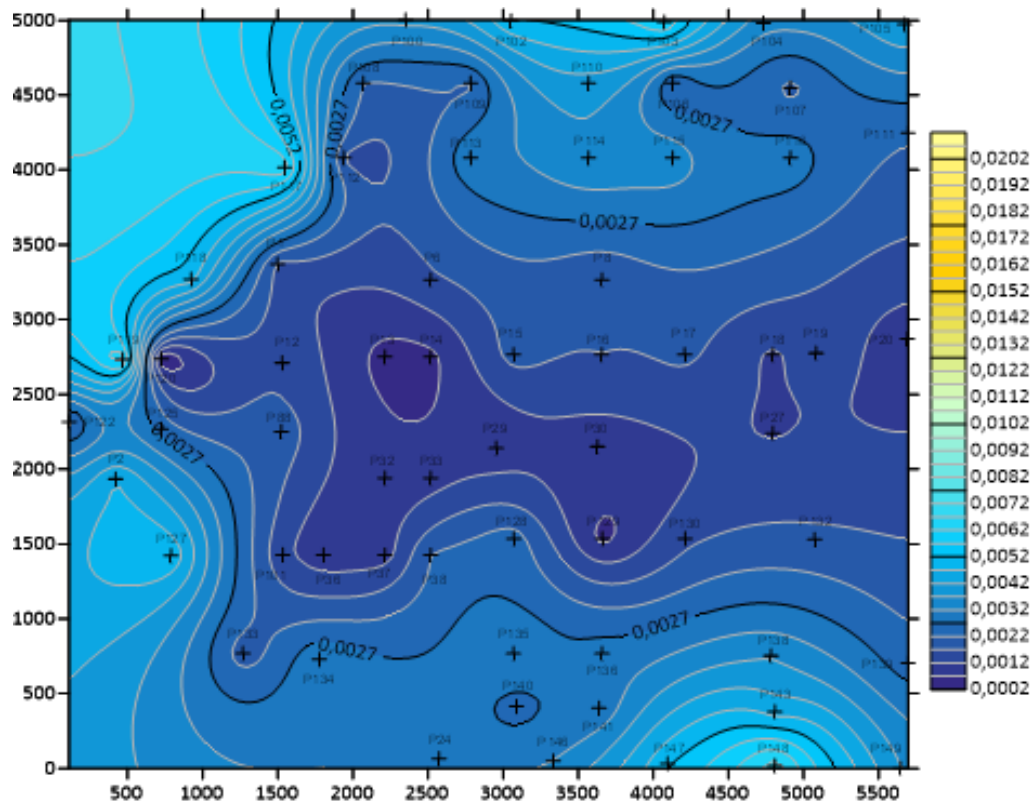


Figura 6.33. Isocurva do recalque monitorado - Tempo - 296 dias (4º pavimento)

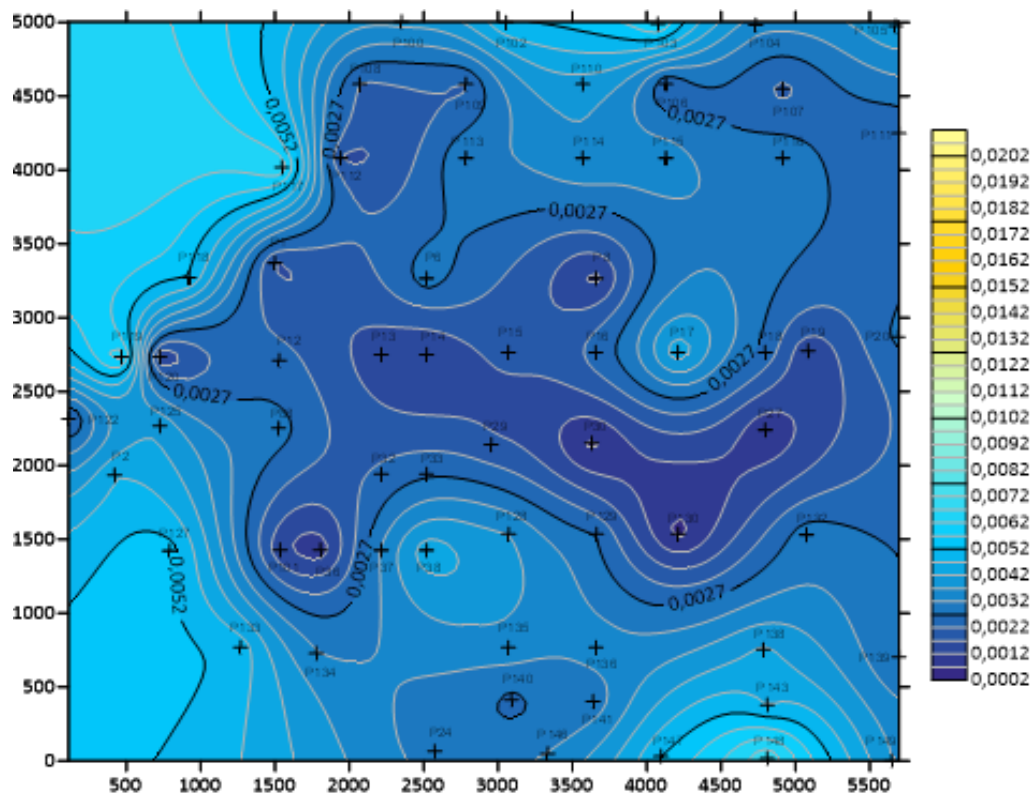


Figura 6.34. Isocurva do recalque monitorado - Tempo - 401 dias (8º pavimento)

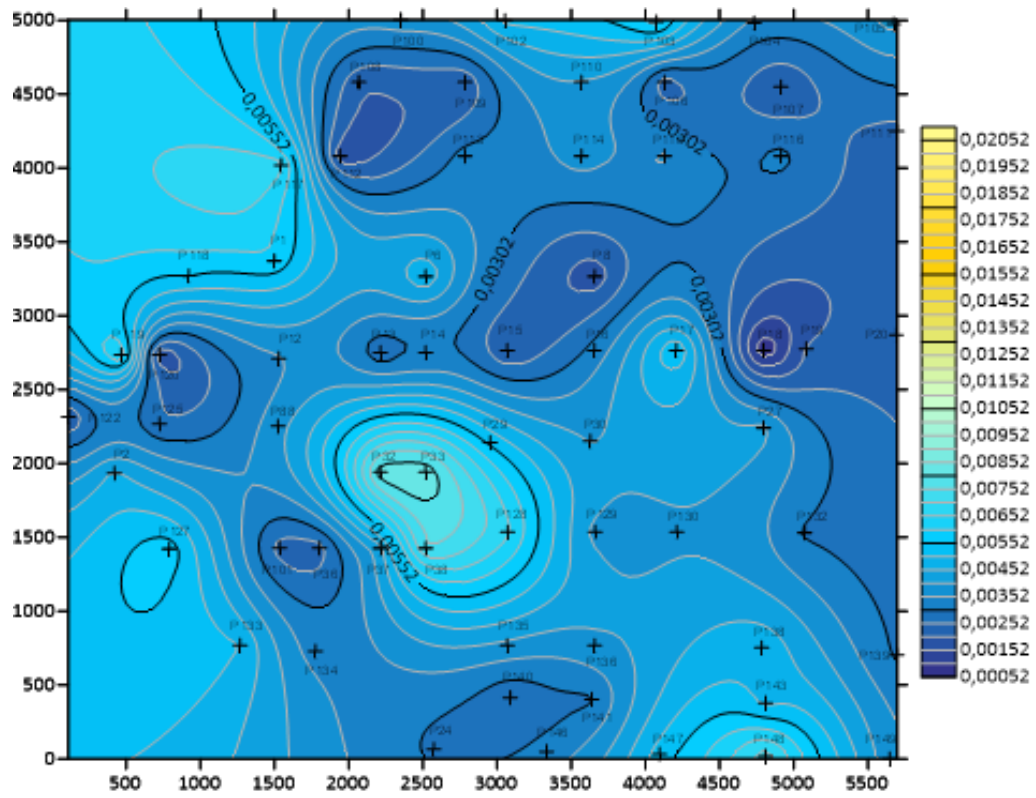


Figura 6.35. Isocurva do recalque monitorado - Tempo - 468 dias (12º pavimento)

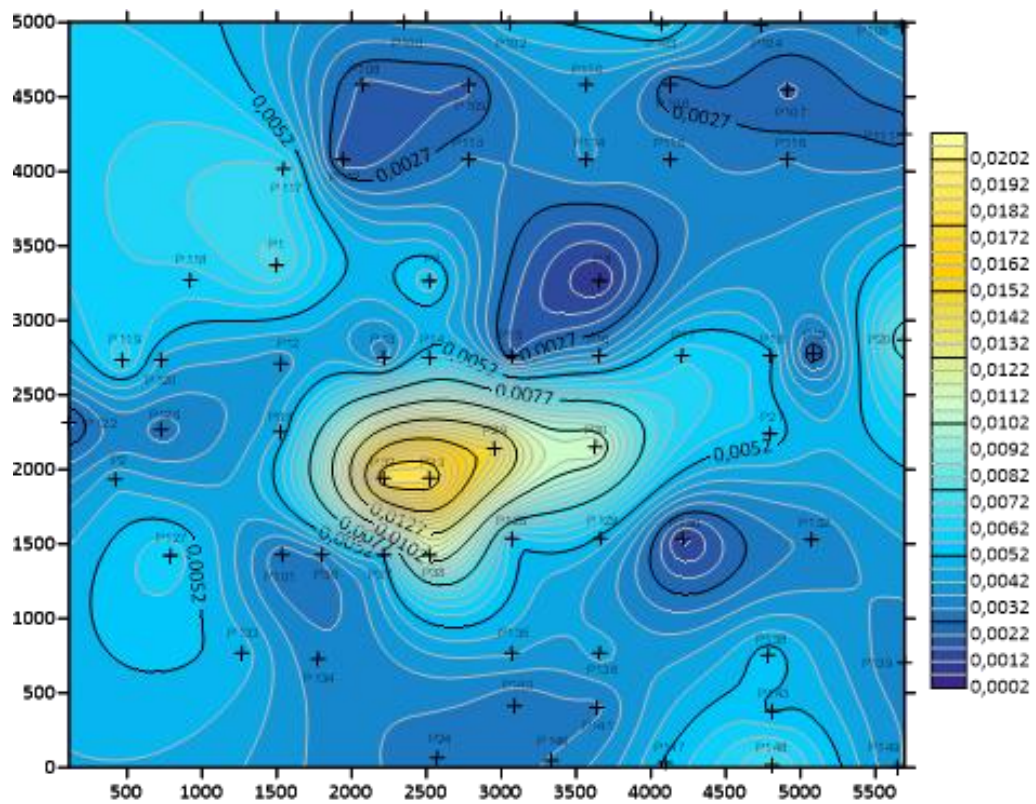


Figura 6.36. Isocurva do recalque monitorado - Tempo - 538 dias (16º pavimento)

Com o aumento do número de pavimentos constata-se, nas figuras Figura 6.34 à Figura 6.36, a formação de uma bacia de recalque com maiores depressões na região central do terreno. O que pode se verificar, pela posição espacial do edifício em relação à figura, é que os pavimentos tipo, geraram o carregamento responsável pelo acréscimo dos recalques na região. Essa região é onde se encontram os pilares mais carregados da estrutura.

6.6 ANÁLISE COM PARÂMETROS DA BIBLIOGRAFIA

6.6.1 Recalque absoluto médio

Por meio dos recalques, observou-se a evolução do recalque absoluto médio com o tempo (Figura 6.37). Foi constatado que quando não se considera o efeito de grupo, ou seja, ao considerar apenas a interação entre estacas do mesmo bloco, com ISE^a, os recalques apresentam resultados muito similares à condição em que não se considera a ISE, sem ISE, assim como os recalques calculados pelo método de Randolph (1977), com ISE^c. Já os recalques, considerando a interação entre todas as estacas da obra, com ISE^b, apresentaram valores médios maiores que para as demais situações; já na fase final da concretagem do edifício foram registrados valores bem próximos do monitoramento de recalque.

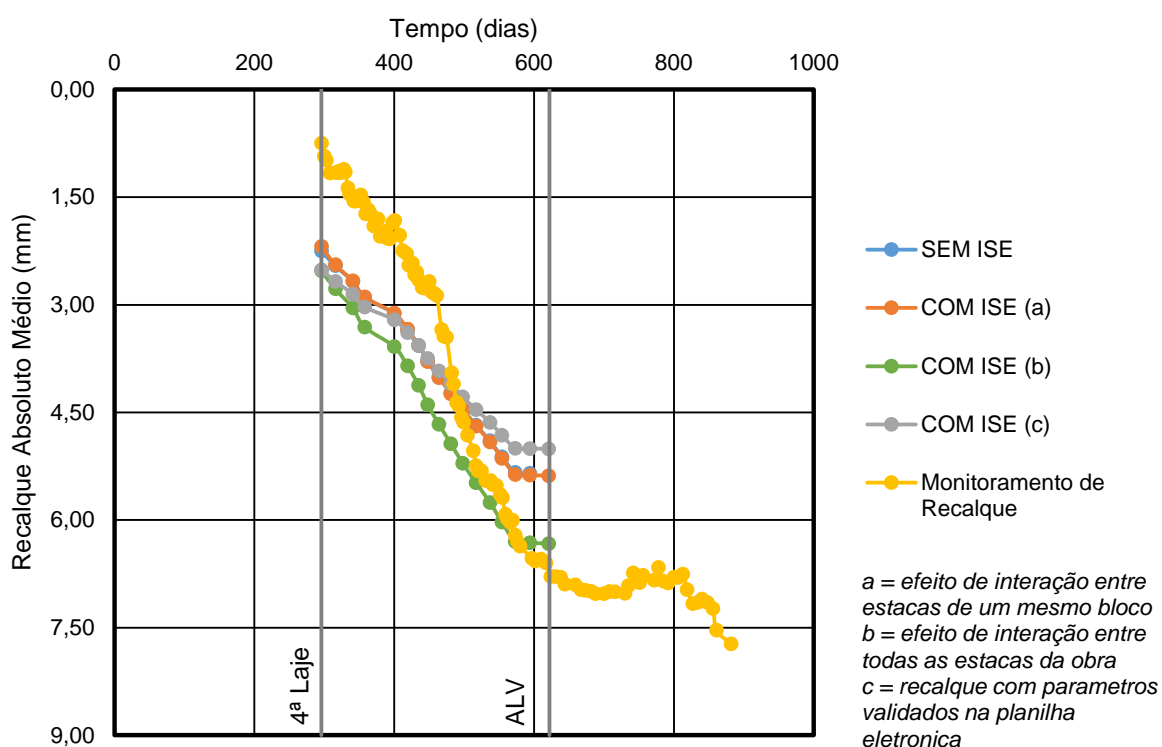


Figura 6.37. Recalque médio com o tempo de todos os modelos analisados

Na Figura 6.37 é possível comparar o recalque médio obtido pelo monitoramento de recalque com o recalque médio teórico (validado) calculado pelo método de Randolph. Pode-se observar ainda, que há uma diferença substancial em relação à magnitude do recalque na fase inicial de construção, entre os recalques teóricos e o do monitoramento de recalque. Entretanto, a velocidade do recalque apresenta, praticamente, a mesma tendência. Nota-se que, a partir de 480 dias, ou seja, a partir da construção do 13º pavimento, a velocidade do recalque monitorado aumenta, significativamente, em relação ao recalque teórico.

6.6.2 Recalque Diferencial

Na Figura 6.38 são apresentadas as curvas dos valores máximos e médias dos recalques diferenciais. Os valores dos recalques diferenciais máximos foram calculados para todos os pilares em cada etapa de construção referente à execução de laje, por meio da diferença entre os recalques totais medidos em cada pilar.

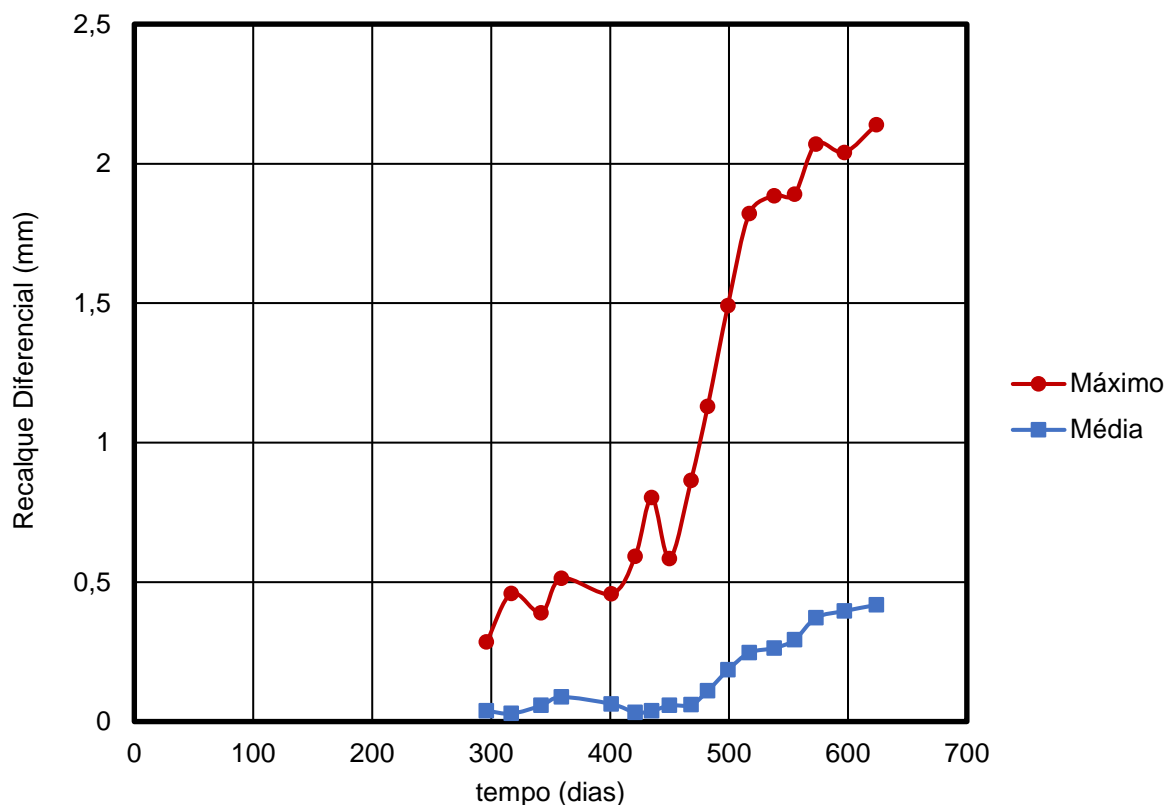


Figura 6.38. Recalque diferencial máximo e médio

Observa-se que as médias e os valores máximos dos recalques diferenciais tendem a aumentar à medida que a estrutura é construída, o que também pode ser observado pela formação da bacia dos recalques, apresentada na Figura 6.38.

É possível observar que o recalque diferencial máximo aumenta de grandeza com o aumento da rigidez relativa estrutura-solo, sendo que os recalques diferenciais são mais influenciados pela rigidez do que os recalques absolutos.

A Figura 6.39 apresenta uma comparação dos valores de recalques diferenciais obtidos para o caso de estudo com valores de referência. Segundo a bibliografia, os dados são de 524 dias de obra, com a concretagem da 19ª e 20ª lajes. Observa-se que os recalques diferenciais medidos são menores que 1/300, que é o limite de início de fissuramento de painéis de alvenaria em estruturas aporticadas de concreto (Bjerrum, 1963). De fato, até a época da medição dos recalques desta leitura, e inclusive até a última leitura realizada, o prédio não apresentava quaisquer patologias relacionadas a movimentos da fundação.

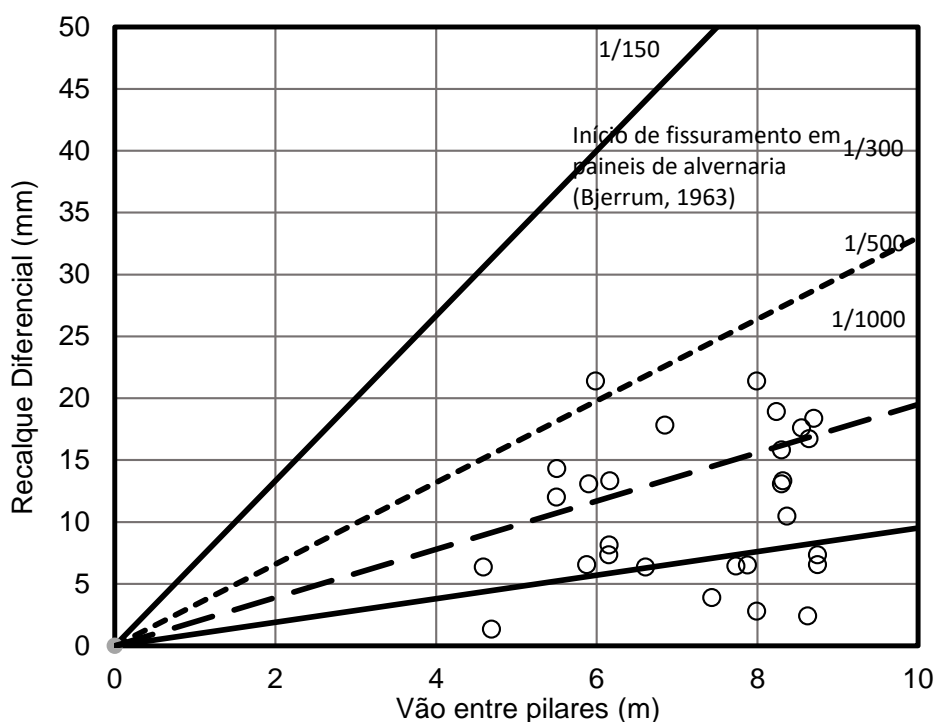


Figura 6.39. Recalque diferencial comparado com referências da bibliografia

Com os recalques teóricos determinados foi possível induzir em todos os pilares do modelo numérico seus respectivos valores. Após o processamento do software obteve-se uma nova distribuição de carga, possibilitando analisar a

redistribuição. Os resultados do modelo serão identificados como “Modelo Teórico”. Lembrando que os recalques teóricos foram calculados apenas para a condição com ISE^a.

Além do recalque teórico, tem-se o recalque obtido pelo monitoramento durante a construção do edifício. Os resultados do modelo, considerando o recalque monitorado, serão identificados como “Modelo Monitoramento”. Este recalque também foi induzido no modelo numérico, onde se obteve uma nova distribuição de carga.

Para estes dois modelos foram determinados os parâmetros já consagrados na bibliografia e estão representados por meio das isocurvas nas figuras 6.15 a 6.16. No anexo E se encontram as isocurvas para todos os estágios de construção.

6.6.3 Fator de recalque absoluto (AR) e Fator de recalque diferencial (DR)

As figuras Figura 6.40 à Figura 6.43 apresentam as iso-curvas de fator de recalque absoluto (AR) para diferentes momentos da obra e as figuras Figura 6.44 à Figura 6.48 apresentam as iso curvas de fator de recalque diferencial (DR).

Analisando as isocurvas de AR e DR é possível observar que na fase inicial de construção os pilares do setor periférico apresentam valores de $AR > 1$, alívio nos pilares. À medida que a construção evolui a região de alívio vai sendo transferida para o setor intermediário e central, indicando que o comportamento da estrutura é, significativamente, influenciado pela interação solo-estrutura. No caso, a mudança de setor acontece devido ao processo de transferência de carga, gerando alívio em alguns pilares, e sobrecarga em outros, de modo a uniformizar os recalques. Pode-se observar que o AR e o DR possuem o mesmo comportamento.

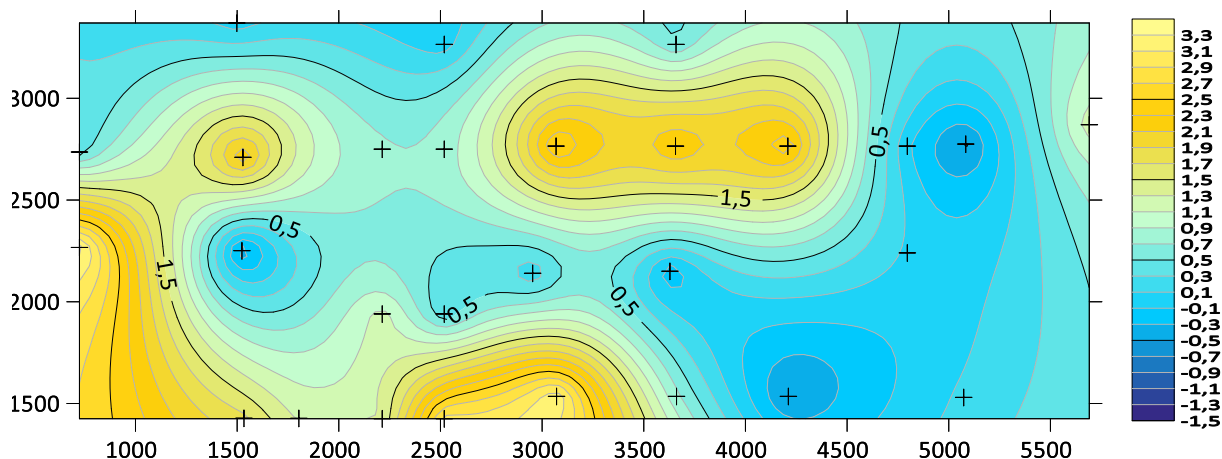


Figura 6.40. Isocurvas de AR - Tempo - 296 dias (4º pavimento)

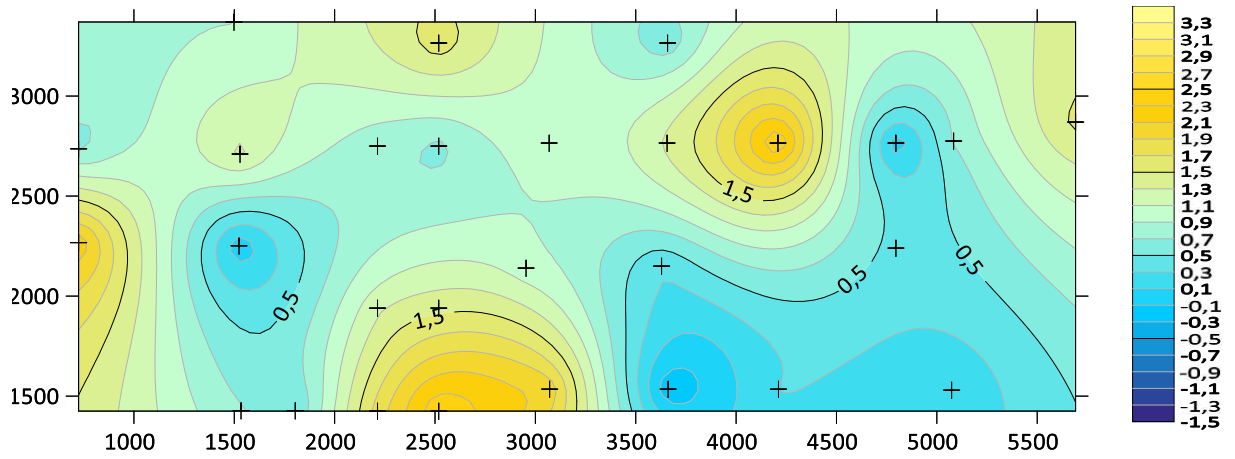


Figura 6.41. Isocurvas de AR - Tempo - 401 dias (8^o pavimento)

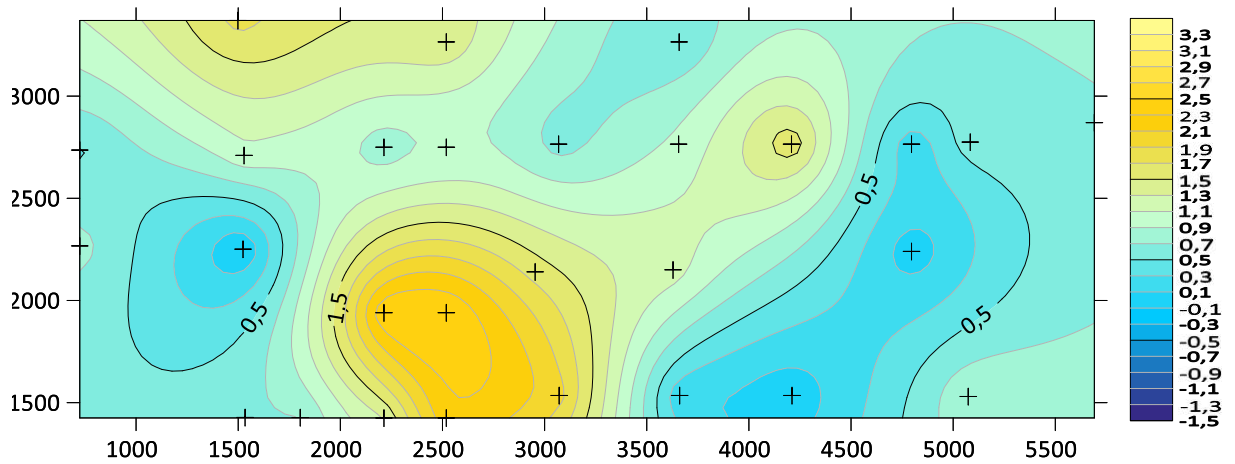


Figura 6.42. Isocurvas de AR - Tempo - 468 dias (12^o pavimento)

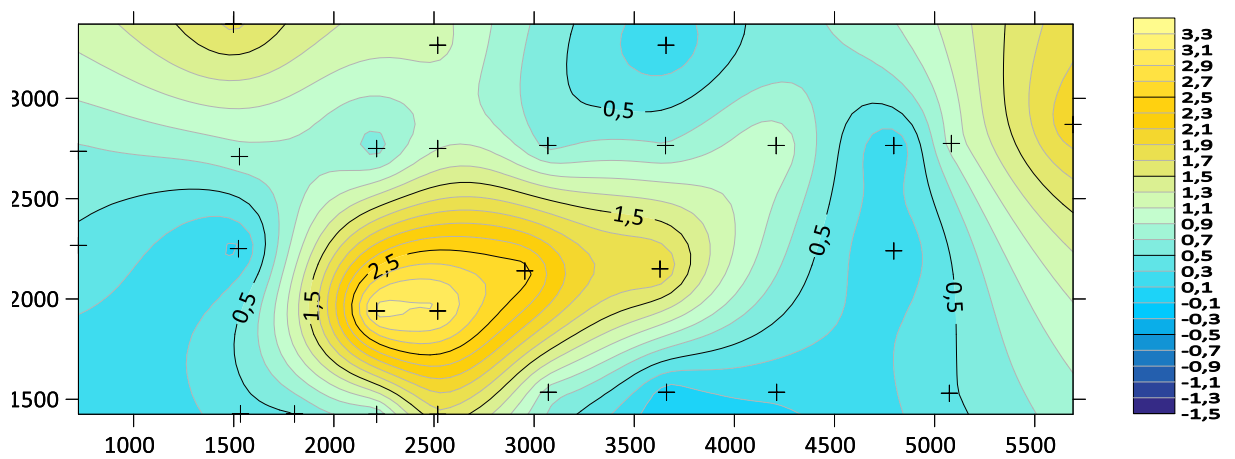


Figura 6.43. Isocurvas de AR - Tempo - 621 dias (20^o pavimento)

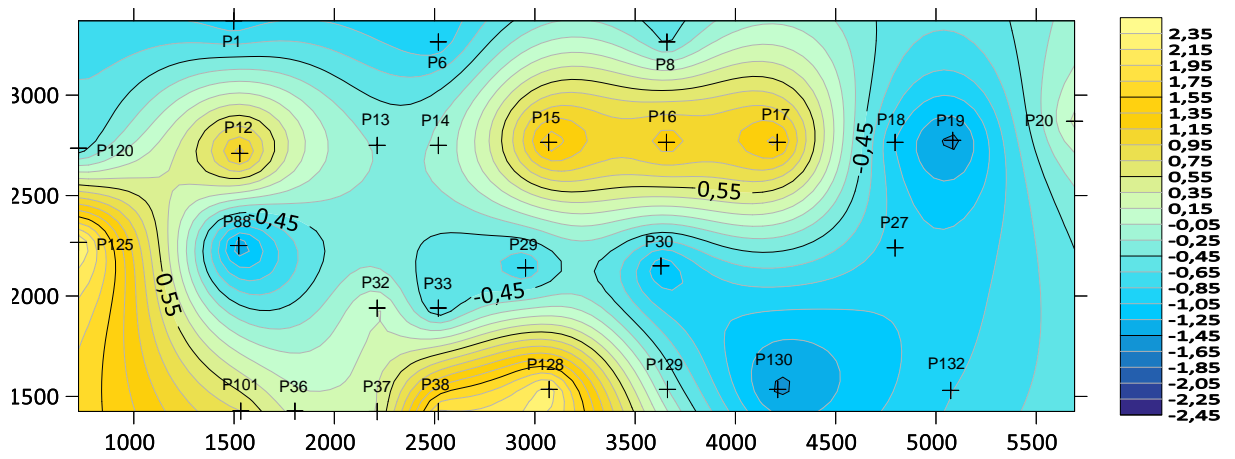


Figura 6.44. Isocurvas de DR - Tempo - 296 dias (4º pavimento)

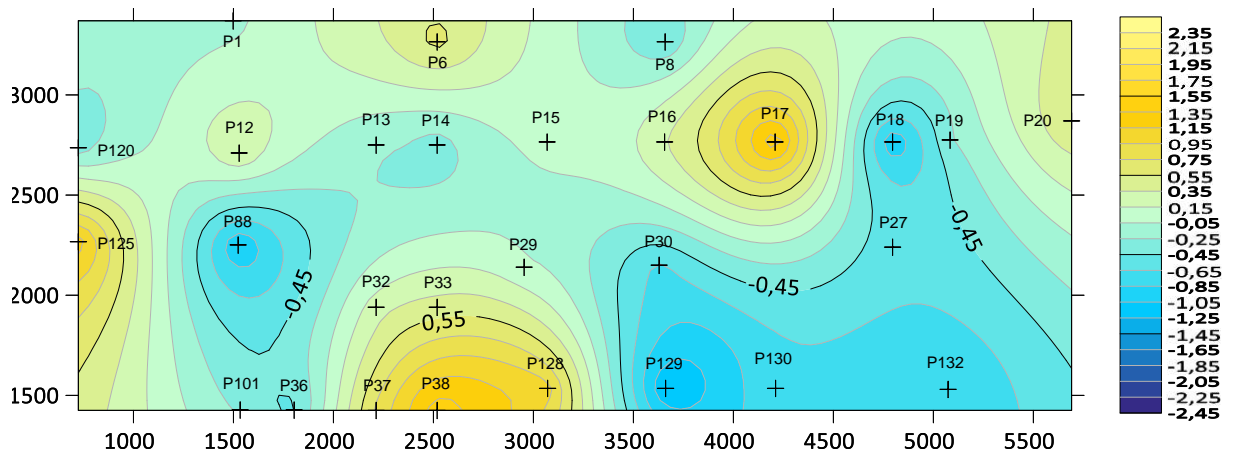


Figura 6.45. Isocurvas de DR - Tempo - 401 dias (8º pavimento)

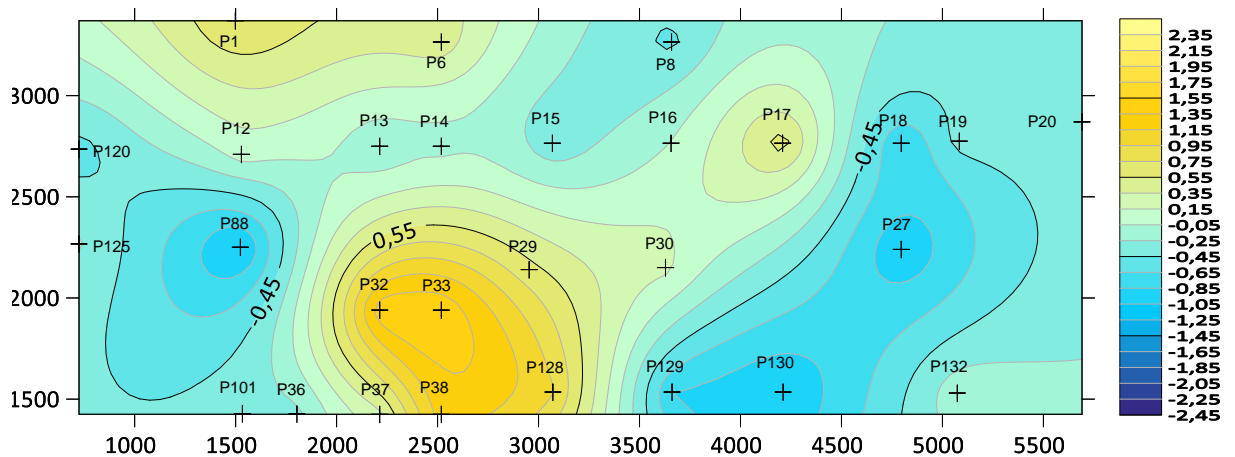


Figura 6.46. Isocurvas de DR - Tempo - 468 dias (12º pavimento)

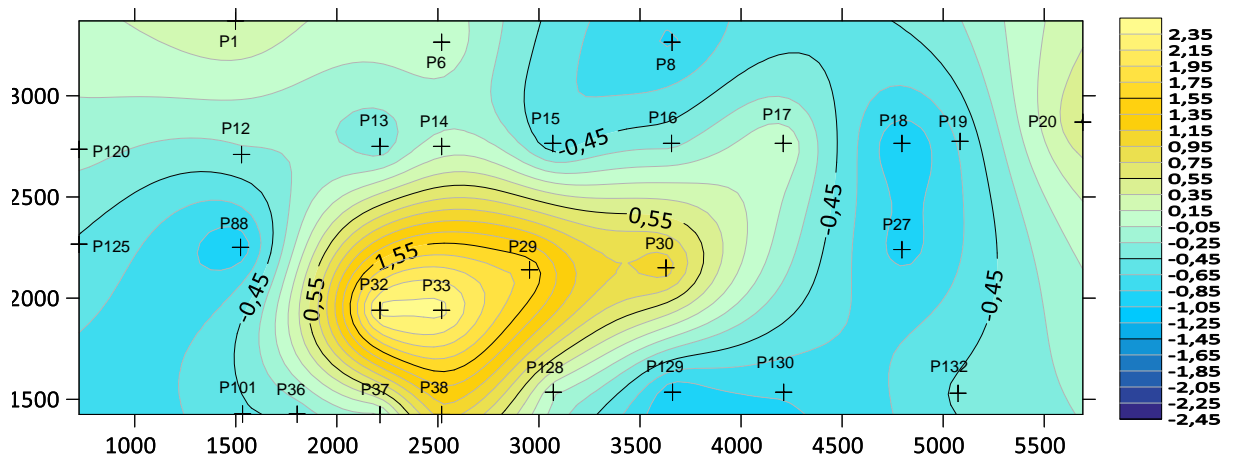


Figura 6.47. Isocurvas de DR - Tempo - 538 dias (16º pavimento)

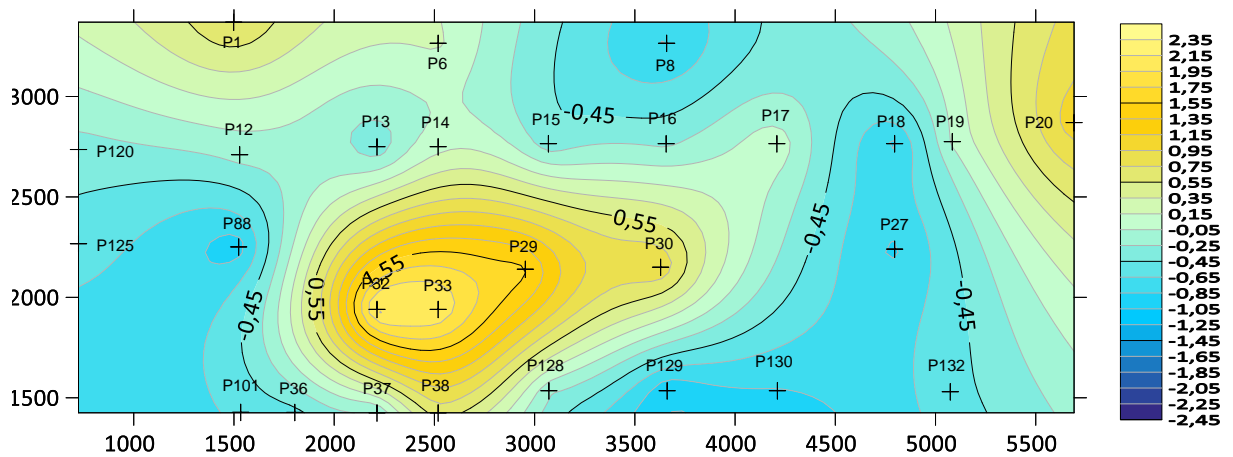


Figura 6.48. Isocurvas de DR - Tempo - 621 dias (20º pavimento)

6.6.4 Coeficiente de variação dos recalques (CV)

Ao observar na Figura 6.49, o coeficiente de variação do monitoramento de recalque (CV_{monit}), e comparar com o coeficiente de variação do recalque teórico ($CV_{\text{teórico}}$) nota-se que há maior variação do parâmetro no monitoramento de recalque. Sabendo que o CV é a relação do desvio padrão sobre a média, e como não há uma diferença substancial entre os recalques médios, é possível concluir que o comportamento do CV ocorre devido à variação do desvio padrão dos valores de recalque obtidos a partir do monitoramento. O caso descrito acima acontece nos métodos teóricos onde não é possível levar em consideração a variabilidade dos parâmetros e a variabilidade da estratigrafia do maciço de fundação. Além disso, a forma de consideração da ISE no software para a determinação da redistribuição das cargas, e a determinação do recalque, não é a mesma observada no campo por meio das medidas reais, onde se têm embutidos os efeitos da ISE.

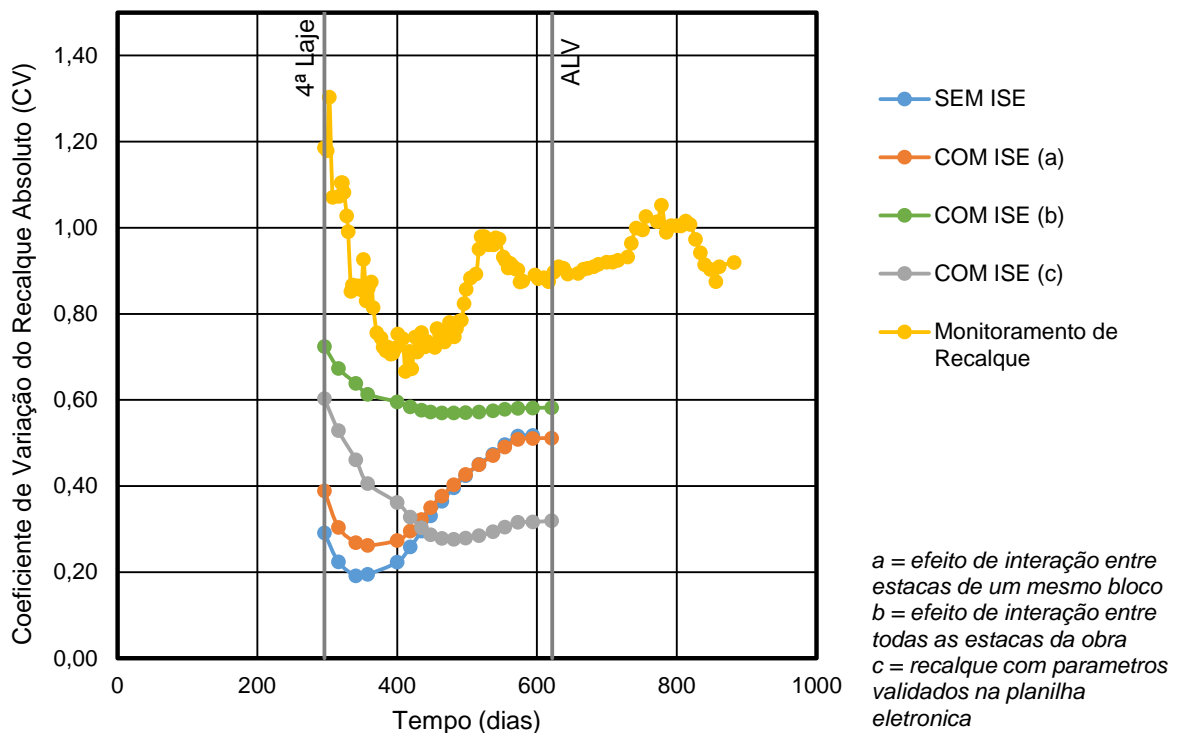


Figura 6.49. Coeficiente de variação do recalque absoluto com o tempo

No trabalho de Prellwitz (2015) é apresentada uma comparação dos resultados da autora com alguns outros trabalhos publicados. Na Figura 6.50, retirada do trabalho de Prellwitz, é possível observar que o coeficiente de variação do recalque absoluto tendeu à uniformização. O fato ocorreu em razão do aumento da rigidez do edifício, ocasionado pela continuação do processo executivo, agindo preponderantemente, na minimização das dispersões dos recalques.

6.6.5 FQ (Barros, 2005)

Barros (2005) determinou um método em que compara o fator de recalque diferencial (DR), proposto por Gusmão (1990), com o coeficiente de redistribuição de carga (FQ) sugerido pelo próprio autor.

Na Figura 6.51 são apresentados os resultados do modelo teórico e do monitoramento de acordo com a metodologia analisada por Barros (2005).

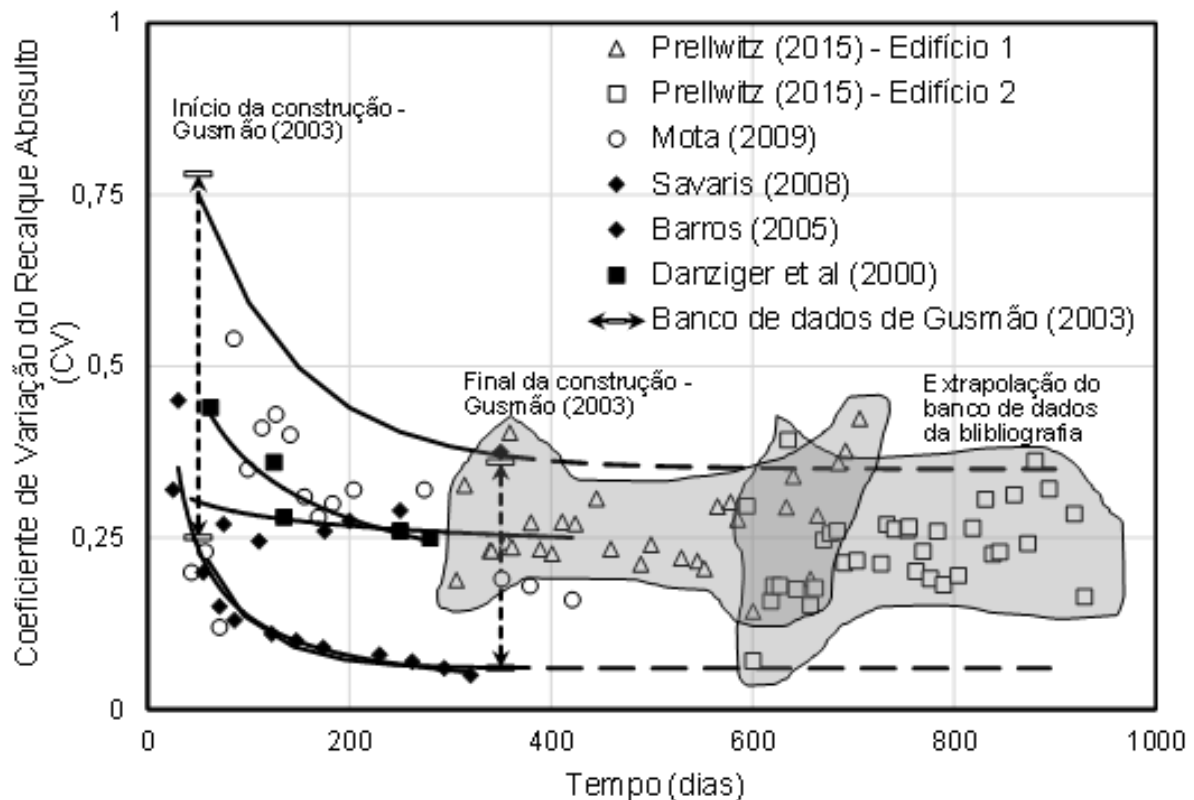


Figura 6.50. Comparação do coeficiente de variação do recalque absoluto deste trabalho com alguns da bibliografia

A partir da Figura 6.51, percebe-se que o valor de DR, no modelo teórico, tende a zero com a evolução do processo construtivo, o que representa um aumento da rigidez da estrutura (menor dispersão entre o recalque absoluto do apoio e o recalque absoluto médio de todos os apoios). A partir do 10º pavimento há uma tendência dos dois parâmetros (DR e FQ) tendendo a zero, o que significa a ausência do processo de interação solo-estrutura. À medida que a estrutura vai ficando mais rígida, os efeitos da interação são dispersados, já que a estrutura impõe uma uniformização dos recalques. A análise durante o processo construtivo permite analisar a diminuição dos efeitos da interação solo-estrutura no comportamento estrutural.

Segundo os resultados apresentados por Barros (2005), a partir da terceira e quarta laje, ocorre uma alteração na velocidade dos recalques onde é verificada uma diminuição dos efeitos da ISE no comportamento estrutural. Como no caso da presente tese as análises só foram feitas a partir da 4ª laje, a percepção inicial ficou comprometida, apesar da observação do comportamento nas lajes seguintes.

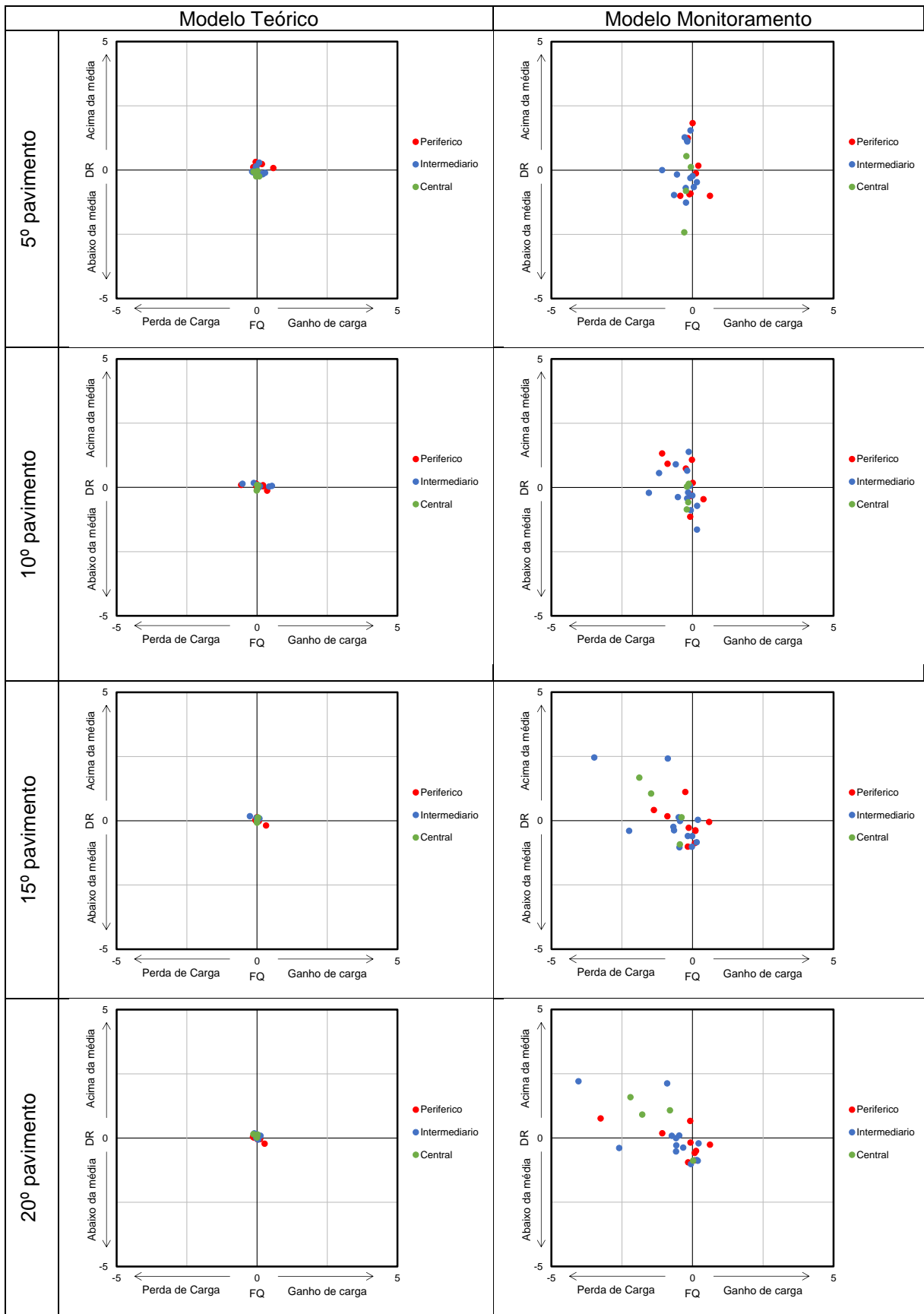


Figura 6.51. Análise do FQ (Barros, 2005) para modelo teórico e modelo do monitoramento

No modelo do monitoramento, é notória a variação do DR e FQ no 5º pavimento, ou seja, na fase inicial da construção. É possível, também observar, o DR muito alargado na vertical, em função de maior variabilidade do recalque monitorado na mesma fase em que a estrutura ainda está flexível e permite que a interação aconteça. Já o FQ varia pouco pela baixa distribuição de carga no início. À medida que a construção do edifício acontece, a estrutura vai se tornando mais rígida e ocorre uma menor variação espacial, ou seja, a interação entre o solo e a estrutura diminui.

Na Figura 6.51 existem alguns pontos que se dispersam do comportamento esperado em razão dos dados do monitoramento de recalque apresentarem dispersão maior no final da construção por conta das intercorrências de leituras registradas.

6.6.6 FR (Savaris, 2008)

Savaris (2008) faz uma análise da interação solo-estrutura nas cargas dos apoios, em termos de porcentagem, com o intuito de avaliar os efeitos dos recalques nas reações dos apoios dos pilares. Foram impostos os recalques medidos em cada etapa como deslocamentos prescritos nos apoios, obtendo-se os efeitos dos recalques nas reações dos apoios.

As figuras Figura 6.52 à Figura 6.57 apresenta as curvas de valores máximos e mínimos de FR em cada etapa de construção modelada. Observa-se que para valores de FR maiores que zero, ocorre acréscimo de carga nos pilares, enquanto para valores de FR menores que zero ocorre alívio de carga.

Para o modelo do monitoramento de recalque é possível observar que a amplitude entre os valores de acréscimo e alívios de carga entre os pilares tendeu a aumentar à medida dos acréscimos da quantidade de pavimentos do edifício. Observa-se que a partir do parâmetro FR (%), desenvolvido por Savaris, não há redução do efeito de redistribuição de carga com o aumento da rigidez da estrutura, conforme relatado por Savaris (2008).

No modelo teórico existe uma simetria das curvas em relação ao eixo horizontal que passa pela origem, indicando que ocorre a redistribuição dos esforços causada pela interação solo-estrutura. No modelo do monitoramento, a simetria não existe.

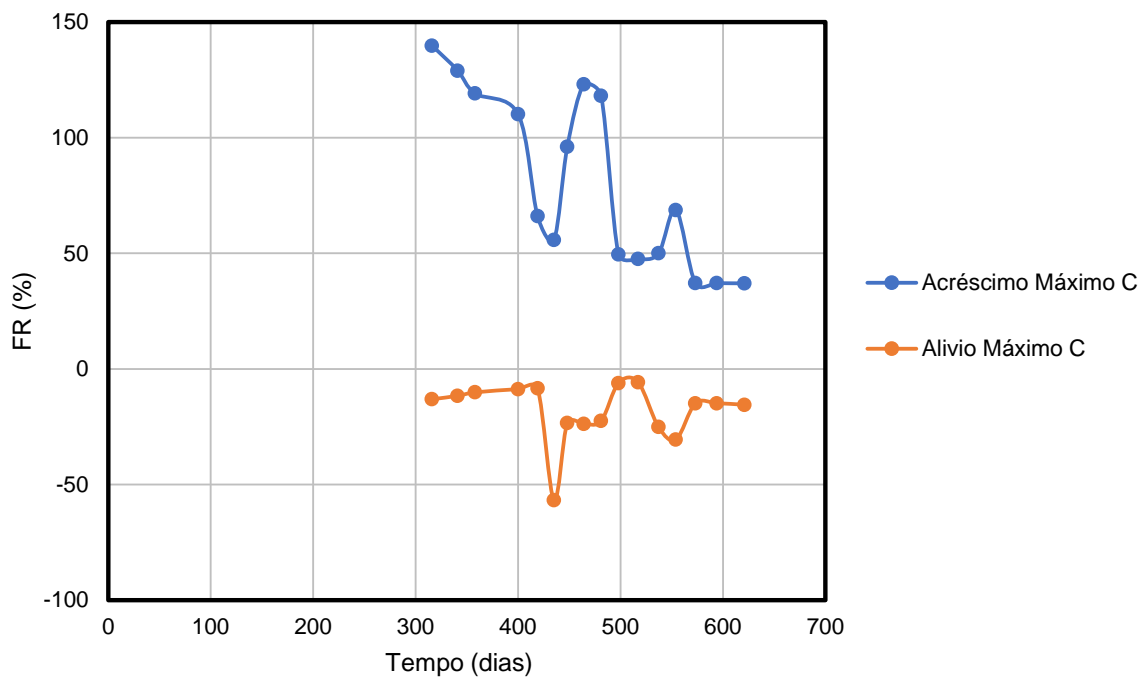


Figura 6.52. Análise do FR (Savaris, 2008) - modelo teórico aplicado nos pilares da periferia

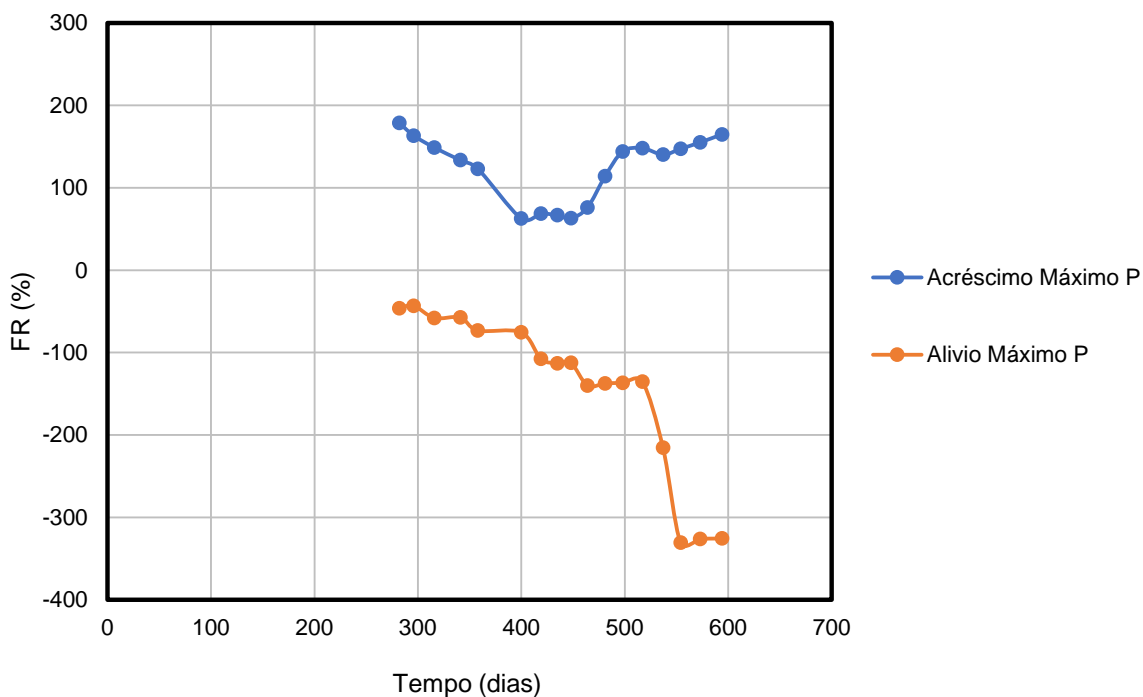


Figura 6.53. Análise do FR (Savaris, 2008) - modelo monitoramento aplicado nos pilares da periferia

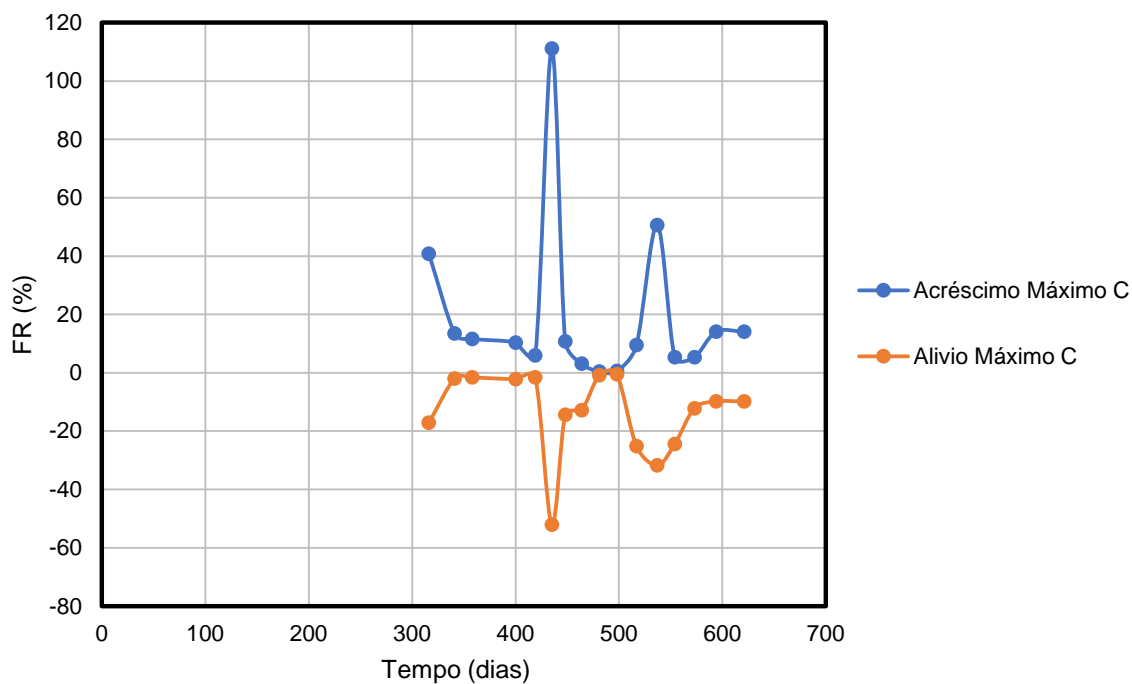


Figura 6.54. Análise do FR (Savaris, 2008) - modelo teórico aplicado nos pilares intermediário

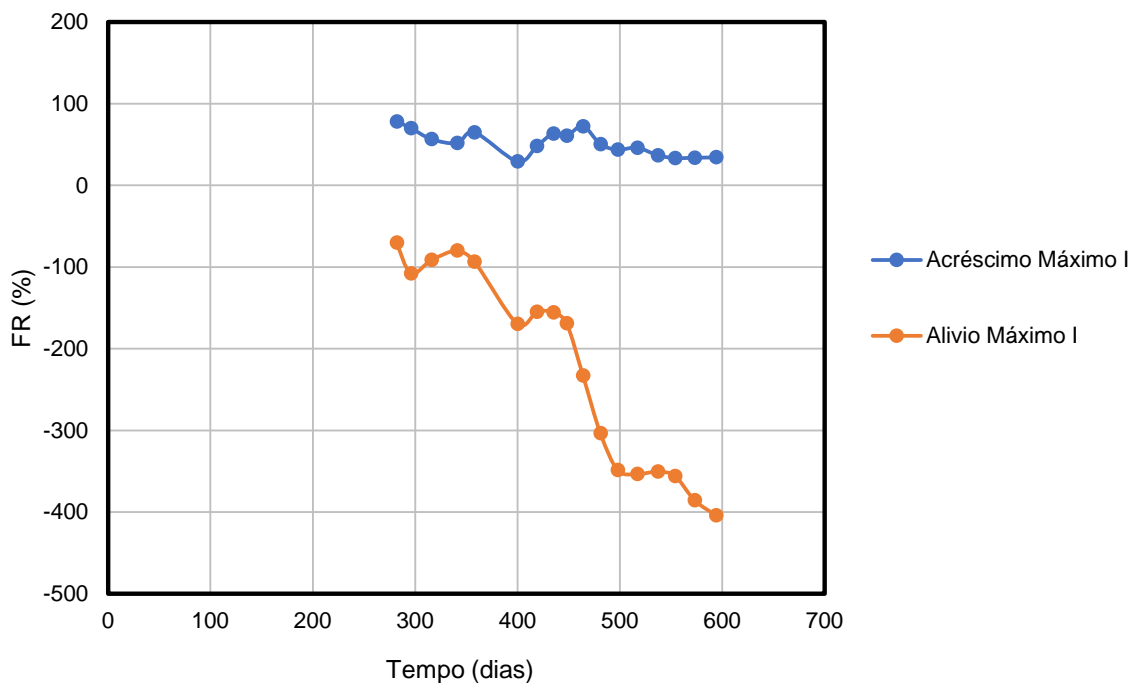


Figura 6.55. Análise do FR (Savaris, 2008) - modelo monitoramento aplicado nos pilares intermediário

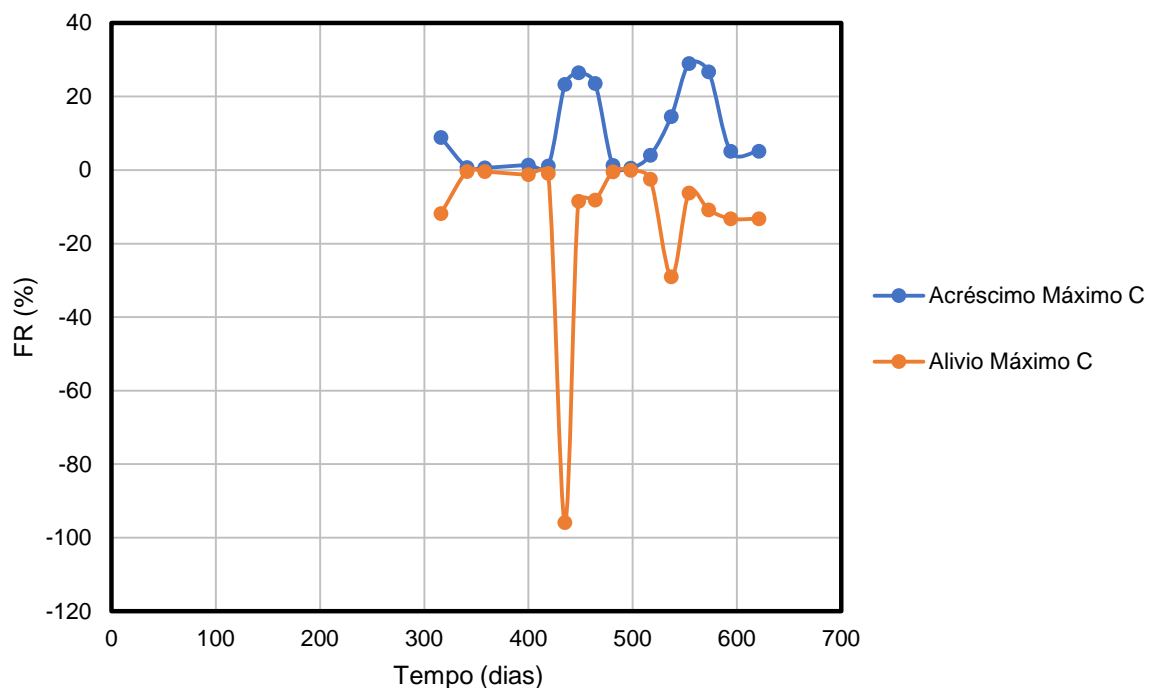


Figura 6.56. Análise do FR (Savaris, 2008) - modelo teórico aplicado nos pilares centrais

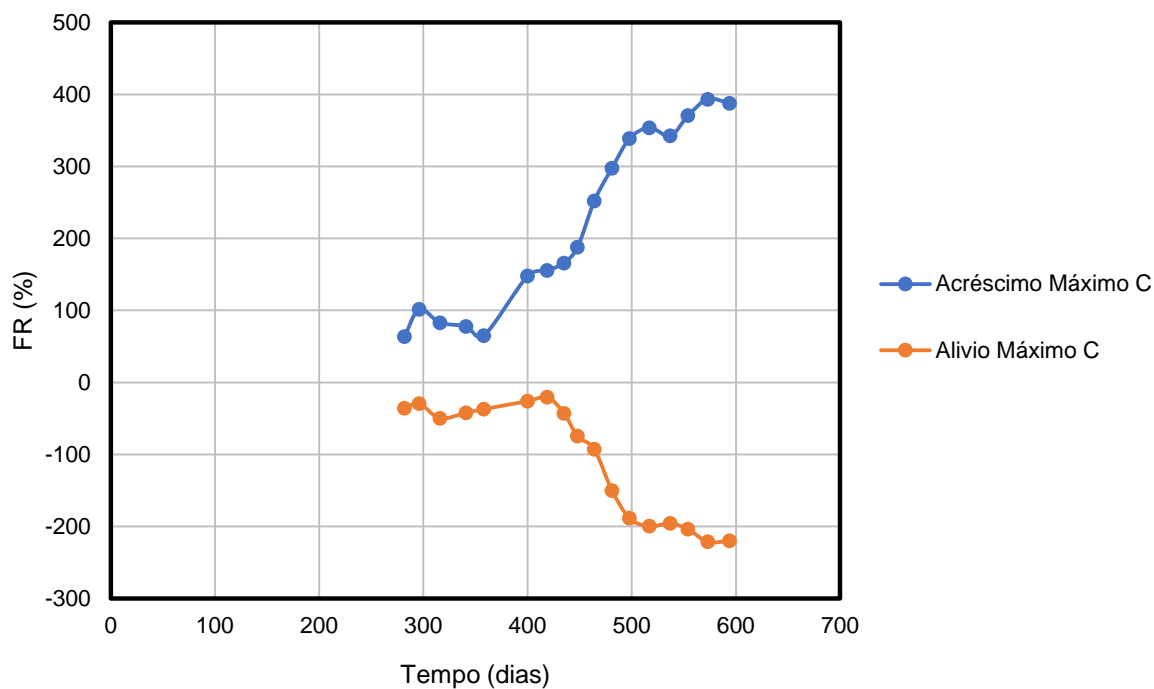


Figura 6.57. Análise do FR (Savaris, 2008) - modelo monitoramento aplicado nos pilares centrais

6.7 MODELO INDUZINDO RECALQUE INDIVIDUALMENTE

Com o intuito de comparar e aplicar a análise desenvolvida para o modelo hipotético da tese foi induzido no modelo numérico do edifício estudado, um recalque unitário em cada pilar, individualmente. Em seguida, o modelo foi processado, e então, calculado o parâmetro de distribuição de carga F_k . A sequência repetiu-se para todos os pilares do modelo. Posteriormente, foram separados em setores de nível de carregamento e, conforme a análise realizada, foi possível identificar a influência de cada pilar no processo de transferência de carga.

Para o setor periférico os resultados podem ser observados na Figura 6.58; para o setor intermediário temos a Figura 6.59 e para o setor central, a Figura 6.60. Por meios destas figuras, onde o parâmetro foi analisado de forma global para todo o edifício, por meio do somatório, nota-se que o valor do parâmetro diminui à medida que o edifício vai sendo construído, ou seja, em relacionado com a rigidez gradativa, e que há uma influência da posição espacial dos pilares na variação do parâmetro.

6.8 APLICAÇÃO DO FATOR DE RIGIDEZ NO CASO DE ESTUDO

A partir do parâmetro desenvolvido na tese e dos resultados obtidos com as modelagens e cálculos, pode-se analisar e entender um pouco mais do significado deste parâmetro. Na fórmula original, ΔQ_j , corresponde à variação de carga no pilar j devido ao recalque induzido. Os resultados foram analisados nas diferentes situações, a seguir:

Quando induz o recalque do monitoramento de recalque ($F_{k_{\text{monit}}}$). Este parâmetro será utilizado como referência para a comparação com as demais análises realizadas:

- i. Quando induz um deslocamento unitário em cada um dos pilares (F_{k_0}). O deslocamento unitário dado foi de 1 cm, com uma distorção angular média igual a 1/500 (distorção angular limite adotada para projeto);
- ii. Será analisado para a situação em que o recalque foi calculado por meio dos resultados de cargas obtidos quando se considerou na modelagem a interação solo-estrutura por Aoki-Lopes (1975) e a interação entre todas as estacas da obra ($F_{k_{\text{ISE}}}$);
- iii. Com o recalque teórico e validado, calculado por Randolph (1977) (F_{k_R}).

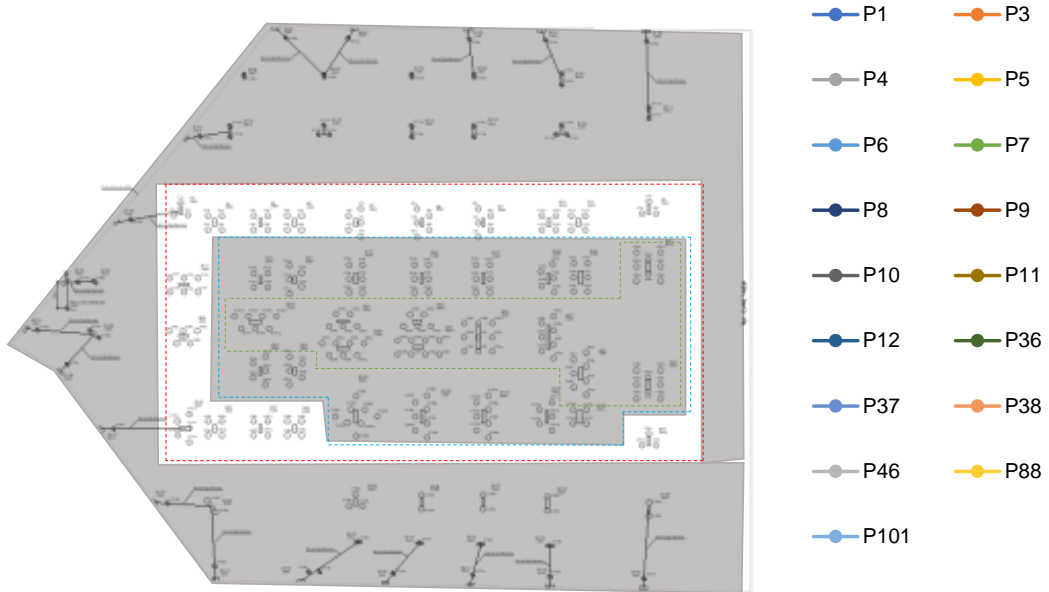
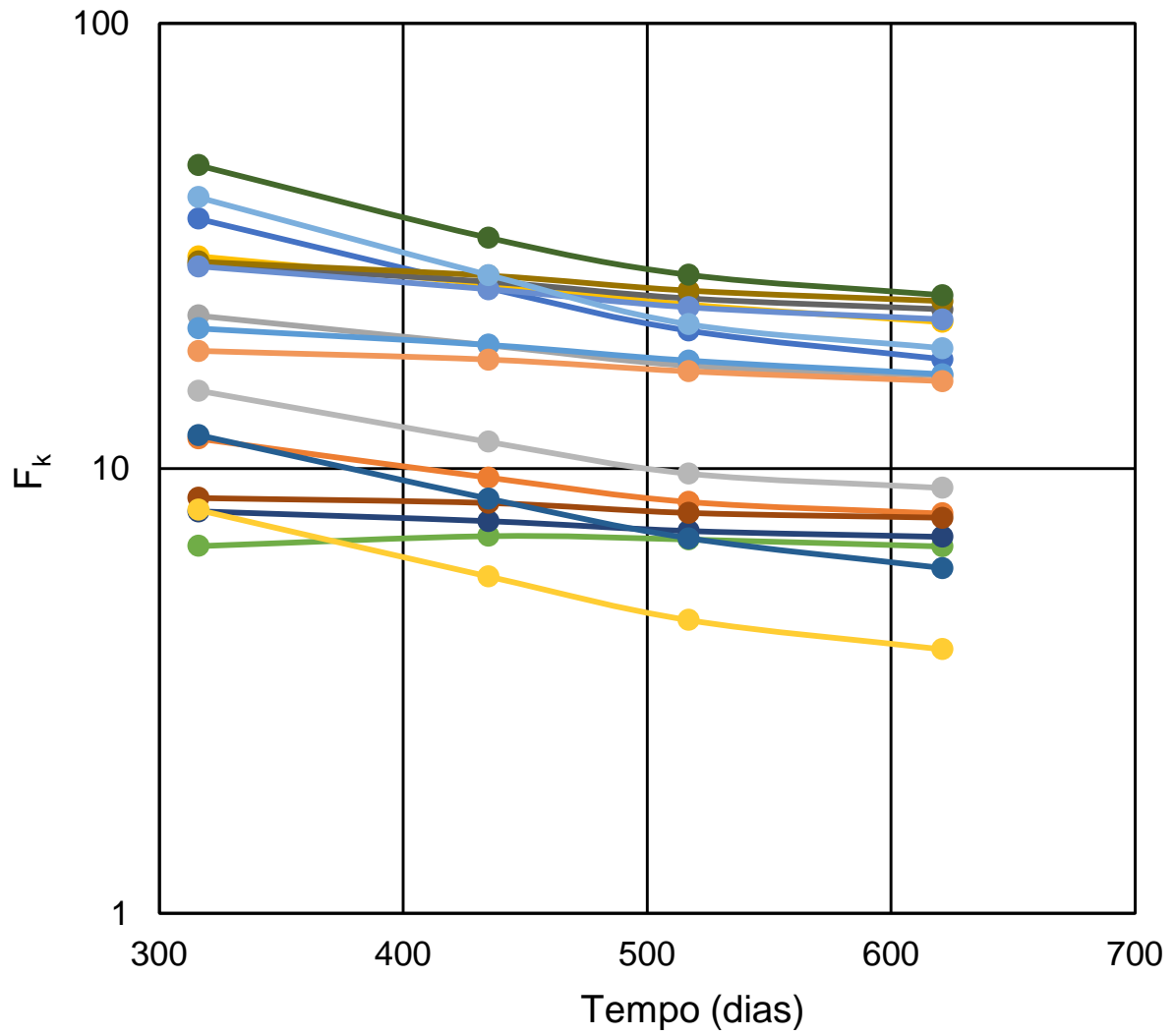


Figura 6.58. Curva F_k vs. tempo dos pilares periféricos

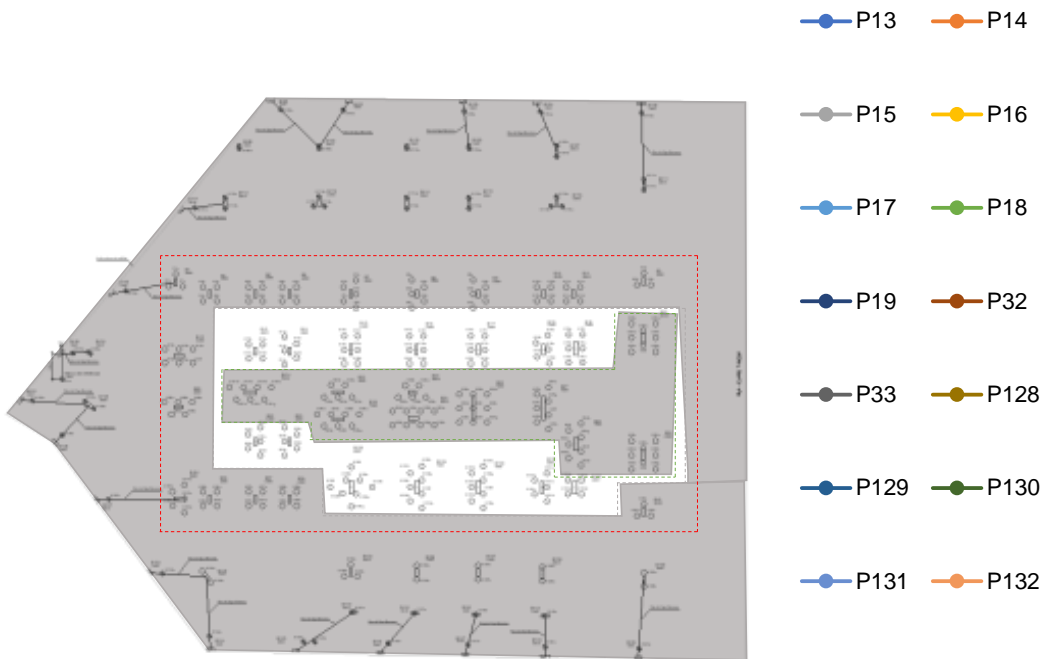
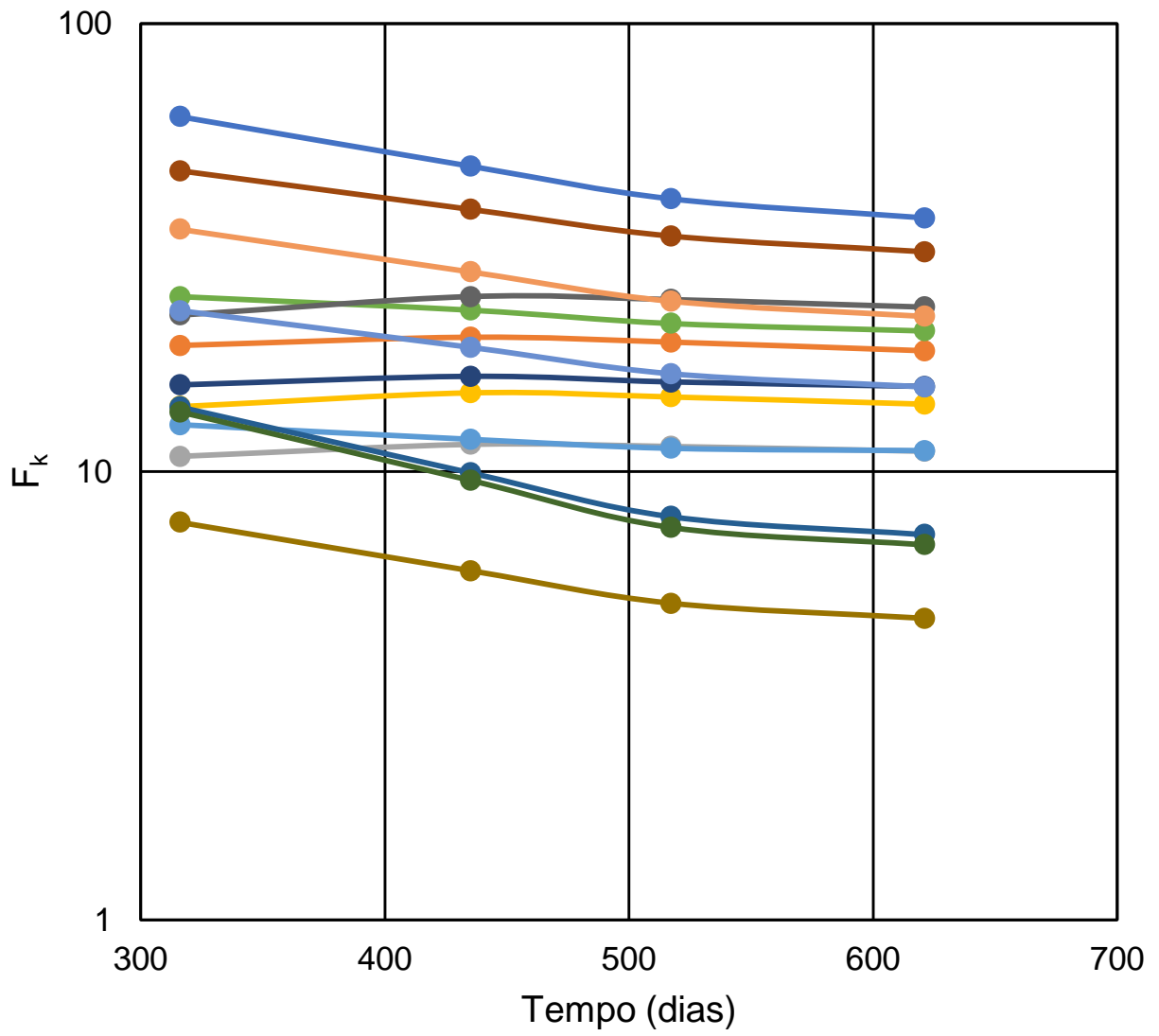


Figura 6.59. Curva F_k vs. tempo dos pilares intermediário

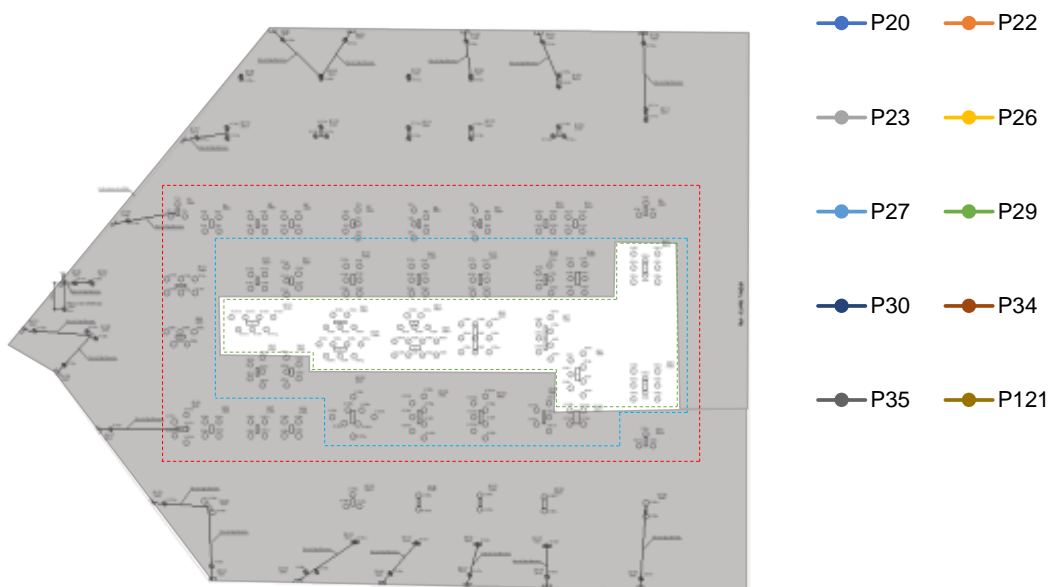
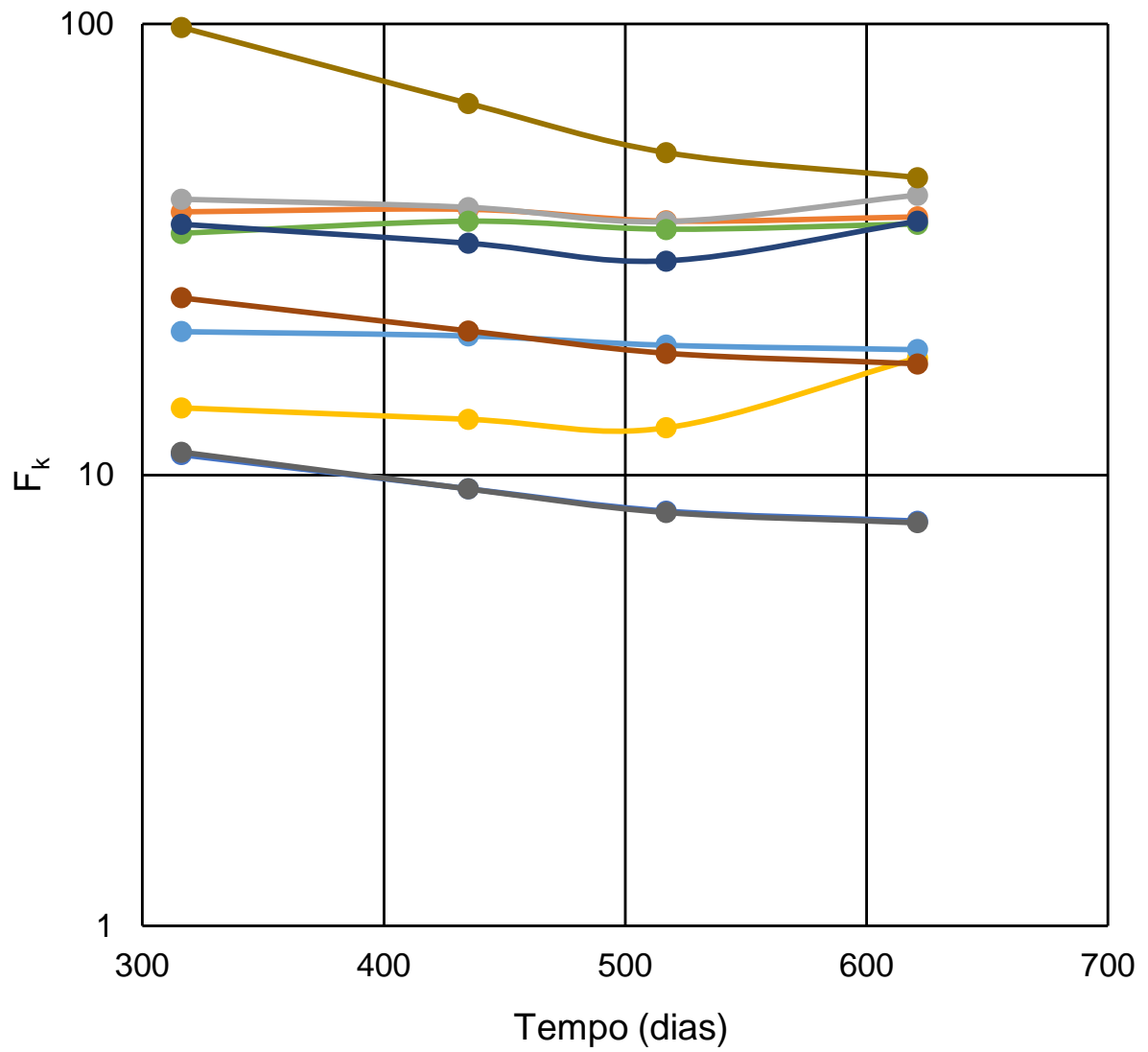


Figura 6.60. Curva F_k vs. tempo dos pilares centrais

Os resultados foram analisados observando tanto o valor absoluto quanto de forma relativiza. A análise usando o valore relativo tem por objetivo uma melhor visualização da dispersão e da interpretação dos resultados. A relativização ocorreu de acordo com o maior e o menor valor obtido em cada análise.

6.8.1 Monitoramento de recalque vs. recalque unitário induzido

A primeira análise envolveu os resultados com os dados do monitoramento de recalque, deslocamento prescrito, e com os dados do recalque unitário induzido, apresentados nas figuras Figura 6.61 à Figura 6.64.

Com o recalque monitorado induzido foi aferida a verificação da influência da edificação como um modelo único, associando todas as rigidezes (estrutura, infraestrutura e maciço). O deslocamento unitário induzido mostra a influência de uma rigidez pontual e localizada.

Importante observar que o fator F_k é independente do número de pavimentos, para o caso do deslocamento unitário.

Em termos de valor absoluto, observa-se que os valores do fator de rigidez de interação, a partir do monitoramento de recalque, são mais estáveis, com pequena dispersão, independentemente, do nível de carregamento. No entanto, há um aumento do fator F_k com o aumento do número de pavimentos.

Observou-se que na ocorrência de um deslocamento prescrito e unitário em todos os pilares, o fator de rigidez é relativamente constante, para todas as etapas analisadas. Porém, é possível que se apresente um fator de rigidez mais sensível às variações bruscas de deslocamento unitário, enquanto o fator de rigidez para o recalque monitorado induzido apresentou uma variação menor, com flutuação dentro de uma faixa com espectro menor, de 5 a 40, mantendo a faixa essa para todas as etapas analisadas.

Ao final da construção, o fator de rigidez de interação F_k com os dados do monitoramento prescritos, chega a valores limites máximos da ordem de grandeza (em média) próximos ao valor para deslocamentos unitários. Portanto, para efeito da estimativa da variação máxima de recalque entre os pilares no final da construção, o modelo unitário pode representar o comportamento da estrutura.

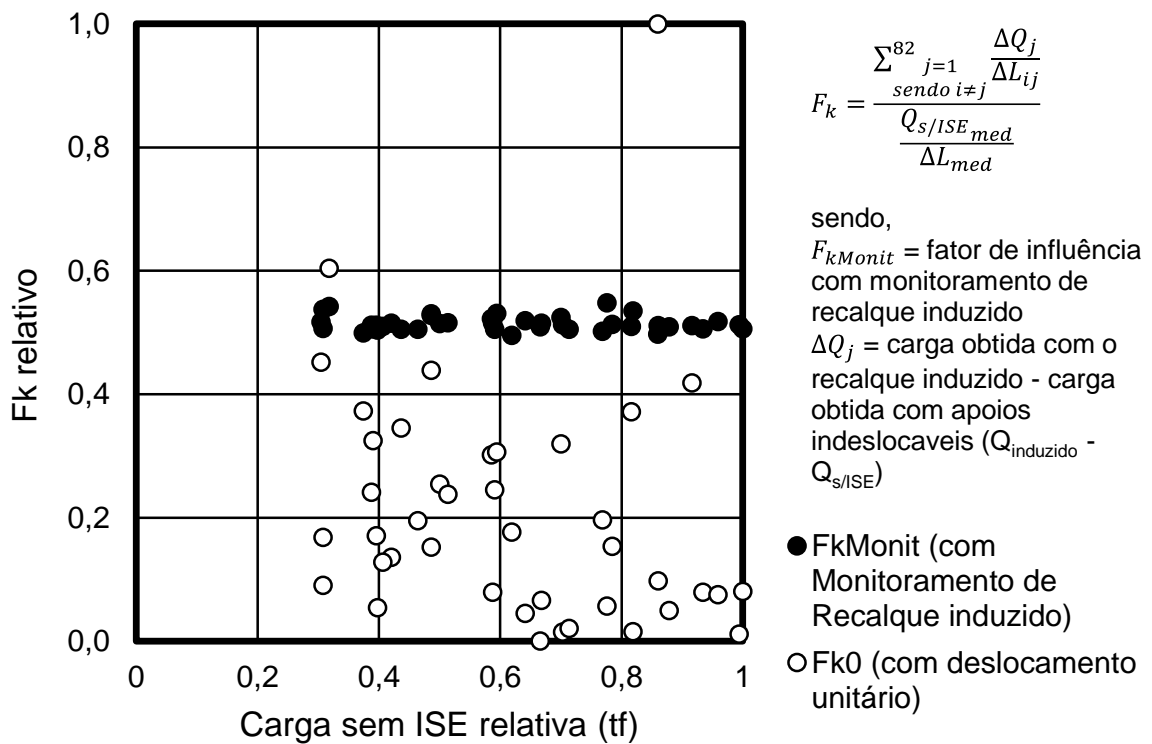
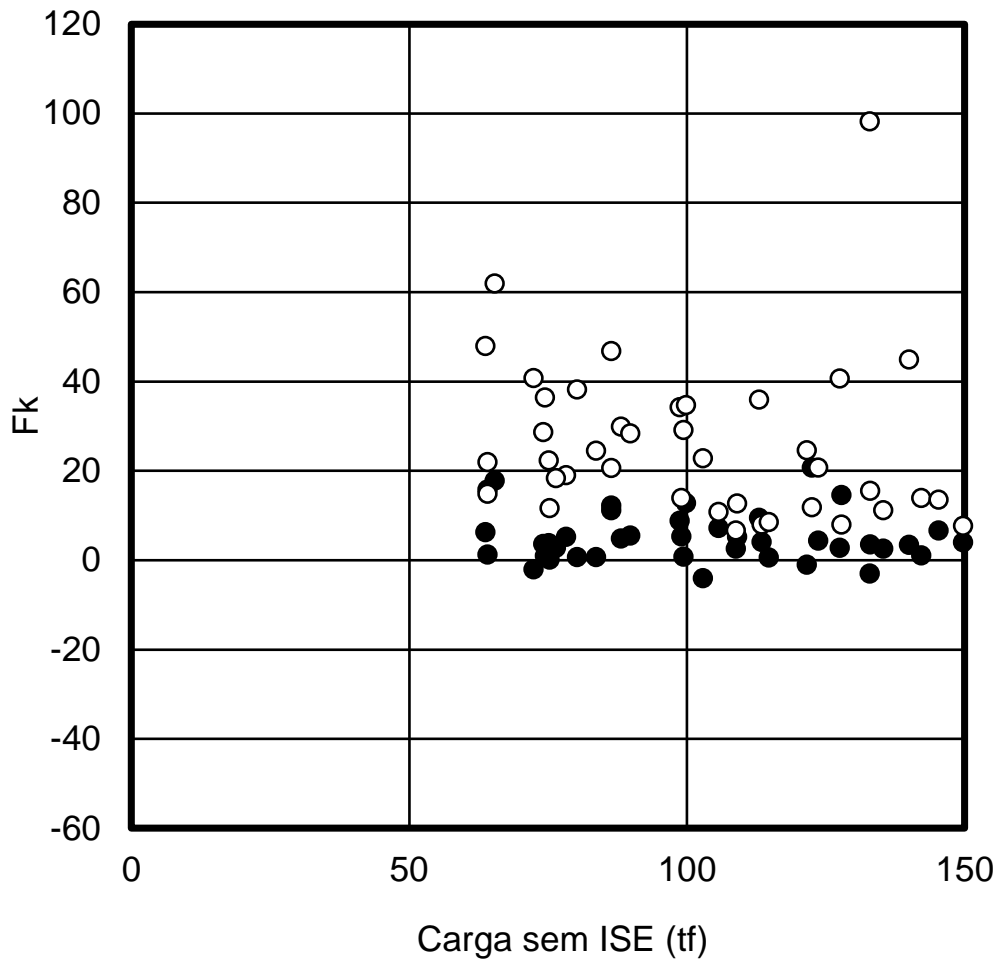


Figura 6.61. Comparação do $F_{k\text{Monitoramento}}$ x F_{k0} (deslocamento unitário) - 5º pavimento

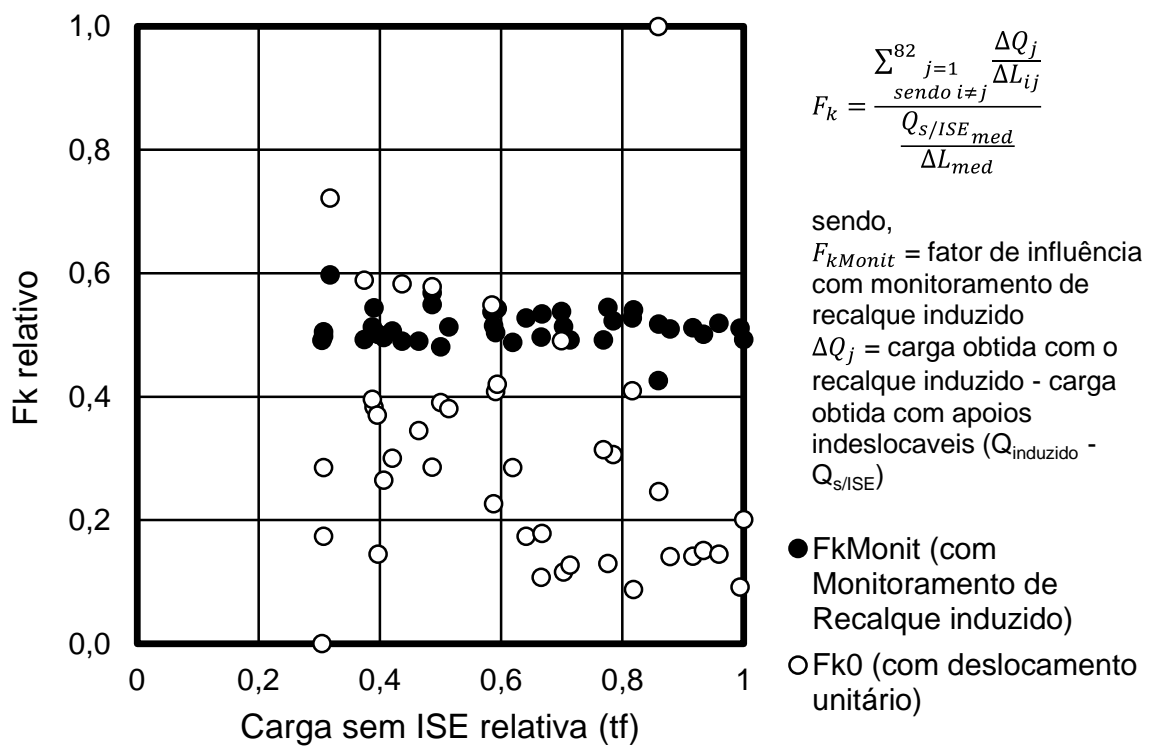
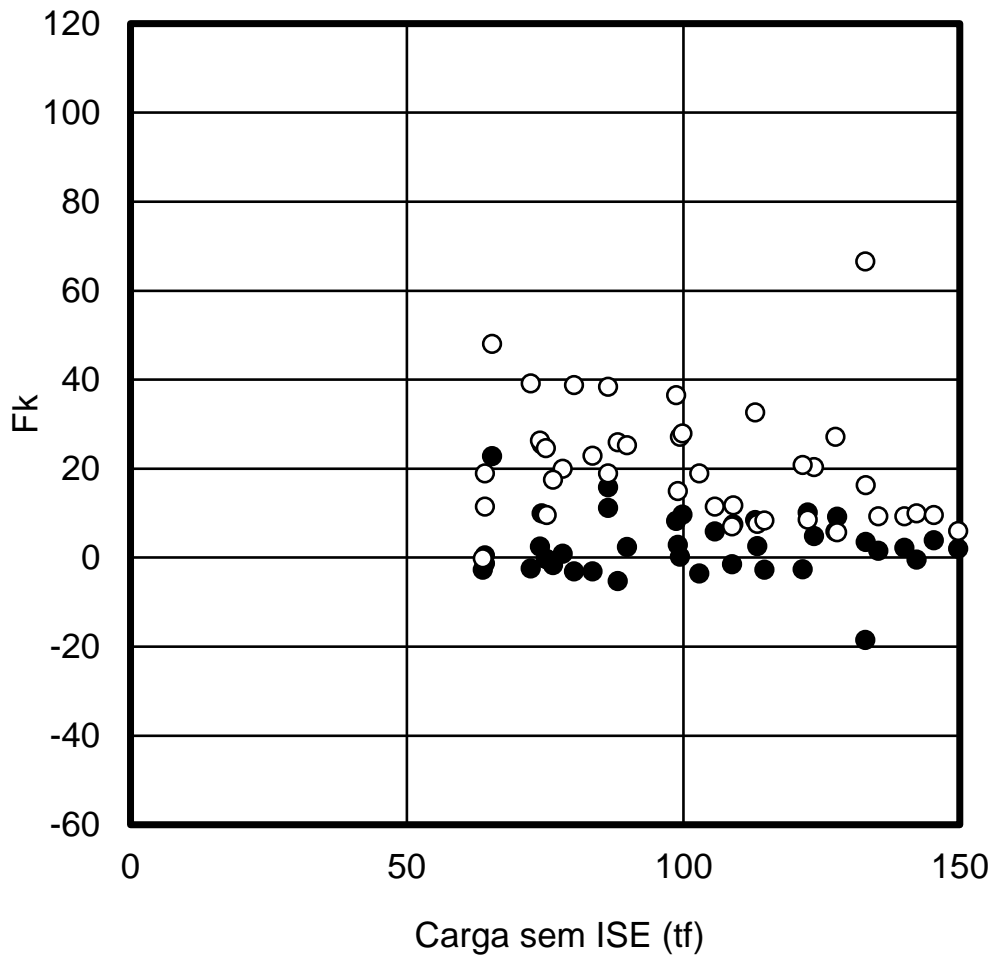


Figura 6.62. Comparação do F_k Monitoramento x F_{k0} (deslocamento unitário) - 10º pavimento

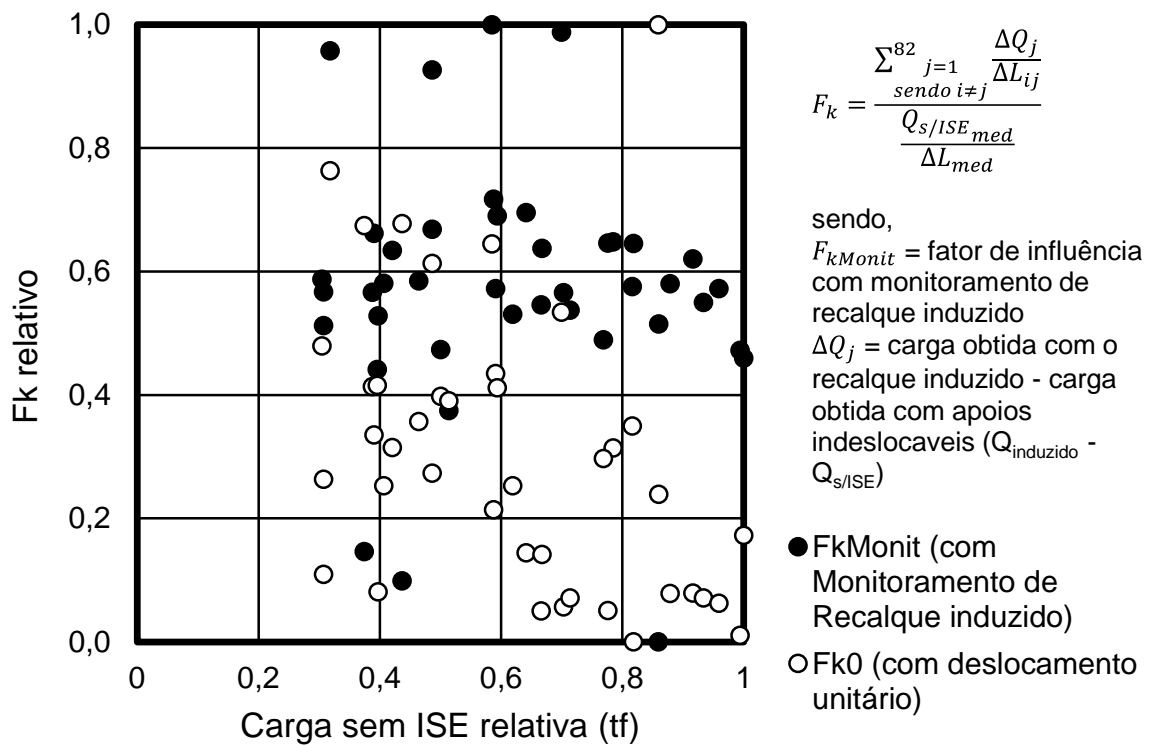
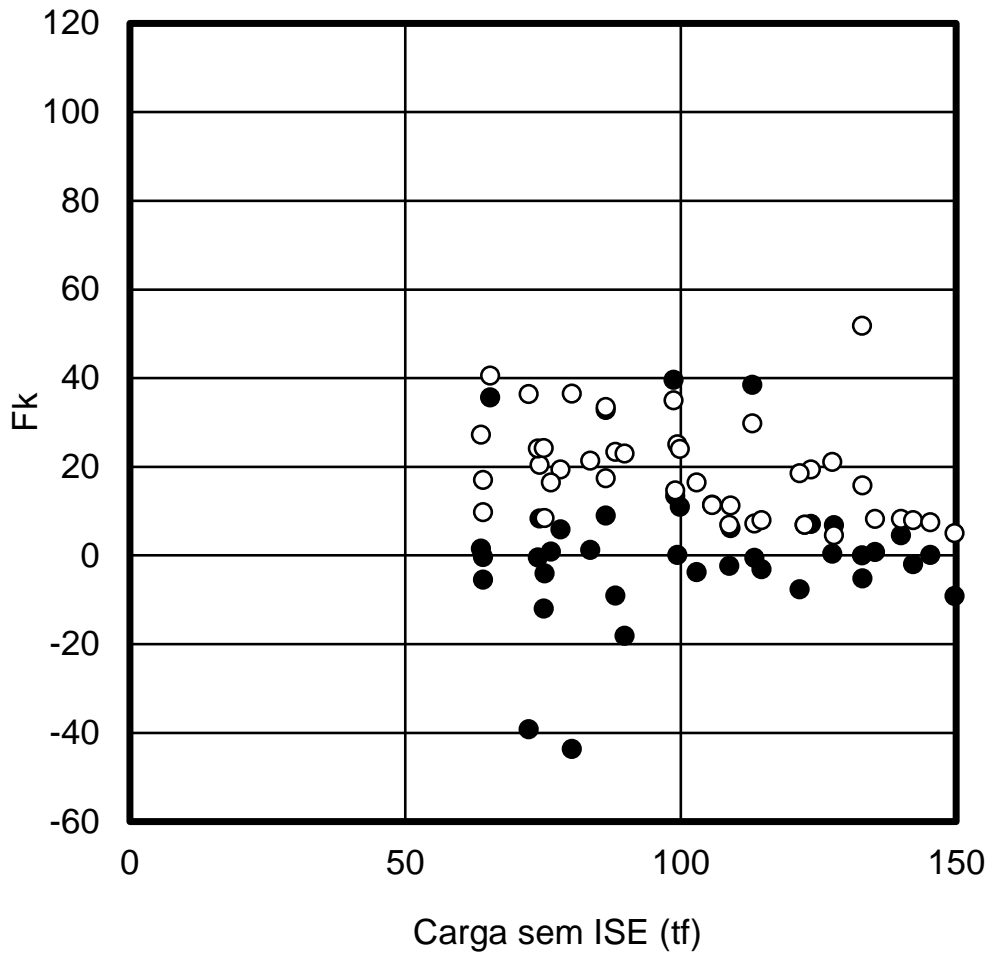


Figura 6.63. Comparação do F_k Monitoramento x F_{k0} (deslocamento unitário) - 15º pavimento

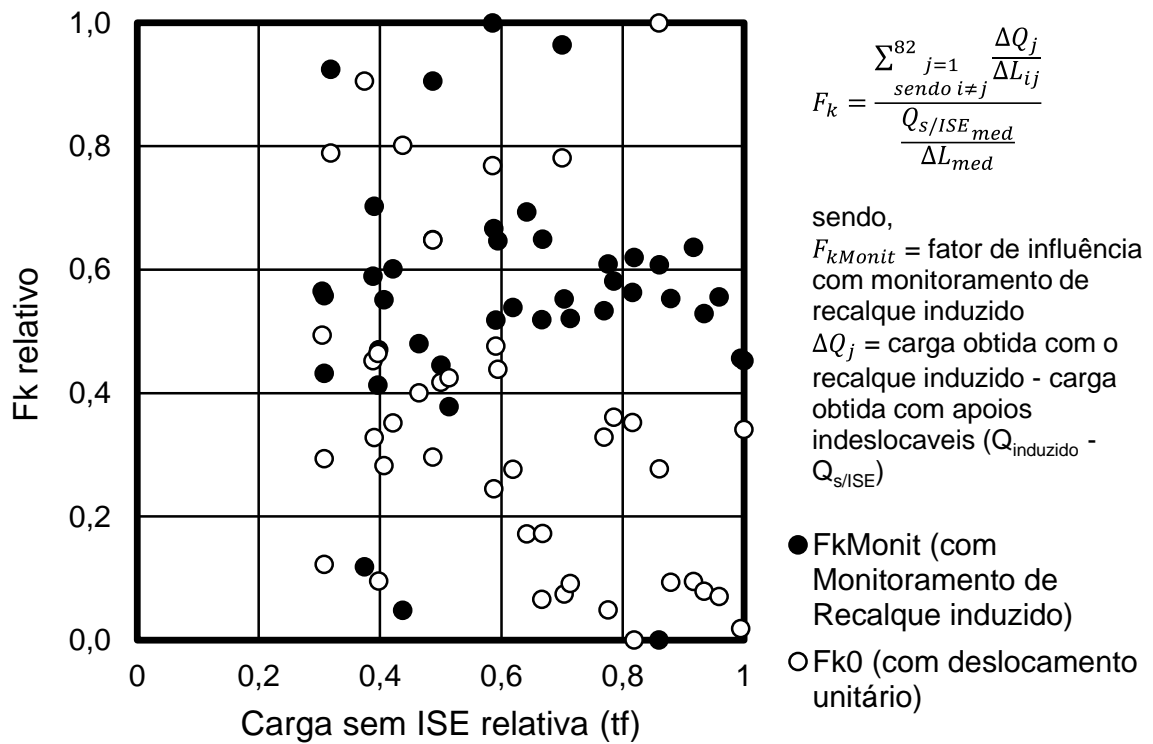
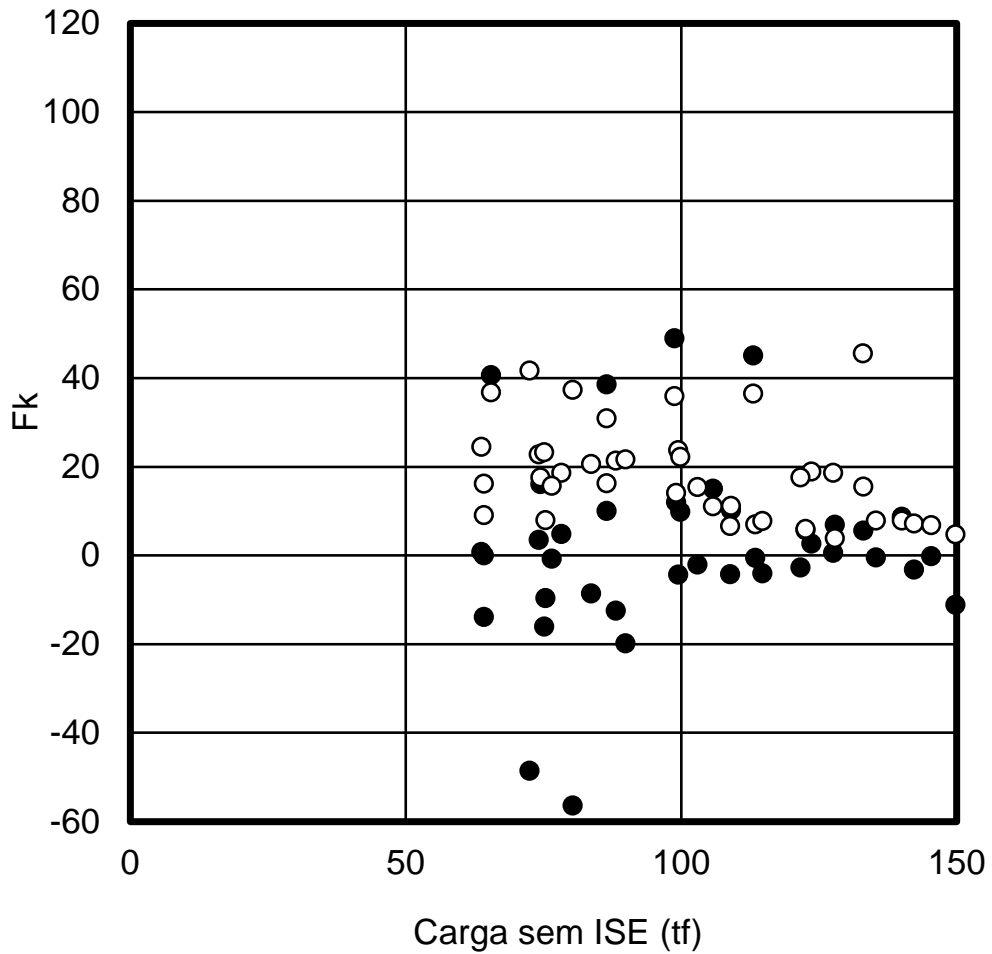


Figura 6.64. Comparação do F_k Monitoramento x F_{k0} (deslocamento unitário) - 20º pavimento

6.8.2 Recalque calculados pelo método de Aoki-Lopes (1975) vs. recalque unitário induzido

A segunda análise é feita com os dados do resultado do recalque, determinado pelo método de Aoki-Lopes (1975), induzido no modelo, apresentado nas figuras Figura 6.65 à Figura 6.68.

Nota-se uma similaridade do fator de rigidez com os dados do monitoramento de recalque induzido. Ambos flutuam dentro de uma ordem de grandeza similar, com baixa dispersão. Inclusive, a dispersão apresentada pelos dados do deslocamento unitário é próxima da verificada no deslocamento prescrito. Isso ocorre, principalmente, na fase final de construção do edifício.

A análise mostra boa representatividade na previsão do F_k pelo modelo de Aoki-Lopes (1975), por meio do programa computacional. Isso indica, portanto, que o método permite uma boa estimativa da previsão de carga em um projeto por meio do F_k proposto no presente trabalho.

6.8.3 Recalque calculados pelo método de Randolph (1977) vs. recalque unitário induzido

A terceira análise contém uma comparação com os resultados obtidos quando o recalque estimado por Randolph (1977) é induzido no modelo, apresentados nas figuras Figura 6.69 à Figura 6.72.

Em termos de valores absolutos observa-se que o fator de rigidez de interação tende a zero à medida que ocorre a evolução da construção do edifício, ou seja, o edifício vai se tornando mais rígido.

Tal comportamento pode ser observado, de igual forma, no modelo de Aoki-Lopes (1975), o que nos permite concluir que a previsão feita por Randolph (1977) também apresenta uma boa estimativa da variação de carga durante a construção.

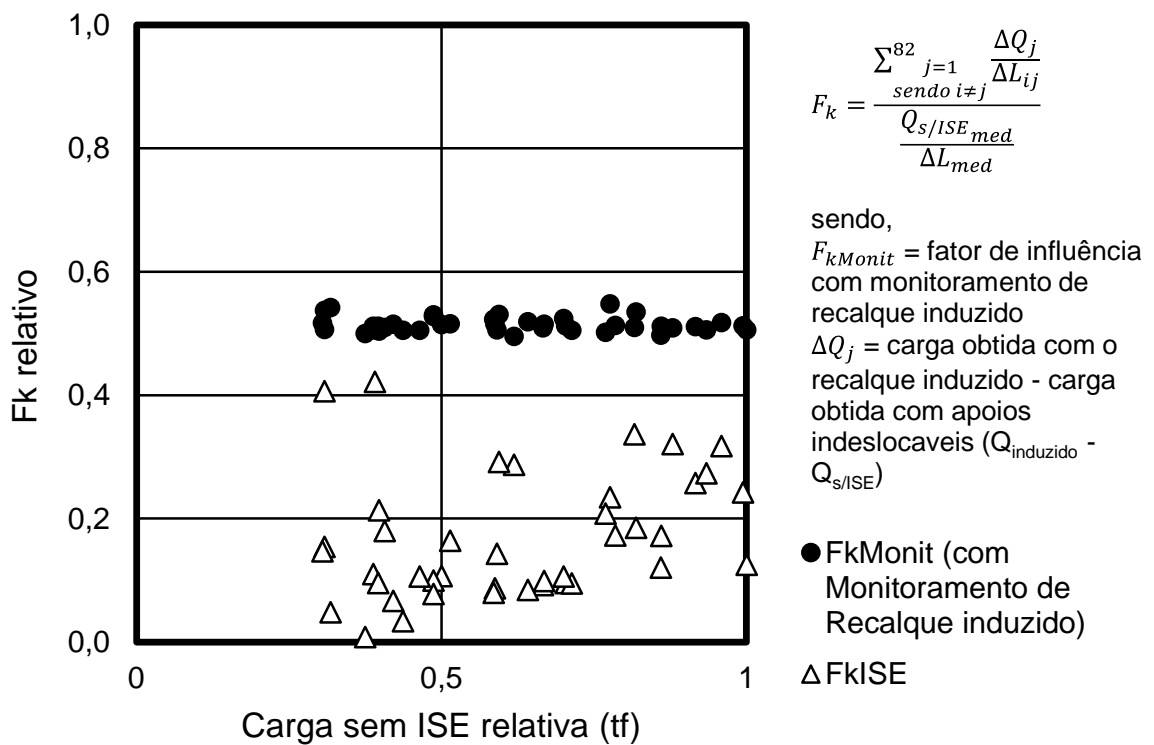
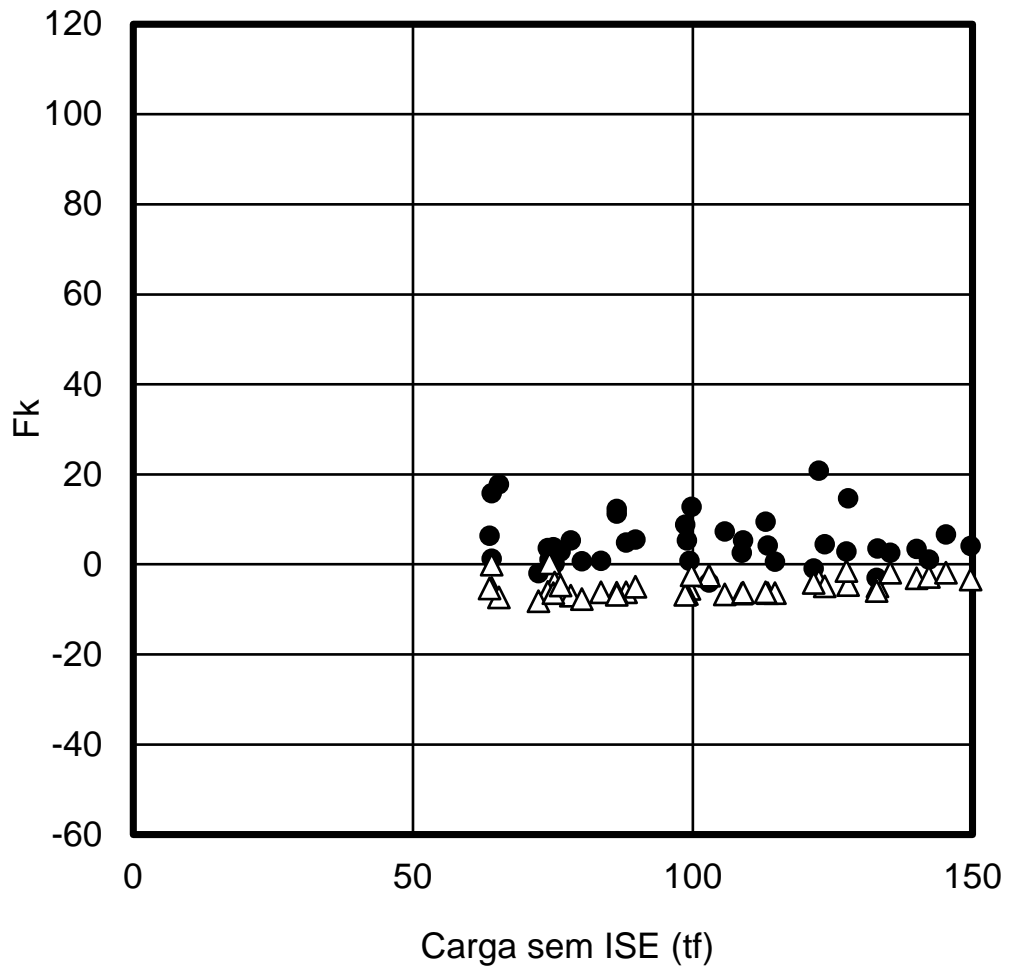


Figura 6.65. Comparação do F_k Monitoramento X F_k ISE - 5º pavimento

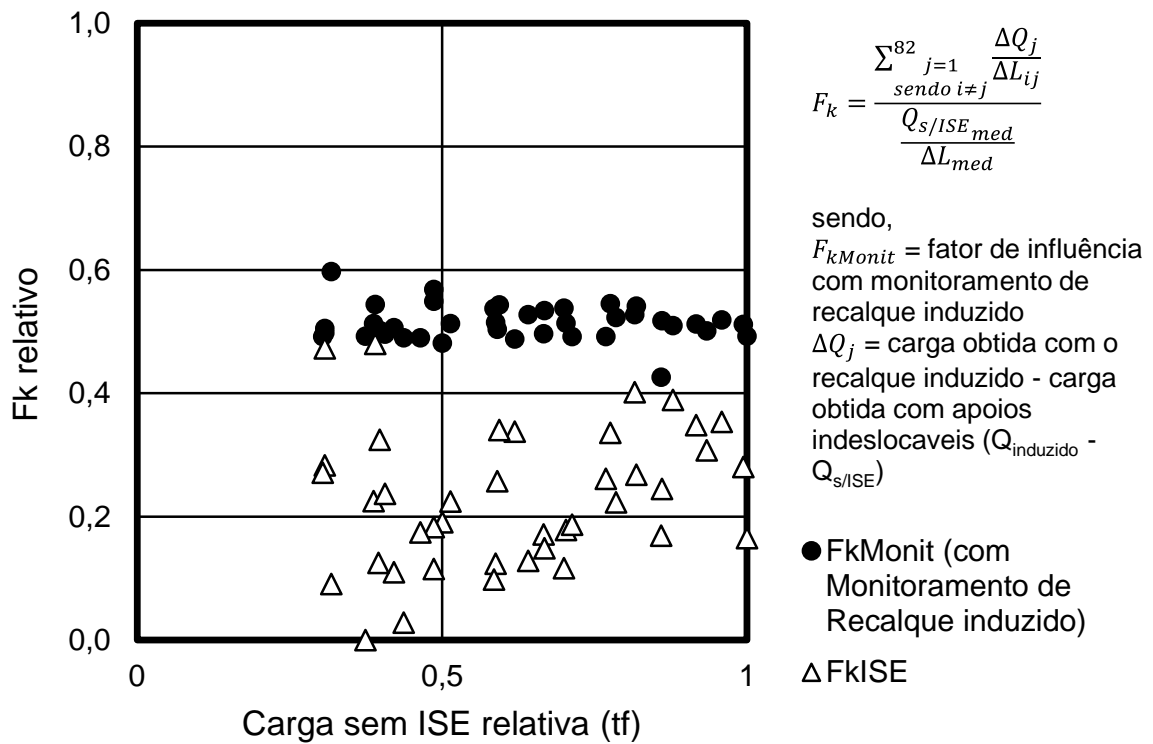
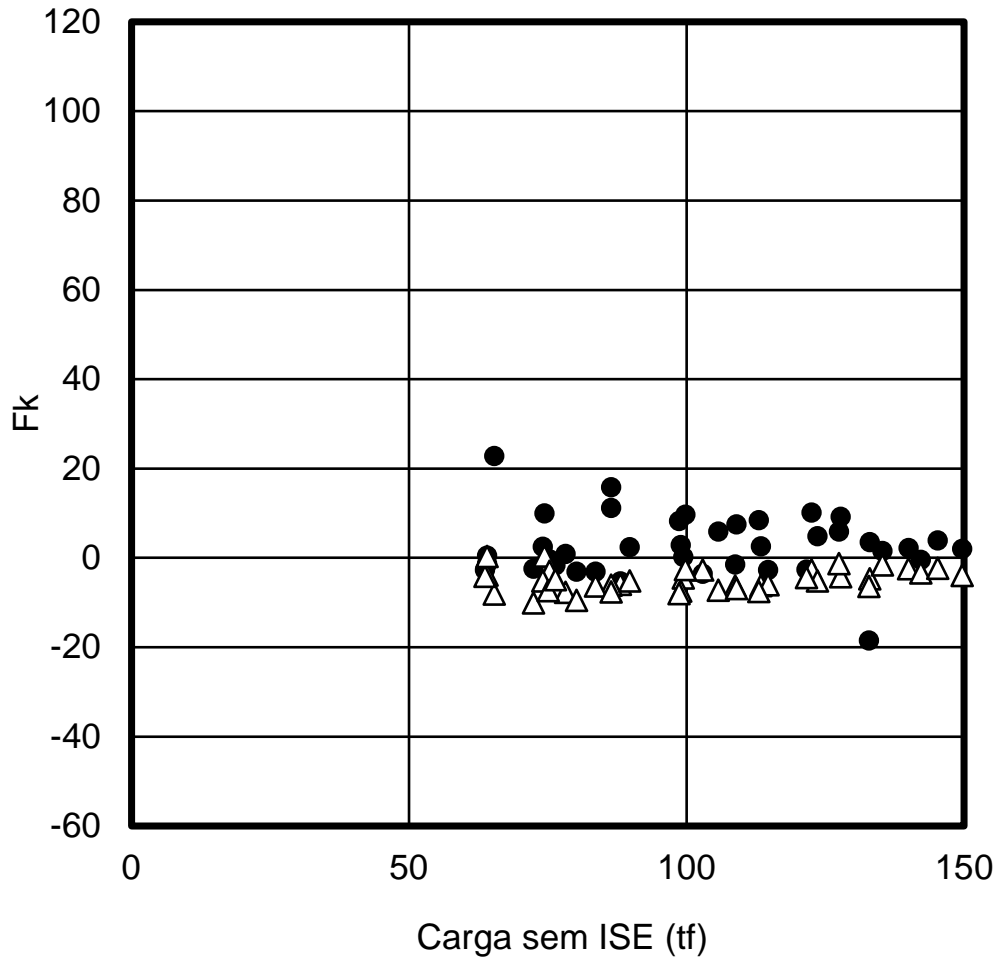


Figura 6.66. Comparação do F_k Monitoramento x F_k ISE - 10º pavimento

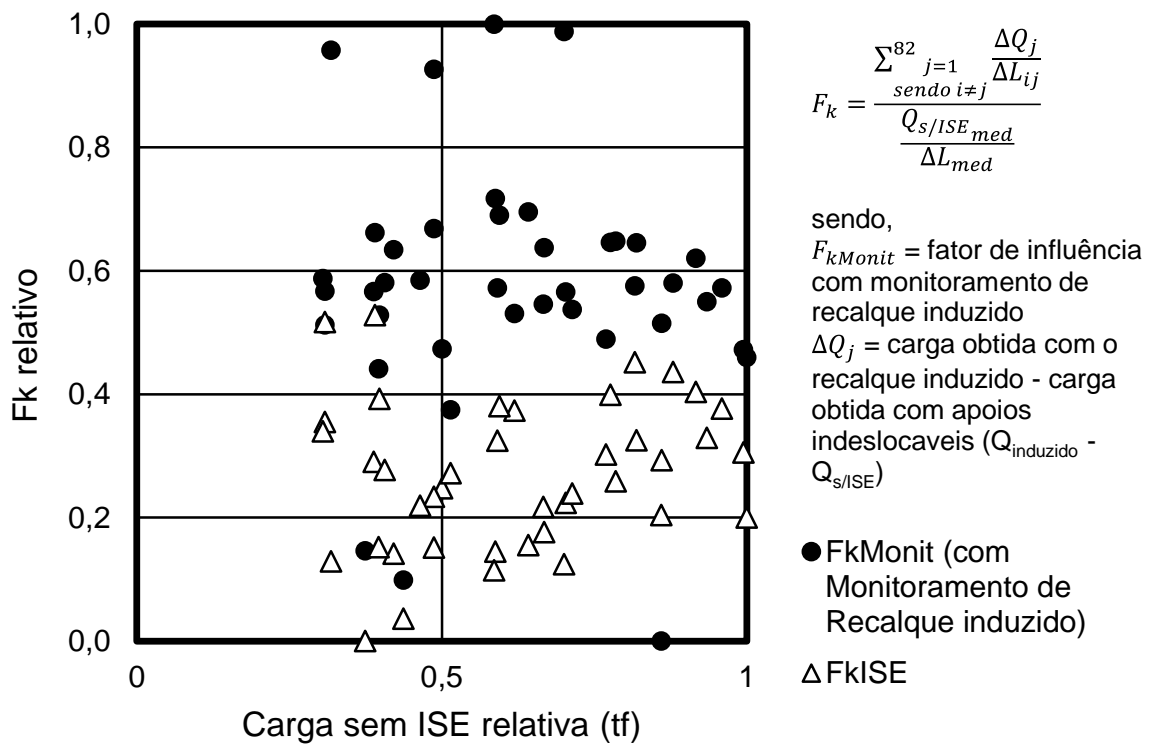
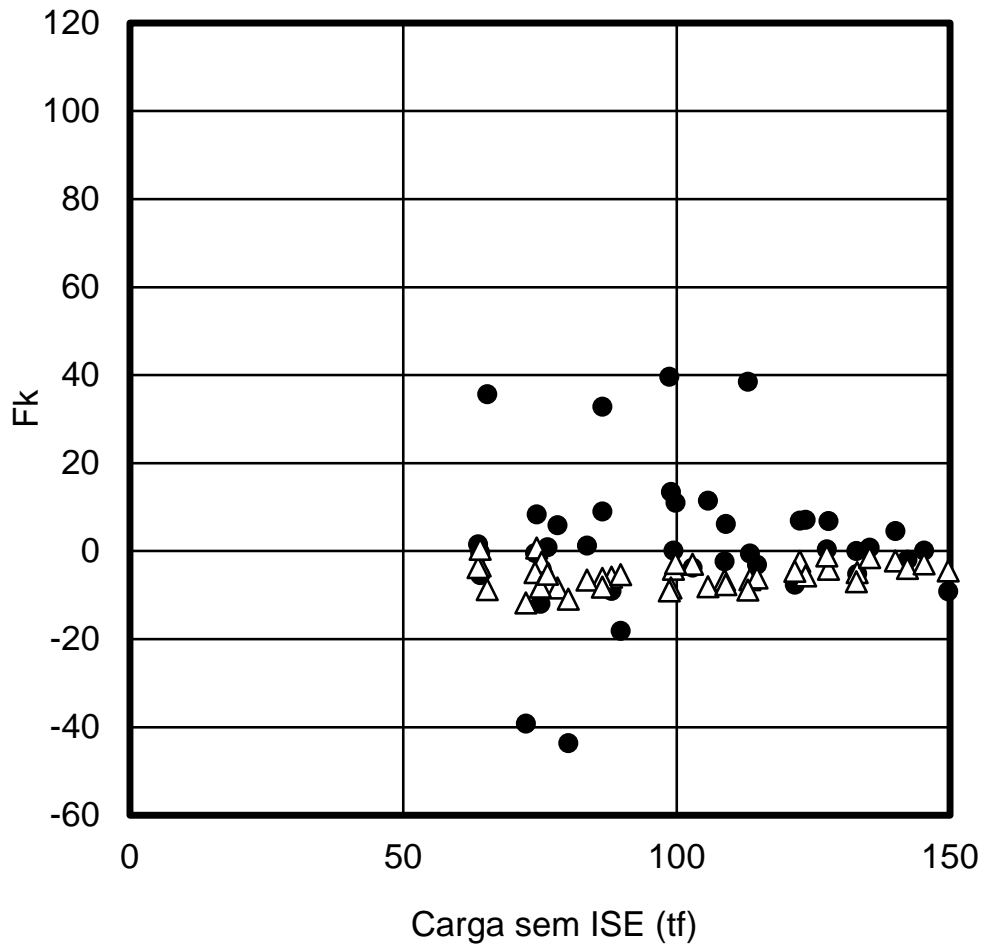


Figura 6.67. Comparação do $F_{k\text{ Monitoramento}}$ x $F_{k\text{ ISE}}$ - 15° pavimento

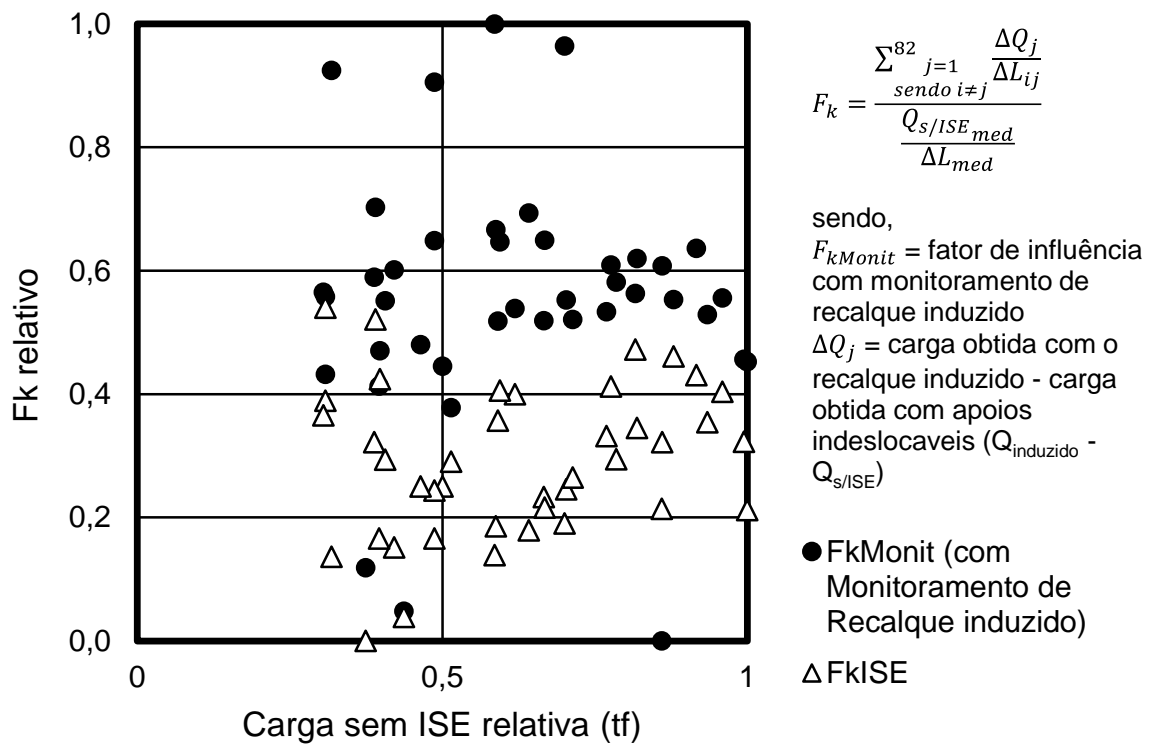
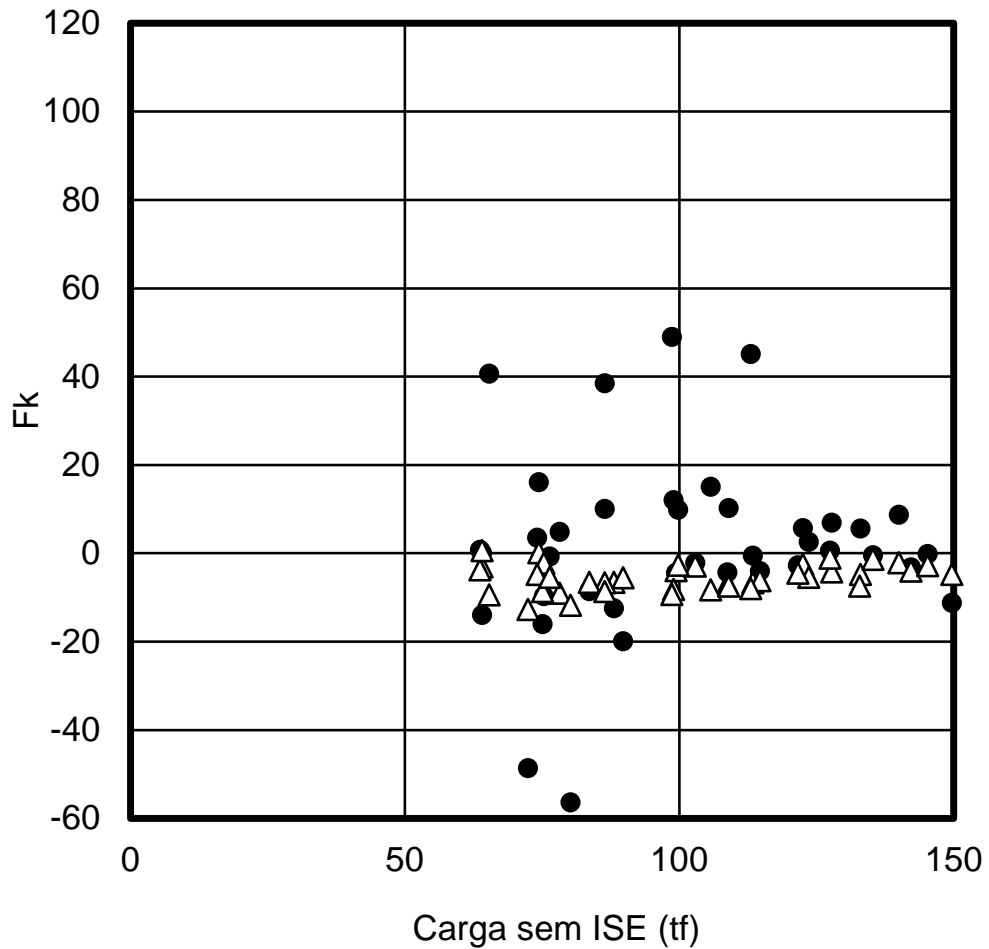


Figura 6.68. Comparação do F_k Monitoramento X F_k ISE - 20º pavimento

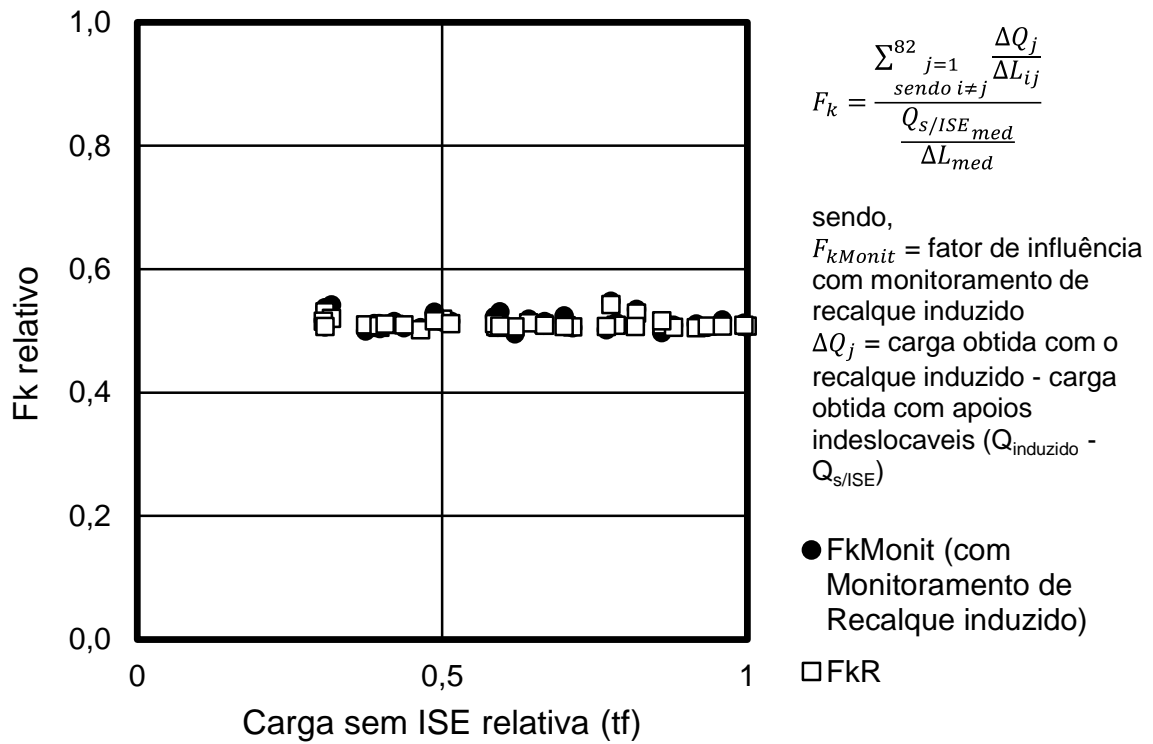
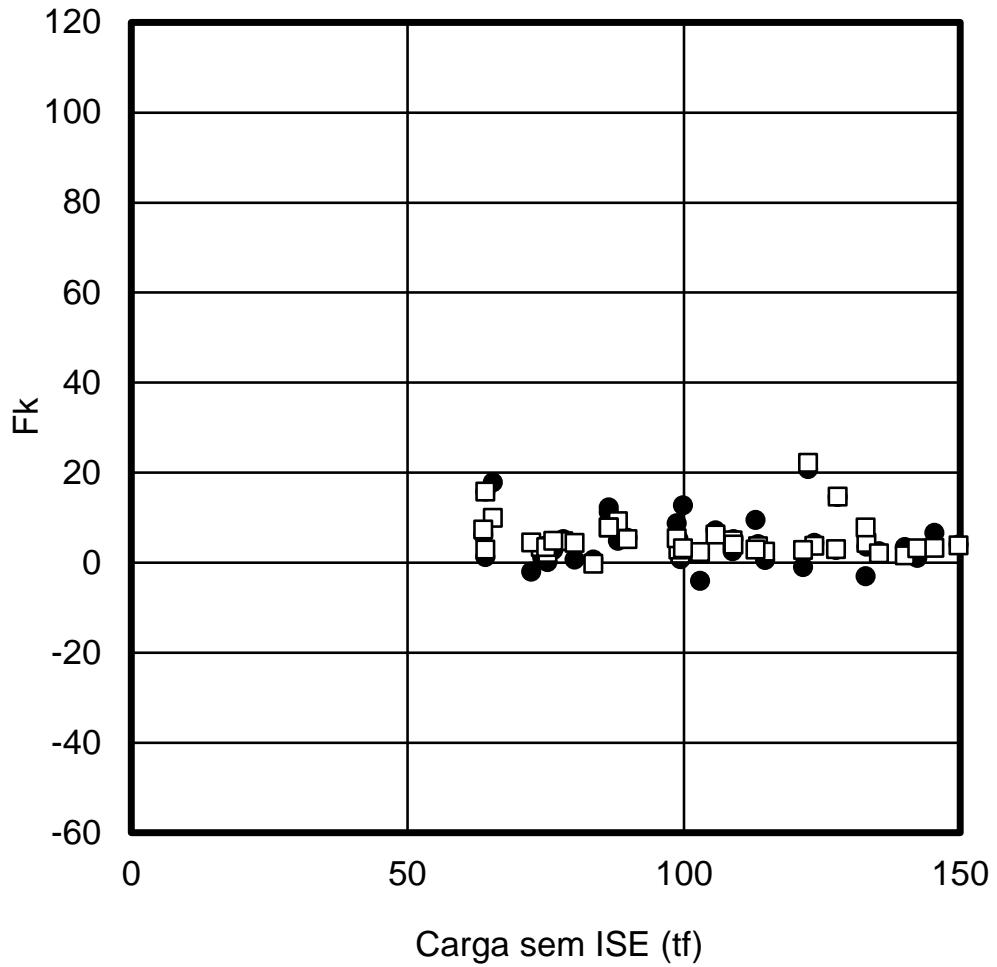


Figura 6.69. Comparação do F_k Monitoramento X F_{kR} - 5º pavimento

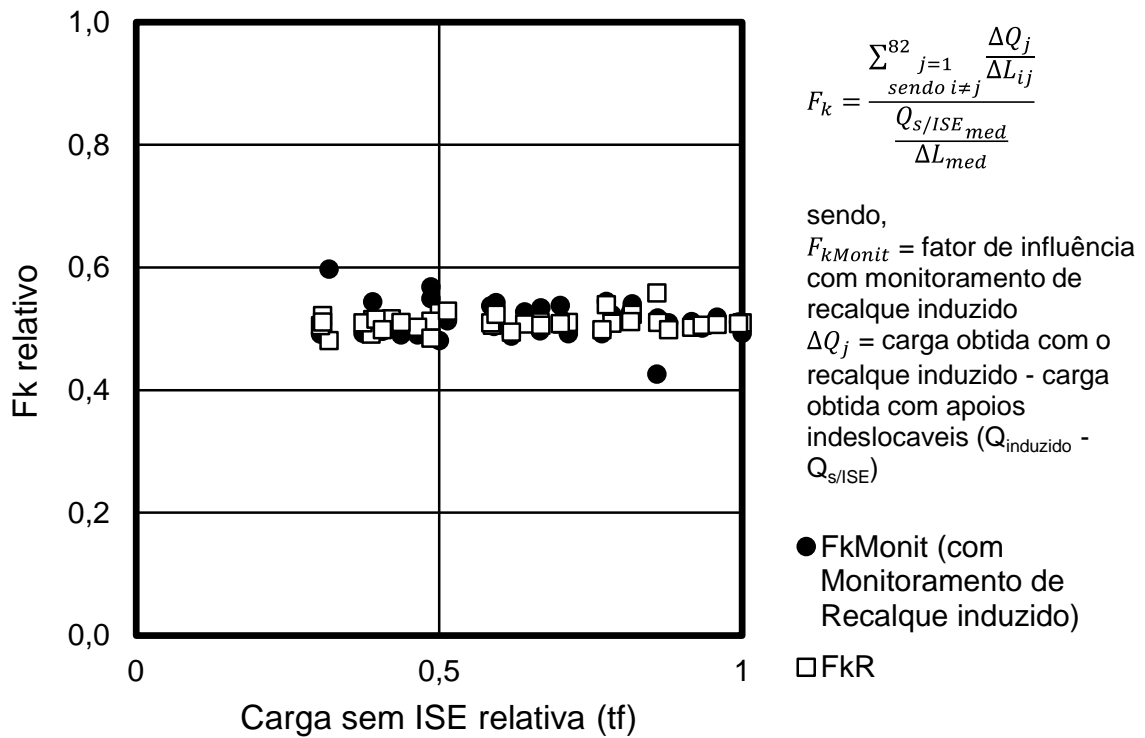
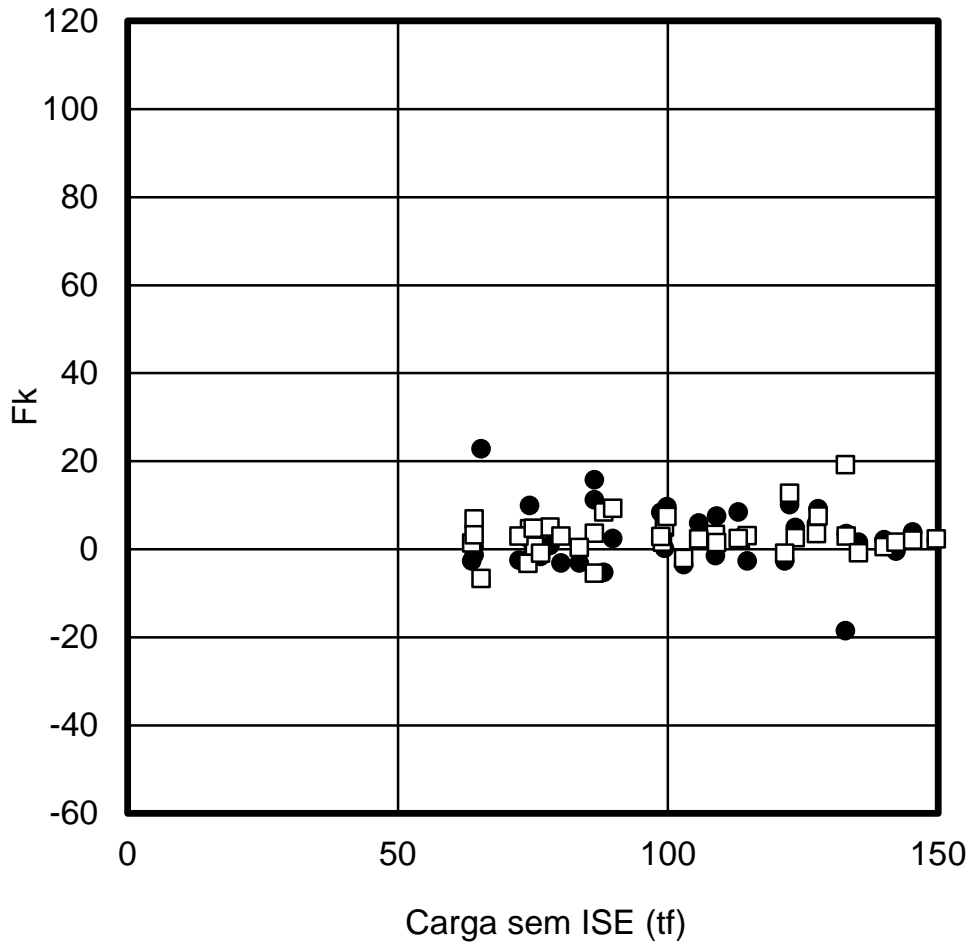


Figura 6.70. Comparação do F_k Monitoramento x $F_k R$ - 10º pavimento

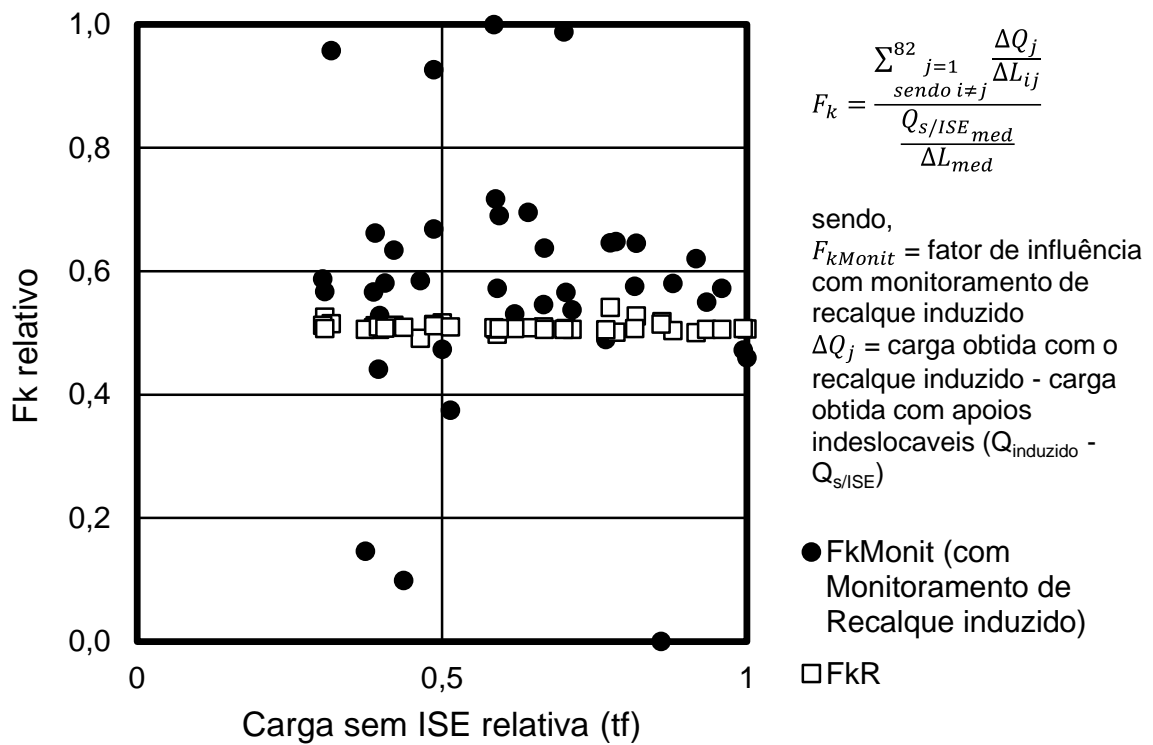
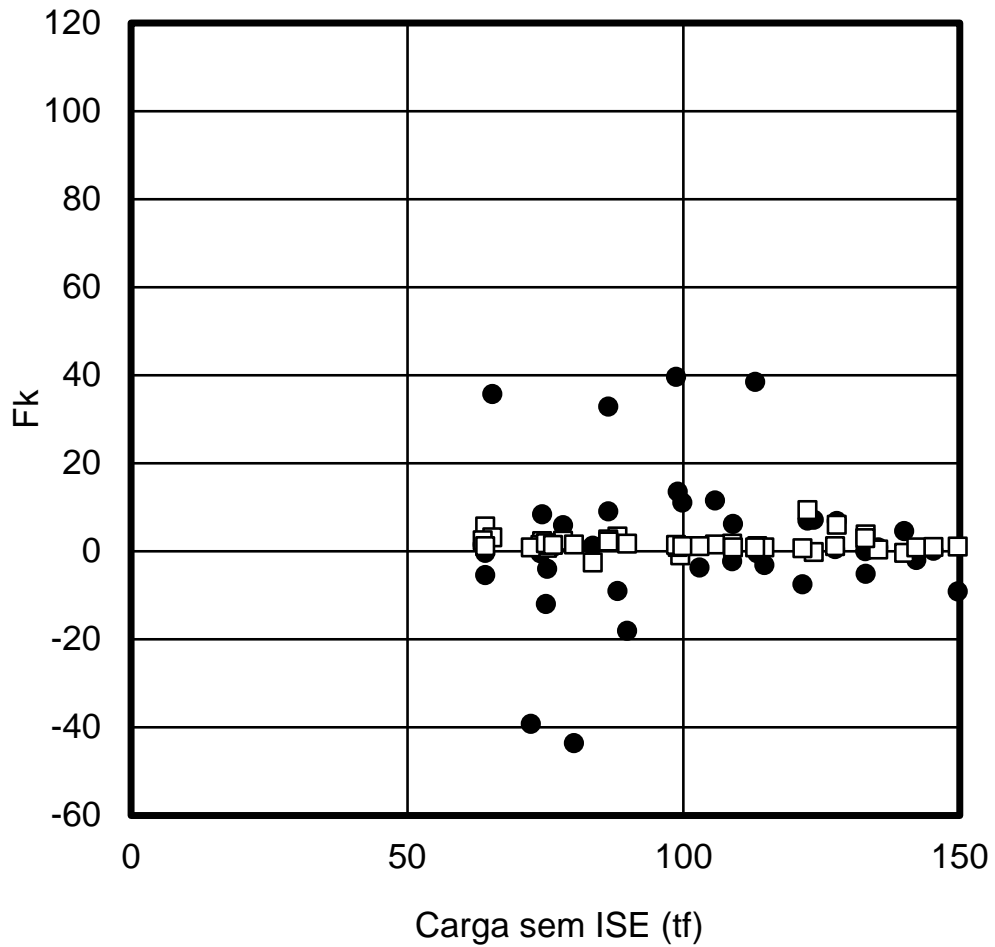


Figura 6.71. Comparação do $F_{k\text{ Monitoramento}}$ X F_{kR} - 15º pavimento

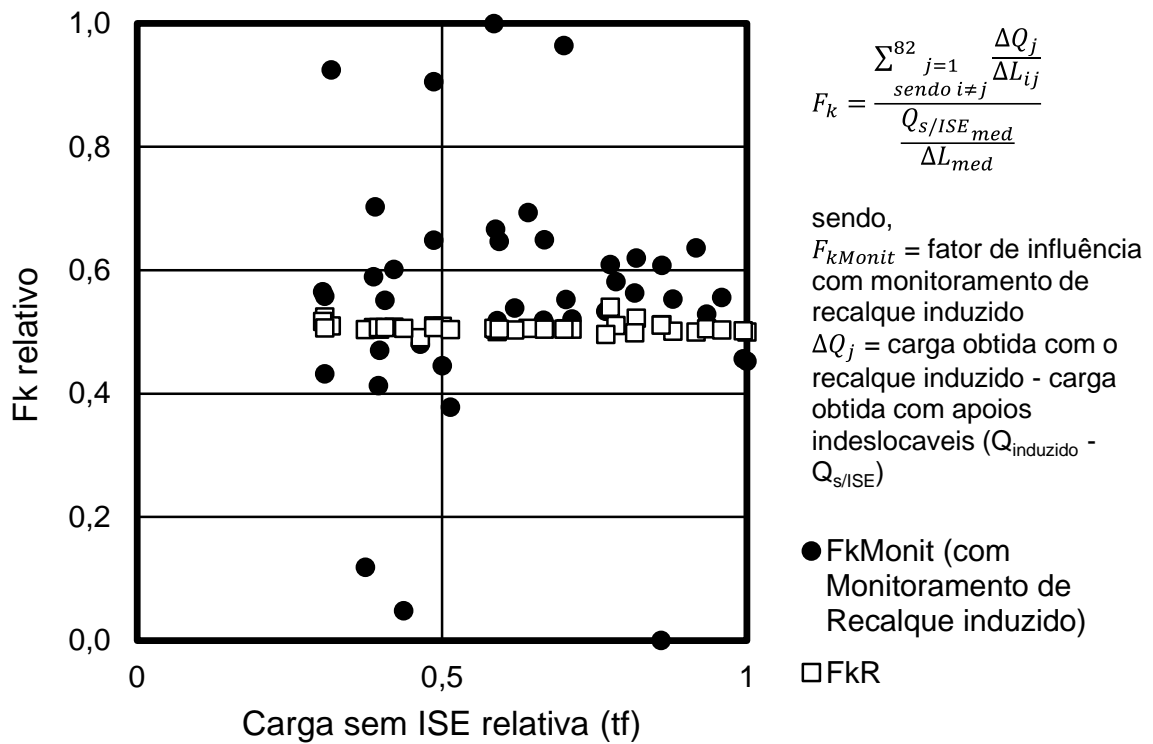
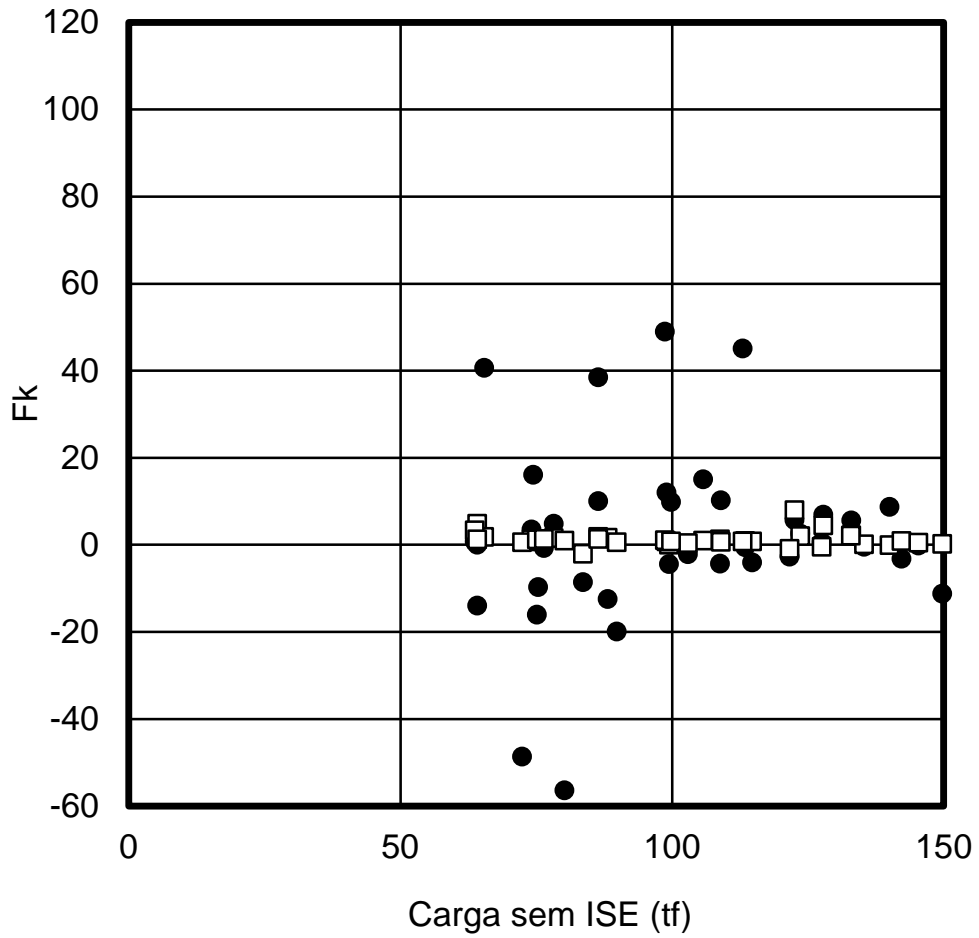


Figura 6.72. Comparação do $F_{k \text{ Monitoramento}}$ X F_{kR} - 20º pavimento

Capítulo 7 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Nessa pesquisa de doutorado foi realizado estudo do processo de Interação Solo Estrutura de um caso de obra, de onde se destacam a seguir as principais conclusões.

A metodologia aplicada na pesquisa, que envolveu basicamente a avaliação da transferência de carga para as fundações considerando os efeitos de recalques prescritos, tanto os medidos quanto os estimados por diferentes metodologias ou unitários isoladamente, permitiu o desenvolvimento de Fator de Distribuição de Carga, denominado FK, que pode ser usado para a previsão da ISE em fase de projeto.

A comparação entre os valores de Fk obtido pelo monitoramento e pelos métodos de estimativa de recalque de Alki-Lopes (1975) e Randolph (1977) indicam que o Fator de Transferência de Carga proposto reflete a capacidade de transferência de carga da estrutura para as fundações admitindo os efeitos da ISE. Evidentemente, outros casos de estudo devem ser analisados para ratificação do potencial de uso do fator Fk.

A partir dos resultados obtidos em uma edificação idealizada, denominado modelo hipotético, mostram que à medida que o número de pavimentos vai aumentando, ou seja, a construção vai ficando mais rígida o fator de rigidez (Fk) também vai aumentando. Além disso, os valores obtidos para o modelo hipotético e para o modelo do caso de estudo se mostraram similares, indicando que o Fator Fk pode ser usado para comparação da ISE entre diferentes edificações.

Outras conclusões mais específicas também podem ser destacadas a partir da presente pesquisa, que são colocadas a seguir.

A revisão bibliográfica sobre o tema particular de estudos da ISE indica que o meio técnico científico teve poucos avanços nas últimas décadas. Tal fato se justifica sobretudo à pouca quantidade de trabalhos que interpretam e analisam monitoramentos de recalques nesse sentido. Além disso, os poucos instrumentos de avaliação da ISE são baseados em resultados de monitoramento e, portanto, pouco eficientes para previsão em fase de projeto.

A respeito do monitoramento de recalque, ainda existem limitações de cunho técnico e econômico que influenciam a implantação de medidas de recalques de forma sistemática na construção civil. Nesse sentido, o instrumento de medição, que foi

aperfeiçoado neste trabalho, mostrou precisão e acurácia, compatíveis com as prescrições de norma, e, ainda, com menores interferências no processo construtivo da obra. Conclui-se que essa ferramenta poderá ser útil como instrumento de baixo custo para monitoramentos de recalques de forma contínua.

O caso de estudo analisado mostrou recalques com ordem de grandeza compatíveis com o esperado, podendo-se concluir que as fundações da edificação trabalharam satisfatoriamente.

A previsão dos recalques é influenciada pelo modelo estrutural adotado no que se refere às condições de apoio. Também, pela metodologia na estimativa de recalques. Isso gera implicações na estimativa da distribuição de cargas da edificação admitindo os recalques.

A interpretação das variações do fator F_k indicam que o procedimento de validação de parâmetros de entrada em método de previsão de recalques mostrou eficiência, permitindo melhor estimativa nas distribuições de cargas.

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se inicialmente a aplicação desta metodologia para obtenção e interpretação do fator F_k em outros casos de obra e em outros casos hipotéticos. Também, medir diretamente a redistribuição de carga por meio de instrumentação de obra, validando valores de F_k previstos em projeto. Por fim, usando os dados da presente pesquisa, relacionar as previsões de redistribuição de carga às consequências esperadas, usando análise comparativa para recalques prescritos e medidos, permitindo a possibilidade de diagnóstico preventivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006). Estacas - Prova de Carga Estática - Método de Ensaio. NBR 12131.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2007). Estacas - Ensaio de Carregamento Dinâmico. NBR 13208.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010). Projeto e Execução de Fundações. NBR 6122.
- Almeida, V. S. (2003). Análise da interação solo não homogêneo/estrutura via acoplamento MEC/MEF. São Carlos, 192p. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Alonso, U.R. (2011) Previsão e controle das fundações: Uma Introdução ao Controle da Qualidade em Fundações. Editora Edgard Blucher, 2ª Edição, 146 p., São Paulo, Brasil.
- Antoniuzzi, J.P. (2011). Interação Solo – Estrutura de Edifícios com Fundações Superficiais. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Santa Maria, Santa Maria.
- Aoki, N. (1989). Discussion to Session 14, Proceedings, 12th ICSMFE, Rio de Janeiro, v. 5, pp. 2963-2966.
- Aoki, N. (1987). Modelo simples de transferência de carga de estaca vertical sujeita a carga axial de compressão. III Ciclo de palestras sobre Engenharia de Fundações, ABMS/NR Nordeste, Recife.
- Aoki, N. (1997). Aspectos geotécnicos da interação estrutura – maciço de solos. In: XXVIII Jornadas Sul – Americanas de Engenharia Estrutural, Vol. 1. São Carlos.
- Aoki, N.; Cintra, J. C. (2004). Notas de aula disciplina SGS-404 Fundações, – EESC-USP Departamento de Geotecnia, EESC, USP, São Carlos.
- Aoki, N.; Lopes, F. R. (1975). Estimating stress and settlements due to deep foundation. In: Vth Pan American Conference On Soil Mechanics And Foundation Engineering, Buenos Aires, Tomo I, pag.377 - 386.
- ASTM - American Soc. for Testing and Materials (2008). Standard Practice for Rock Core Drilling and Sampling of Rock for Site Investigation. ASTM D 2113.
- ASTM - American Soc. for Testing and Materials (2012). Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Deep Foundations. ASTM D 4945.
- ASTM - American Soc. for Testing and Materials (2013). Standard Test Method for Low Strain Integrity Testing of Deep Foundations. ASTM D 5882.
- ASTM - American Soc. for Testing and Materials (2013). Standard Test Method for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load. ASTM D 1143.
- ASTM - American Soc. for Testing and Materials (2014). Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations by Ultrasonic Crosshole Testing. ASTM D 6760.

- Barros, N.B.F (2012) Previsão de Recalque e Análise de Confiabilidade de Fundações em Estaca Hélice Contínua. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Geotecnia. 252p., São Carlos, Brasil.
- Barros, R. A. (2005) Previsão e Controle de Recalques Durante a Construção de Edifícios. Dissertação de mestrado, Laboratório de Engenharia Civil – UENF, 118 p., Campos dos Goytacazes, Brasil.
- Barros, R. A. (2005). Avaliação do comportamento de fundações em estaca hélice através de medidas de recalques. Dissertação (Mestrado) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF, pag. 118.
- Bjerrum, L. (1963). Interaction between structure and soil. Proceedings European CSMFE, Wiesbaden, Vol. 2, pp. 135-137. Apud VELLOSO e LOPES (1997).
- Borges, A.C.L. (2009) Metodologia para avaliação do comportamento estrutural de edifícios altos em concreto armado com consideração da interação solo-estrutura. Doutorado. UFPE, Recife.
- Brown, P.T. (1975). The significance of structure}foundation interaction. Proceedings of the Australia. New Zealand Conference on Geomechanics, Brisbane, IEAust., 1975: 1.1 79 - 82.
- Brown, P.T. (1977). Strip footings. Lecture 7, Geotechnical Analysis and Computer Applications, Department of Civil Engineering, University of Sydney. 1977: 1.
- Cardozo, D. L. S. (2002) Análise dos Recalques de Alguns Edifícios da Orla Marítima de Santos. Mestrado, Poli/USP, São Paulo.
- Chamecki, S. (1954), Consideração da rigidez da estrutura no cálculo dos recalques da fundação. Anais I, COBRAMSEF, Vol. I, pp. 35-80, Porto Alegre.
- Chamecki, S. (1956). Structural rigidity in calculating settlements. J. Soil Mech and Found. Div , ASCE, Vol. 82(1), pag. 1-19.
- Coda, H. B. (2000). Interação estática solo-estrutura através do acoplamento entre o método dos elementos de contorno e o método dos elementos finitos. (CD-ROM). In: Simpósio interação solo-estrutura em edifícios, São Carlos. Artigos completos. São Carlos, EESC-Programa de Pós-graduação em Geotecnia e Engenharia de Estruturas, pag. 19
- Colares, G. M. (2006). Programa para análise da interação solo-estrutura no projeto de edifícios. 82 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil.
- Correa, C.P. (2012) Metodologia para controle de recalques em estruturas de concreto armado por meio de nivelamento geométrico de precisão. Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria , Rio Grande do Sul.
- Costa Nunes, A.J. (1956). Curso de Mecânica dos Solos e Fundações. Editora Globo.
- Crespo, V. A. S. (2004) Estudo da Sensibilidade de Edificações em Relação ao Solo. Mestrado, UENF, Campos dos Goytacazes.
- Danziger, B. R.; Carvalho, E.M.L.; Costa, R.V.; Danziger F. A. B.; (2000b). Análise da Interação Solo-Estrutura de uma edificação com Fundações Diretas em Areia. Proc. XIII COBRAMSEG, pp. 943-948, São Paulo, Brasil.

- Danziger, F. A. B.; Danziger B. R.; Crispel, F. A. (2000a). A medida dos recalques desde o início da construção como um controle de qualidade das fundações. Proc. SEFE IV, pp. 191-202, Curitiba, Brasil.
- Danziger, F. A. B.; Danziger, B. R.; Crispel, F. A. (2000). A medida dos recalques desde o início da construção como um controle de qualidade das fundações. 4º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia – SEFE IV, p. 191-202.
- Danziger, F.A.B.; Barata, F.E.; Santa Maria, P.E.; Danziger, B.R.; Crispel, F.A. (1997). Measurement of Settlements and Strain on Buildings from the Beginning of Construction. Vol.II, Proc., XIV International Conference on Soils Mechanics and Foundation Engineering, Hanburgo, pp 787-788.
- Dutta, S.C.; Roy, R.A. (2002). Critical review on idealization and modeling for interaction among soil-foundation-structure system. Department of Applied Mechanics, Bengal Engineering College - Deemed University. West Bengal, India. In: Computers and Structures, Vol. 80, pag. 1579 – 1594.
- EN ISO - European Standard (2004a). Eurocode — Basis of structural design. British, England. EN ISO 1990:2002
- EN ISO - European Standard (2004b). Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules. Brussels, Belgium. EN ISO 1997-1
- ER 1110-2-110 Engineer Regulation (1985). Engineering and Design Instrumentation for Safety Evaluations of Civil Works Projects. Department of the Army U.S. Army Corps of Engineers. Washington, DC.
- Fonte, F. L. F. (2000). Análise de Interação Solo- Estrutura em Edifícios. Mestrado, UFPE, Recife.
- Fraser, R.A.; Wardle, L.J. (1975). A rational analysis of shallow footings considering soil}structure interaction. Australian Geomechanics Journal: G5(1): 20 - 25.
- Gonçalves, J. C. (2004). Avaliação da Influência dos Recalques das Fundações na Variação de Cargas dos Pilares de um Edifício. Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Gonçalves, J. C. (2010). A influência dos recalques das fundações no comportamento de edificações ao longo do tempo. Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Goschy, B. (1978). Soil-foundation-structure interaction. Journal Structural Division ASCE, Vol. 104, St-5, pp. 749-761; Apud IWAMOTO (2000).
- Gusmao Filho, J. A.; Guimaraes L.J.N. (1997). Limit stiffness in soil structure interaction of buildings. Proceedings of the 14th International Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering Hambur. 1997: 2: 807 - 808.
- Gusmão Filho, J.A. (1995), Contribuição à prática de fundações: a experiência do Recife. Tese de Concurso de Professor Titular, Departamento de Tecnologia e Geotecnia, Escola de Engenharia da UFPE.
- Gusmão, A. D.; Gusmão Filho, J. A.; Calado Jr., I. H. (2003), Settlement Monitoring of Buildings – The Experience of Recife, Brazil, XII PCSMFE, Cambridge/USA, Vol. 2, pp.2727-2732.
- Gusmão, A.D. (1994) Aspectos relevantes da interação solo-estrutura em edificações. Revista Solos e Rochas, São Paulo, v.17, p47-55.

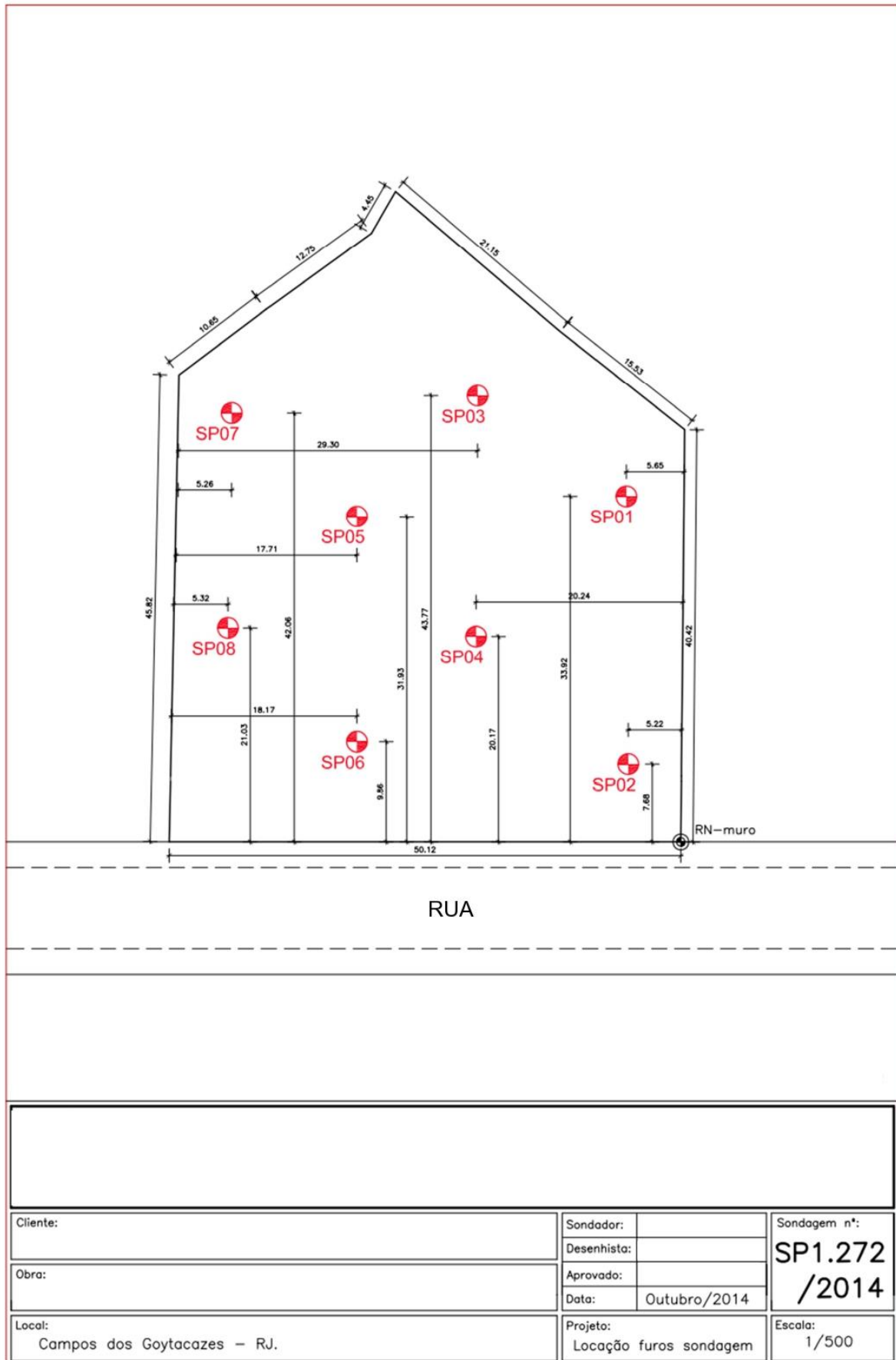
- Gusmão, A.D. (2006). Desempenho de Fundações de Edifícios. In: Palestra XIII COBRAMSEG, Curitiba, pp 215-240.
- Gusmão, A.D., Lopes, F.R. (1990) Um método simplificado para consideração da interação solo-estrutura em edificações. 6º CBGE/ IX COBRAMSEF. pp 447-454
- Gusmão, A.D.; Gusmão Filho, J.A. (1994a). Avaliação da Influência da interação solo-estrutura. In: X COBRANSEF, Foz do Iguaçu, PR, ABMS, Anais, Vol.1, p. 68-74.
- Gusmão, A.D.; Gusmão Filho, J.A. (1994b), Construction sequence effect on settlements of buildings. Proceedings XIII ICOSOMEFE, New Delhi, Vol. 2, pp. 1803-1806.
- Holanda Júnior, O.G. (1998). Interação solo-estrutura para edifícios de concreto armado sobre fundações diretas. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil, pag. 191.
- Hollanda Jr., O. G.(2002), Influência de Recalques em Edifícios de Alvenaria Estrutural. Doutorado, EESC/USP, São Carlos.
- I.S.E – Institution of Structural Engineers (1989). Structure-soil interaction: The real behavior of structures, London. Apud VELLOSO e LOPES (1997).
- Iwamoto, R. K. (2000). Alguns Aspectos dos Efeitos da Interação Solo-Estrutura em Edifícios de Múltiplos andares com Fundação Profunda. Mestrado, EESC/USP, São Carlos.
- Jordão, D. R. (2003), Estabilidade Global de Edifícios sobre Fundações Profundas Considerando a Interação Solo-Estrutura. Mestrado, EESC/USP, São Carlos.
- Lee, I.K.; Brown P.T. (1972). Structure Foundation Interaction Analysis. Journal of Structural Division. (ASCE) 98(ST11): 2413 - 2430.
- Leung, Y.F. (2017). Superstructure–foundation interaction in multi-objective pile group optimization considering settlement response Y.F. Leung, A. Klar, K. Soga, e N.A. Hoult Can. Geotech. J. vol 54: page 1408 - 1420 (2017)
- Leung, Y.F.; Hoult, N.A.; Klar, A.; Soga, K. (2010a). Coupled foundationsuperstructure analysis and influence of building stiffness on foundation response. Deep Foundations and Geotechnical In Situ Testing, pag. 61 - 66.
- Lopes F.R.; Gusmao A.D. (1991). On the influence of soil structure interaction in the distribution of foundation loads and settlements. Proceedings of the 10th European SMFE Conference Florence, 1991: 2: 475 - 478.
- Lucena, A. E. F. L. (2003). Monitoramento de Recalques de Edifícios e Avaliação da Interação Solo-Estrutura.Mestrado, UFPB/CG, Campina Grande.
- Machado, J. (1958), Estudo comparativo de recalques calculados e observados em fundações diretas em Santos. Anais, II COBRAMSEF, Recife e Campina Grande, Vol. 1, pp. 21-36.
- Maia, P.C.A.; Barros, R.A.; Saboya. F.A. (2004). Acompanhamento de Recalques de Fundação em Estacas Hélice na Região de Campos dos Goytacazes. Proc. SEFE V, pp.441-449, São Paulo, Brasil.

- Matos Filho, R. F. (1999). Análise da interação estaca-solo via combinação do método dos elementos finitos com método dos elementos de contorno. São Carlos, 116p. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Medeiros, D.D. (2006) Análise tridimensional da interação solo-estrutura em fundações de concreto armado pelo método dos elementos finitos. Mestrado. UFRGS, Porto Alegre.
- Mendonça, J. C. (2000), Um Modelo Computacional de Análise da Interação Estrutura-Macijo de Solos em Edifícios. Mestrado, EESC/USP, São Carlos.
- Meyerhof, G.G. (1953). Some recent foundation research and its application to design. Structural Engineering. V. 13, pp. 151-167. Londres.
- Meyerhof, G.G. (1956) Penetration tests and bearing capacity of cohesionless soils. J.S.M.F.D., A.S.C.E., Vol. 82, nº SM1, pp866-1. Apud Velloso e Lopes (1997)
- Milfont, M. L. B. (1999), Interação Solo-Estrutura de Fundações em Grelha sobre Base Elástica. Mestrado, Departamento de Engenharia Civil/UFPE, Recife.
- Milititsky, J.; Consoli, N.C.; Schnaid, F. (2008). Patologia das Fundações. Oficina dos Textos, 2ª Edição, 207p.; São Paulo, Brasil.
- Mindlin, R.D. (1936). Force at a point in the interior of a semi-infinite solid. Physics, Vol. 7, pag. 195 - 202.
- Miyahara, F.; Ergatoudis, J.G. (1976). Matrix analysis of structure-foundation interaction. Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 102 (ST1), pag. 251 - 265.
- Mota, M. M. C. (2009). Interação solo-estrutura em edifícios com fundação profunda: método numérico e resultados observados no campo. Tese Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos EESC/USP, Universidade de São Paulo, pag. 222.
- Moura, A. R. L. U. (1995). Interação solo – estrutura em edifícios. Recife. Dissertação (Mestrado). Centro de Tecnologia e Geociências / Universidade Federal de Pernambuco.
- Nascimento, A. L. (2011). Análise de estabilidade de contenções via MEF considerando a interação solo-estrutura. São Paulo, 273 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Oshima, S.T. (2004). Uma combinação MEC/MEF para análise da interação de estacas inclinadas e o solo. 84 p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Polshin, D.E. e Tokar, R.A. (1957). Maximum allowable non-uniform settlement of structures, Proceedings 4th. ICSMFE, London, Vol. 1, pp. 402-405. Apud VELLOSO e LOPES (1997).
- Poulos, H. G. (1975). Soil – structure interaction. In: X ICSMFE, Estocolmo, ISSMFE. Proceedings. v. IV, p. 307-334; apud IWAMOTO (2003).
- Poulos, H. G. (1993). Settlement prediction for bored pile groups. Proc. 2nd International Geotechnical Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles. Ghent, 1-4 junho, p.103-117

- Poulos, H.G.; Davis, H. G. (1968). The settlement behavior of single axially loaded incompressible piles and piers. *Geotechnique*, Vol. 18, pag. 351-371;
- Prellwitz, M. F. (2015) Monitoramento de recalques por fotogrametria usando o princípio dos vasos comunicantes – Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) -- Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Laboratório de Engenharia Civil. Campos dos Goytacazes, 2015.
- Prellwitz, M. F; Maia, P.C.A.; Zampirolli, N. (2018) Estado da Arte do Monitoramento de Recalque no Brasil. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Salvador, Bahia, Brasil
- Randolph, M.F.; Wroth, C.P. (1978). Analysis of deformation of vertically loaded piles. *J. Geot. Eng. Div., ASCE*, v.104, n.12, 1465-1488.
- Randolph, M. F. (1977). A theoretical study of the performance of piles. 1977. PhD Thesis - University of Cambridge, Cambridge, 1977.
- Profundas, 1985, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre, 1985. v. 1, P. 1-50.
- Reis, J. H. C. (2000), Interação Solo-Estrutura de Grupo de Edifícios com Fundações Superficiais em Argila Mole. Mestrado, EESC/USP, São Carlos.
- Rezende, M. E. B. (1995). Análise de recalques de grupos de estacas escavadas de pequeno diâmetro através de provas de carga in situ e em modelos centrifugados. São Carlos, 257 p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Ribeiro, B. D. (2009). Estudo e aplicação de um elemento de contorno infinito na análise da interação solo-estrutura via combinação MEC/MEF. 214p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Ribeiro, D.B. (2005). Análise da Interação Solo-Estrutura via Acoplamento MEC-MEF. Mestrado, EESC/USP, São Carlos.
- Rosa, L. M. P. (2005), Interação Solo-Estrutura – Análise de um Caso de Obra Envolvendo Danos Estruturais. Mestrado, UFF, Niterói.
- Russo Neto, L. (2005), Interpretação de Deformação e Recalque na Fase de Montagem de Estrutura de Concreto com Fundação em Estaca Cravada. Doutorado, EESC/USP, São Carlos.
- Savaris, G. (2008), Monitoração de Recalques de um Edifício e Avaliação da Interação Solo-Estrutura. Mestrado, Laboratório de Engenharia Civil – UENF, Campos dos Goytacazes, Brasil.
- Silva, M. K. (2005), Interação Solo-Estrutura – Uma Contribuição à Interpretação dos Registros Experimentais. Mestrado, UFF, Niterói.
- Skempton A.W.; Macdonald D.H. (1956), Allowable settlements of buildings. *Proceedings Institution of Civil Engineers, London, Part 3, Vol. 5, pp. 727-768. Apud VELLOSO e LOPES (1997).*
- Smal, J.C (2001). Practical solutions to soil-structure interaction problems. *In Progress in Structural Engineering and Materials. Vol. 3, pag 305-314.*
- Soares, J. M. (2004), Estudo Numérico-Experimental da Interação Solo-Estrutura em Dois Edifícios do Distrito Federal. Doutorado, UnB, Brasília.

- Sommer, H. (1965). A method for the calculation of settlements, contact pressures and bending moments in a foundation including the influence of the flexural rigidity of the superstructure. In Proceedings of the 6th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Montréal, Vol. 2, pag. 194 - 201.
- Steinbrenner, W. (1934). Tafeln sur Setzungberechnung. Die Strasse, Vol.1, pag. 121.
- USACE – UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1987. Engineering and Desing – Instrumentation for Concrete Structures. Washington, DC 20314-1000, Department of the Army.
- Vargas, M. E silva, F.R. (1973). O problema das fundações de edifícios altos: experiência em São Paulo, Anais, Conferência Regional Sul-Americana Sobre Edifícios Altos, Porto Alegre. Apud VELLOSO e LOPES (1997).
- Vesic, A. S. (1975). Principles of pile foundation design. SM n. 38, Duke University.
- Vitoret, M.M. (2003), Análise da Interação Solo-Estrutura em Fundações de Concreto Armado pelo Método dos Elementos Finitos. Mestrado, UFRGS, Porto Alegre.
- Wahls, H. E. (1981). Tolerable settlement of buildings. J. Geotech. Engrg. Div., ASCE, Vol. 107(11), pag. 1489 - 1504.
- Waked, L. V. (2017). Transferência De Carga De Estacas Hélice Contínua Monitorada Em Maciço Sedimentar Durante A Construção De Um Edifício – Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) -- Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Laboratório de Engenharia Civil. Campos dos Goytacazes, 2017.
- Weigel, T.A.; Ott, K.J.; Hagerty, D.J. (1989). Load redistribution in frame with settling footings. Journal of Computing in Civil Engineering, Vol. 3 (1), pag. 75 – 92.
- Winkler, E. (1867). Die Lehre von der Elastizität und Festigkeit. Prague: Dominicus.
- Zhang, B. Q.; Small, J.C. (1994). Finite layer analysis of soil}raft}structure interaction. Proceedings of the XIII International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, New Delhi. 5 - 10 January 1994: 2: 587 - 590.

ANEXO A – SONDAGENS



BOLETIM DE SONDAAGEM										Nº 1 272/2014	
Cliente:		Furo Nº		SP01		Sondador:					
Local da Obra:		Profundidade do Nível D'Água:		Amostrador Padrão - Diâmetro Interno 34,9mm		Data Inicial		Data Final		Revestimento	
Cota: 0,16 m		3,05 metros em 21/10/14		Diâmetro Externo 59,8mm		16/10/14		17/10/14		4,00 m	
Profundidade da camada	Penetração	Nº de Golpes/15cm	30cm	30cm	30cm	30cm	Gráfico	Classificação do Material			
01	0,71	3	2	2	5	4		Atorro: argila siliosa, com areia fina, média e grossa, com mica, com enlulhos, cor variegada.			
11		2	2	2	4	4		Argila siliosa, com areia fina, com mica, cor amarela, mole.			
21		2	3	2	5	5		Idem, média.			
31		3	3	3	6	6		Idem, média.			
41		1	2	3	3	5		Areia fina, média e grossa, argilosa, com mica, cor variegada, pouco compacta.			
51	5,25	3	3	4	6	7		Idem, medianamente compacta.			
61		4	3	2	7	5					
71		4	5	5	9	10					
81		4	8	6	12	16					
91		5	8	9	13	17					
101		5	9	9	14	18					
111		2	1	1	3	2		Argila, com areia fina, com mica, com turfa, com detritos vegetais, cor cinza escuro, muito mole.			
121	11,95	1	2	1	3	3		Idem, mole.			
131		4	10	10	14	20		Argila siliosa, com areia fina, média e grossa, com mica, cor cinza claro, dura.			
141	13,80	12	18	27	30	45					
151		15	21	29	36	50					
161							Continua na folha SP01 cont. 1				
GRÁFICO		AMOSTRA		[] Amostra Padrão		[] Amostra Lavada		[] Amostra Perdida		[] Peso Próprio do Martelo	
Nº Golpes/30cm iniciais		Profundidade		Penetração Adicional a 50cm de Profundidade		* Penetração Adicional a 50cm de Profundidade		P/N Amostrador Penetrou 11 cm com peso de haste, amostrador e martelo.			

BOLETIM DE SONDAAGEM										Nº 1 272/2014	
Cliente:		Furo Nº		SP01 cont.1		Sondador:					
Local da Obra:		Profundidade do Nível D'Água:		Amostrador Padrão - Diâmetro Interno 34,9mm		Data Inicial		Data Final		Revestimento	
Cota: 0,16 m		3,85 metros em 21/10/14		Diâmetro Externo 59,8mm		16/10/14		17/10/14		4,00 m	
Profundidade da camada	Penetração	Nº de Golpes/15cm	30cm	30cm	30cm	30cm	Gráfico	Classificação do Material			
171		13	21	33	34	54		Argila siliosa, com areia fina, média e grossa, com mica, cor cinza claro, dura.			
181		15	20	22	35	42					
191		15	22	28	37	50					
201	19,45							Sondagem paralisada à 19,45 metros, de acordo com o item 6.4.1 da NBR 6484/2001.			
211											
221											
231											
241											
251											
261											
271											
281											
291											
301											
311											
321											
331											
GRÁFICO		AMOSTRA		[] Amostra Padrão		[] Amostra Lavada		[] Amostra Perdida		[] Peso Próprio do Martelo	
Nº Golpes/30cm iniciais		Profundidade		Penetração Adicional a 50cm de Profundidade		* Penetração Adicional a 50cm de Profundidade		P/N Amostrador Penetrou 11 cm com peso de haste, amostrador e martelo.			

BOLETIM DE SONDAAGEM										Nº 1 272/2014	
Cliente:		Furo Nº		SP02		Sondador:					
Local da Obra:		Profundidade do Nível D'Água:		Amostrador Padrão - Diâmetro Interno 34,9mm		Data Inicial		Data Final		Revestimento	
Cota: -0,11 m		3,25 metros em 17/10/14		Diâmetro Externo 59,8mm		14/10/14		16/10/14		4,00 m	
Profundidade da camada	Penetração	Nº de Golpes/15cm	30cm	30cm	30cm	30cm	Gráfico	Classificação do Material			
01		2	4	4	6	8		Atorro: argila siliosa, com areia fina, média e grossa, com mica, cor variegada.			
11	0,77	3	3	4	6	7		Argila siliosa, com areia fina, com mica, cor amarela e cinza, média.			
21		3	3	4	6	7		Idem, mole.			
31		3	3	2	6	5		Idem, mole.			
41	3,69	1	2	4	3	6		Areia fina, silo argilosa, com mica, cor amarela.			
51	4,39	3	5	4	8	9		Areia fina, média e grossa, argilosa, com mica, cor variegada, pouco compacta.			
61		3	5	5	8	10		Idem, medianamente compacta.			
71		4	5	5	9	10					
81		5	5	5	10	10					
91		4	4	5	8	9					
101		3	4	6	7	9					
111	11,30	3	3	2	6	5		Argila, com areia fina, com mica, cor cinza escuro, mole.			
121		1	1	1	2	2		Idem, muito mole.			
131		1	1	1	2	2		Idem, mole.			
141		1	2	1	3	3		Idem, mole.			
151	14,77	11	16	26	27	42		Argila siliosa, com areia fina, média e grossa, com mica, cor cinza claro, dura.			
161		14	21	30	35	51					
GRÁFICO		AMOSTRA		[] Amostra Padrão		[] Amostra Lavada		[] Amostra Perdida		[] Peso Próprio do Martelo	
Nº Golpes/30cm iniciais		Profundidade		Penetração Adicional a 50cm de Profundidade		* Penetração Adicional a 50cm de Profundidade		P/N Amostrador Penetrou 11 cm com peso de haste, amostrador e martelo.			

BOLETIM DE SONDAAGEM										Nº 1 272/2014	
Cliente:		Furo Nº		SP02 cont.1		Sondador:					
Local da Obra:		Profundidade do Nível D'Água:		Amostrador Padrão - Diâmetro Interno 34,9mm		Data Inicial		Data Final		Revestimento	
Cota: -0,11 m		3,25 metros em 17/10/14		Diâmetro Externo 59,8mm		14/10/14		16/10/14		4,00 m	
Profundidade da camada	Penetração	Nº de Golpes/15cm	30cm	30cm	30cm	30cm	Gráfico	Classificação do Material			
171		21	26	36	47	61		Argila siliosa, com areia fina, média e grossa, com mica, cor cinza claro, dura.			
181		18	22	29	40	51					
191		18	23	27	41	50					
201	19,45							Sondagem paralisada à 19,45 metros, de acordo com o item 6.4.1 da NBR 6484/2001.			
211											
221											
231											
241											
251											
261											
271											
281											
291											
301											
311											
321											
331											
GRÁFICO		AMOSTRA		[] Amostra Padrão		[] Amostra Lavada		[] Amostra Perdida		[] Peso Próprio do Martelo	
Nº Golpes/30cm iniciais		Profundidade		Penetração Adicional a 50cm de Profundidade		* Penetração Adicional a 50cm de Profundidade		P/N Amostrador Penetrou 11 cm com peso de haste, amostrador e martelo.			

BOLETIM DE SONDAAGEM										Nº 1.272/2014	
Cliente:						Furo Nº		SP03		Sondador:	
Local da Obra:						Amostrador Padrão - Diâmetro Interno 34,9mm		Data Inicial:		Data Final:	
Cota:						Diâmetro Externo 50,8mm		09/10/14		04/11/14	
Profundidade do Nível D'água:						Revestimento:		4,00 m			
0,07 m						3,21 metros em 09/11/14					
Profundidade m	Penetração Nº de Golpes/5cm	30cm inicial	30cm final	30cm méd.	Gráfico	Classificação do Material	30cm inicial	30cm final	30cm méd.	Profundidade	Amostra
01						Aleno: argila silteosa, com areia fina, média e grossa, com mica, com estufos, cor variegada					
11	0,64	2	2	3	4	Argila silteosa, com areia fina, com mica, cor amarelada, mole					
21		3	4	5	7	9	Idem, média.				
31		3	3	4	6	7					
41		3	3	4	6	7					
51	5,05	2	3	4	5	7	Areia grossa, média e fina, argilosa, com mica, cor variegada, pouco compacta				
61		2	3	3	5	6					
71		5	7	7	12	14	Idem, medianamente compacta				
81		7	6	7	13	13					
91		5	7	7	12	14					
101		8	9	8	17	17					
111		7	8	9	15	17					
121	11,57	P	P	P	0	0	Argila, com areia fina, com mica, cor cinza escuro, muito mole				
131		1	2	1	3	3	Idem, mole.				
141	13,66	3	6	10	9	16	Argila silteosa, com areia fina, média e grossa, com mica, cor cinza claro, rija				
151		5	7	11	12	18					
161	16,66	11	19	23	30	42	Idem, dura.				
							Argila silteosa, com areia fina, média e grossa, com mica, cor variegada.				
						Continua na folha SP03 cont. 1					
GRÁFICO						ÍNDICES DE PENETRAÇÃO					
Nº Golpes/30cm iniciais						Penetração Adicional a 50cm de Profundidade					
Nº Golpes/30cm finais						P/N Amostrador Penetrou 11 cm com peso da haste, amostrador e martelo.					

BOLETIM DE SONDAAGEM										Nº 1.272/2014	
Cliente:						Furo Nº		SP03 cont. 1		Sondador:	
Local da Obra:						Amostrador Padrão - Diâmetro Interno 34,9mm		Data Inicial:		Data Final:	
Cota:						Diâmetro Externo 50,8mm		09/10/14		04/11/14	
Profundidade do Nível D'água:						Revestimento:		4,00 m			
0,07 m						3,21 metros em 09/11/14					
Profundidade m	Penetração Nº de Golpes/5cm	30cm inicial	30cm final	30cm méd.	Gráfico	Classificação do Material	30cm inicial	30cm final	30cm méd.	Profundidade	Amostra
171		16	25	30/10		Argila silteosa, com areia fina, média e grossa, com mica, cor variegada, dura	41	55/25			
181		18	25	30/5			43	55/20			
191		15	23	30			38	53			
201		20/30	24	35			59				
211											
221											
231											
241											
251											
261											
271											
281											
291											
301											
311											
321											
331											
						Sondagem paralisada à 20,30 metros, de acordo com o item 6.4.1 da NBR 6484/2001.					
GRÁFICO						ÍNDICES DE PENETRAÇÃO					
Nº Golpes/30cm iniciais						Penetração Adicional a 50cm de Profundidade					
Nº Golpes/30cm finais						P/N Amostrador Penetrou 11 cm com peso da haste, amostrador e martelo.					

BOLETIM DE SONDAAGEM										Nº 1.272/2014	
Cliente:						Furo Nº		SP04		Sondador:	
Local da Obra:						Amostrador Padrão - Diâmetro Interno 34,9mm		Data Inicial:		Data Final:	
Cota:						Diâmetro Externo 50,8mm		17/10/14		22/10/14	
Profundidade do Nível D'água:						Revestimento:		4,00 m			
0,11 m						3,57 metros em 23/10/14					
Profundidade m	Penetração Nº de Golpes/5cm	30cm inicial	30cm final	30cm méd.	Gráfico	Classificação do Material	30cm inicial	30cm final	30cm méd.	Profundidade	Amostra
01						Aleno: argila silteosa, com areia fina, média e grossa, com mica, cor variegada					
11	0,99	3	3	3	6	6	Argila silteosa, com areia fina, com mica, cor amarelada, média				
21		2	3	3	5	6					
31		2	3	2	5	5	Idem, mole.				
41		1	1	1	2	2	Idem, muito mole.				
51		1	1	2	2	3	Idem, mole.				
61	5,55	2	3	3	5	6	Areia grossa, média e fina, argilosa, com mica, cor variegada, pouco compacta				
71	6,90	4	6	8	10	14					
81		4	6	8	10	14	Areia fina, média e grossa, argilosa, com mica, cor variegada, medianamente compacta.				
91		5	8	8	13	16					
101		5	8	9	13	17					
111		8	8	9	16	17					
121	12,30	4	4	2	8	6	Argila, com areia fina, com mica, cor cinza escuro, média				
131		1	1	1	2	2	Idem, muito mole.				
141		1	2	1	3	3	Idem, mole.				
151	14,95	9	10	13	19	23	Argila silteosa, com areia fina, média e grossa, com mica, cor cinza claro, dura				
161		15	25	30	40	55					
						Continua na folha SP04 cont. 1					
GRÁFICO						ÍNDICES DE PENETRAÇÃO					
Nº Golpes/30cm iniciais						Penetração Adicional a 50cm de Profundidade					
Nº Golpes/30cm finais						P/N Amostrador Penetrou 11 cm com peso da haste, amostrador e martelo.					

BOLETIM DE SONDAAGEM										Nº 1.272/2014	
Cliente:						Furo Nº		SP04 cont. 1		Sondador:	
Local da Obra:						Amostrador Padrão - Diâmetro Interno 34,9mm		Data Inicial:		Data Final:	
Cota:						Diâmetro Externo 50,8mm		17/10/14		22/10/14	
Profundidade do Nível D'água:						Revestimento:		4,00 m			
0,11 m						3,57 metros em 23/10/14					
Profundidade m	Penetração Nº de Golpes/5cm	30cm inicial	30cm final	30cm méd.	Gráfico	Classificação do Material	30cm inicial	30cm final	30cm méd.	Profundidade	Amostra
171		17	21	33	38	54	Argila silteosa, com areia fina, média e grossa, com mica, cor cinza claro, dura				
181		15	27	29	42	56					
191		14	23	28	37	51					
201		16	21	26	37	47					
211	20,45										
221											
231											
241											
251											
261											
271											
281											
291											
301											
311											
321											
331											
						Sondagem paralisada à 20,45 metros, de acordo com o item 6.4.1 da NBR 6484/2001.					
GRÁFICO						ÍNDICES DE PENETRAÇÃO					
Nº Golpes/30cm iniciais						Penetração Adicional a 50cm de Profundidade					
Nº Golpes/30cm finais						P/N Amostrador Penetrou 11 cm com peso da haste, amostrador e martelo.					

BOLETIM DE SONDAGEM										Nº 1.272/2014	
Cliente:										Furo Nº SP05	
Local da Obra:										Sondador:	
Cota: 0,12 m										Data inicial: 29/10/14	
Profundidade do Nível D'água: 3,65 metros em 31/10/14										Data final: 30/10/14	
Amostrador Padrão - Diâmetro Interno 34,9mm										Revestimento: 4,00 m	
Diâmetro Externo 50,8mm											
Profundidade (m)	Penetração (Nº de Golpes/15cm)	Mica	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	Gráfico	Classificação do Material
0											
0,57											
1	3 5 4		8	9	1						Aleno: argila silteosa, com areia fina, média e grossa, com mica, cor cinza, com veios amarelos.
2	4 5 6		9	11	2						Argila silteosa, com areia fina, com mica, cor amarela, média.
3	4 4 5		8	9	3						Idem, rja.
4	3 2 2		5	4	4						Idem, média.
5	3 3 3		6	6	5						Área fina, silte argilosa, com mica, cor amarela, tofa.
6	4 3 3		7	6	6						Área grossa, média e fina, argilosa, com mica, cor cinza, pouco compacta.
7	5 7 8		12	15	7						Área fina, média e grossa, argilosa, com mica, cor variegada, medianamente compacta.
8	4 7 7		11	14	8						Idem, pouco compacta.
9	3 4 3		7	7	9						
10	4 3 3		7	6	10						
11	3 3 3		6	6	11						
12	1 1 1		2	2	12						Argila, com areia fina, com mica, cor cinza escuro, muito mole.
13	2 3 2		5	5	13						Argila, com areia fina, com mica, cor cinza com veios amarelos, mole.
14	10 14 28		24	42	14						Argila silteosa, com areia fina, média e grossa, com mica, cor cinza claro, dura.
15	9 19 30		28	49	15						
16	12 19 27		31	46	16						

BOLETIM DE SONDAGEM										Nº 1.272/2014	
Cliente:										Furo Nº SP05 cont.1	
Local da Obra:										Sondador:	
Cota: 0,12 m										Data inicial: 29/10/14	
Profundidade do Nível D'água: 3,65 metros em 31/10/14										Data final: 30/10/14	
Amostrador Padrão - Diâmetro Interno 34,9mm										Revestimento: 4,00 m	
Diâmetro Externo 50,8mm											
Profundidade (m)	Penetração (Nº de Golpes/15cm)	Mica	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	Gráfico	Classificação do Material
17	14 18 28		32	46	17						Argila silteosa, com areia fina, média e grossa, com mica, cor cinza claro, dura.
18	15 22 30		37	52	18						Sondagem paralisada à 18,45 metros, de acordo com o item 6.4.1 da NBR 6484/2001.
19					19						
20					20						
21					21						
22					22						
23					23						
24					24						
25					25						
26					26						
27					27						
28					28						
29					29						
30					30						
31					31						
32					32						
33					33						

BOLETIM DE SONDAGEM										Nº 1.272/2014	
Cliente:										Furo Nº SP06	
Local da Obra:										Sondador:	
Cota: 0,11 m										Data inicial: 29/10/14	
Profundidade do Nível D'água: 3,59 metros em 24/10/14										Data final: 23/10/14	
Amostrador Padrão - Diâmetro Interno 34,9mm										Revestimento: 4,00 m	
Diâmetro Externo 50,8mm											
Profundidade (m)	Penetração (Nº de Golpes/15cm)	Mica	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	Gráfico	Classificação do Material
0											
0,75											
1	2 3 2		5	5	1						Aleno: argila silteosa, com areia fina, média e grossa, com mica, cor variegada.
2	2 3 4		5	7	2						Argila silteosa, com areia fina, com mica, cor amarela, mole.
3	2 1 1		3	2	3						Idem, média.
4	1 1 2		2	3	4						Idem, muito mole.
5	2 2 2		4	4	5						Idem, mole.
6	2 2 3		4	5	6						Argila silteosa, com areia fina, com mica, cor cinza escuro, mole.
7	4 5 5		9	10	7						Área fina, média e grossa, argilosa, com mica, cor variegada, medianamente compacta.
8	6 7 10		13	17	8						
9	8 8 10		16	18	9						
10	8 9 9		17	18	10						
11	8 9 10		17	19	11						Idem, compacta.
12	1 2 1		3	3	12						Argila, com areia fina, com mica, cor cinza variegada, cor cinza escuro, mole.
13	1 1 1		2	2	13						Argila, com areia fina, média e grossa, com mica, cor cinza, muito mole.
14	1 2 1		3	3	14						Idem, mole.
15	10 18 24		28	42	15						Argila silteosa, com areia fina, média e grossa, com mica, cor variegada, dura.
16	12 19 26		31	45	16						

BOLETIM DE SONDAGEM										Nº 1.272/2014	
Cliente:										Furo Nº SP06 cont.1	
Local da Obra:										Sondador:	
Cota: 0,11 m										Data inicial: 22/10/14	
Profundidade do Nível D'água: 3,59 metros em 24/10/14										Data final: 23/10/14	
Amostrador Padrão - Diâmetro Interno 34,9mm										Revestimento: 4,00 m	
Diâmetro Externo 50,8mm											
Profundidade (m)	Penetração (Nº de Golpes/15cm)	Mica	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	30cm	Gráfico	Classificação do Material
17	10 21 30		31	51	17						Argila silteosa, com areia fina, média e grossa, com mica, cor variegada, dura.
18	11 17 24		28	41	18						
19	12 20 25		32	45	19						
20					20						
21					21						
22					22						
23					23						
24					24						
25					25						
26					26						
27					27						
28					28						
29					29						
30					30						
31					31						
32					32						
33					33						

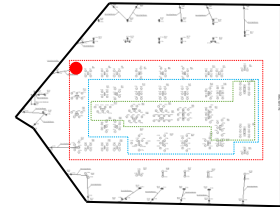
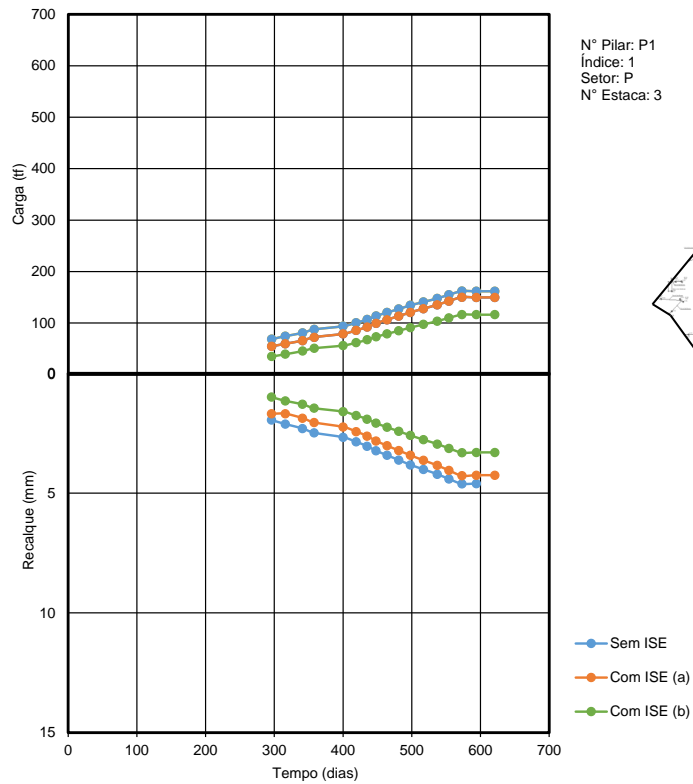
BOLETIM DE SONDAJEM										Nº 1.272/2014	
Local da Obra		Furo Nº		SP07		Sondador		Data Inicial		Revestimento	
Cota: 0,33 m		Profundidade do Nível D'água: 3,55 metros em 30/10/14		Amostrador Padrão - Diâmetro Interno 34,9mm		Data Inicial: 27/10/14		Data Final: 29/10/14		Revestimento: 4,00 m	
Profundidade (m)	Penetração (Nº de Golpes/15cm)	Gráfico		Classificação do Material							
		30cm	15cm								
0,50	6	7	1	Atorno argila silteosa, com areia fina, média e grossa, com entulhos, cor amarelada.							
1,11	3 3 4	6	7	Argila silteosa, com areia fina, com mica, cor amarela, média.							
2,11	3 5 6	8	11	Idem, rija.							
3,11	3 4 4	7	8	Idem, média.							
4,11	3 2 2	5	4	Areia fina, silte argiloso, com mica, cor amarela com veios cinza, fofa.							
5,11	3 4 4	7	8	Areia grossa, média e fina, silte argiloso, com mica, cor amarela, pouco compacta.							
6,11	4 6 7	10	13	Areia fina, média e grossa, argilosa, com mica, cor variegada, medianamente compacta.							
7,11	4 6 7	10	13								
8,11	5 5 7	10	12								
9,11	4 5 4	9	9								
10,11	8 8 9	16	17								
11,11	7 6 6	13	12								
12,11	5 5 4	10	9								
13,11	4 5 5	9	10								
14,11	3 8 10	11	18	Argila silteosa, com areia fina, média e grossa, com mica, cor cinza claro, rija.							
15,11	11 16 25	27	41	Idem, dura.							
16,11	16 28 35	44	63								

BOLETIM DE SONDAJEM										Nº 1.272/2014	
Local da Obra		Furo Nº		SP07 cont.1		Sondador		Data Inicial		Revestimento	
Cota: 0,33 m		Profundidade do Nível D'água: 3,55 metros em 30/10/14		Amostrador Padrão - Diâmetro Interno 34,9mm		Data Inicial: 27/10/14		Data Final: 28/10/14		Revestimento: 4,00 m	
Profundidade (m)	Penetração (Nº de Golpes/15cm)	Gráfico		Classificação do Material							
		30cm	15cm								
17,11	15 22 29	37	51	Argila silteosa, com areia fina, média e grossa, com mica, cor cinza claro, dura.							
18,11	14 22 25	36	47	Argila silteosa, com areia fina, média e grossa, com mica, cor variegada, dura.							
19,11	15 21 25	36	46	Sondagem paralela à 19,45 metros, de acordo com o item 6.4.1 da NBR 6484/2001.							
20,11											
21,11											
22,11											
23,11											
24,11											
25,11											
26,11											
27,11											
28,11											
29,11											
30,11											
31,11											
32,11											
33,11											

BOLETIM DE SONDAJEM										Nº 1.272/2014	
Local da Obra		Furo Nº		SP08		Sondador		Data Inicial		Revestimento	
Cota: 0,09 m		Profundidade do Nível D'água: 3,70 metros em 24/10/14		Amostrador Padrão - Diâmetro Interno 34,9mm		Data Inicial: 23/10/14		Data Final: 27/10/14		Revestimento: 4,00 m	
Profundidade (m)	Penetração (Nº de Golpes/15cm)	Gráfico		Classificação do Material							
		30cm	15cm								
0,11	2 2 2	4	4	Atorno argila silteosa, com areia fina, média e grossa, com mica, com entulhos, cor variegada.							
1,11	3 4 5	7	9	Argila silteosa, com areia fina, com mica, cor amarela, mole.							
2,11	3 4 5	7	9	Idem, média.							
3,11	3 3 4	6	7	Idem, mole.							
4,11	1 1 2	2	3								
5,11	4 4 5	8	9	Areia fina, média e grossa, argilosa, com mica, cor variegada, medianamente compacta.							
6,11	2 3 4	5	7	Idem, pouco compacta.							
7,11	4 4 5	8	9	Idem, medianamente compacta.							
8,11	6 7 7	13	14								
9,11	7 7 7	14	14								
10,11	7 8 7	15	16								
11,11	8 9 9	17	18								
12,11	4 4 5	8	9								
13,11	5 4 5	9	9								
14,11	4 8 10	12	18	Argila silteosa, com areia fina, média e grossa, com mica, cor cinza claro, rija.							
15,11	12 18 26	30	44	Idem, dura.							
16,11	19 23 35	42	58								

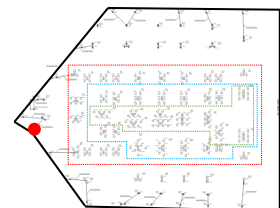
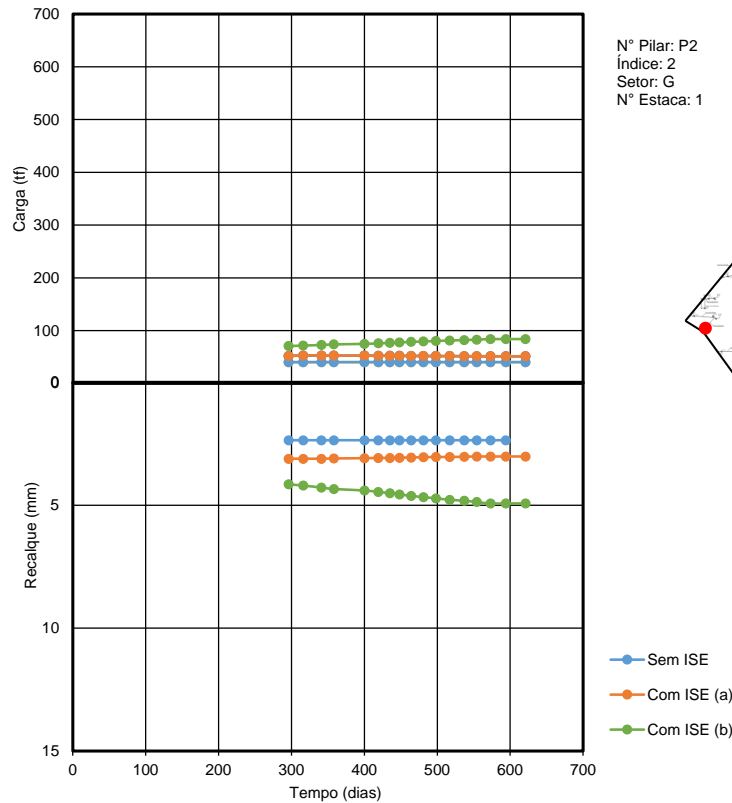
BOLETIM DE SONDAJEM										Nº 1.272/2014	
Local da Obra		Furo Nº		SP08 cont.1		Sondador		Data Inicial		Revestimento	
Cota: 0,09 m		Profundidade do Nível D'água: 3,70 metros em 24/10/14		Amostrador Padrão - Diâmetro Interno 34,9mm		Data Inicial: 23/10/14		Data Final: 27/10/14		Revestimento: 4,00 m	
Profundidade (m)	Penetração (Nº de Golpes/15cm)	Gráfico		Classificação do Material							
		30cm	15cm								
17,11	15 25 30	40	56	Argila silteosa, com areia fina, média e grossa, com mica, cor cinza claro, dura.							
18,11	15 25 27	40	52								
19,11	13 26 29	38	54	Sondagem paralela à 19,45 metros, de acordo com o item 6.4.1 da NBR 6484/2001.							
20,11											
21,11											
22,11											
23,11											
24,11											
25,11											
26,11											
27,11											
28,11											
29,11											
30,11											
31,11											
32,11											
33,11											

ANEXO B – CARGA VS. RECALQUE SEM E COM ISE



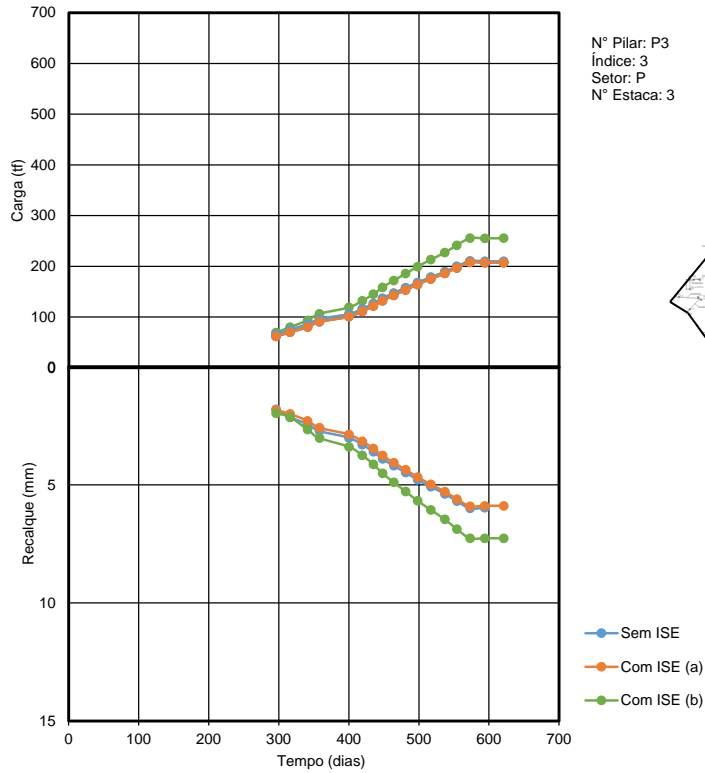
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



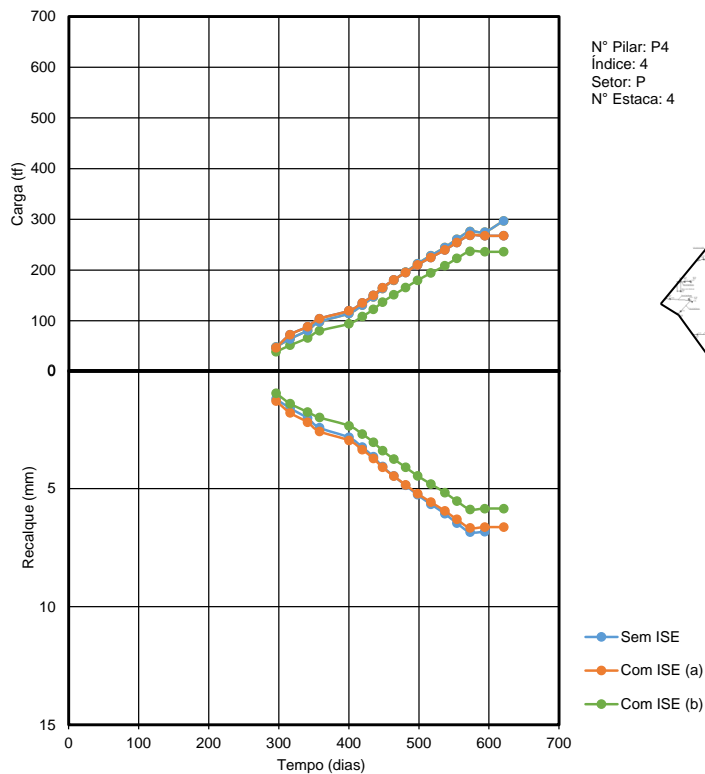
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



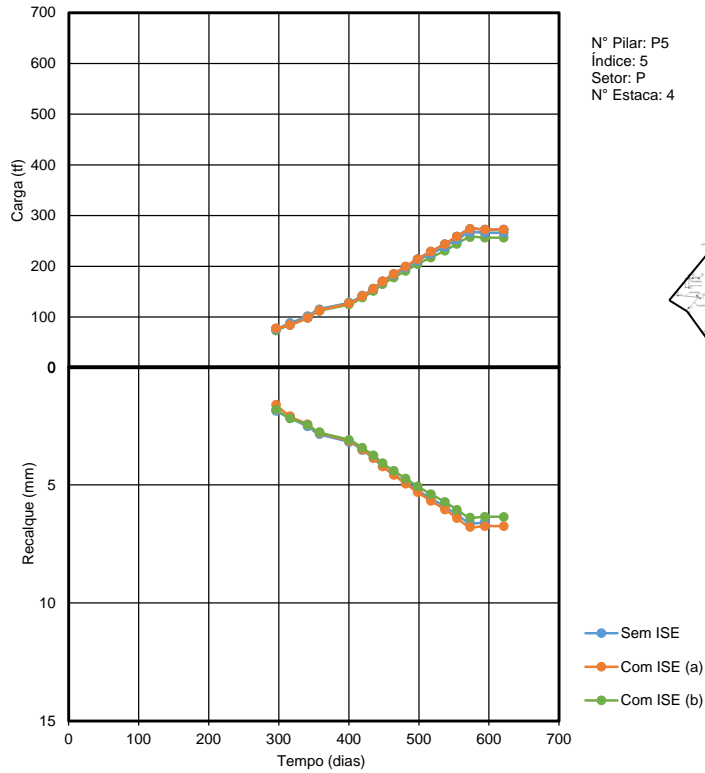
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



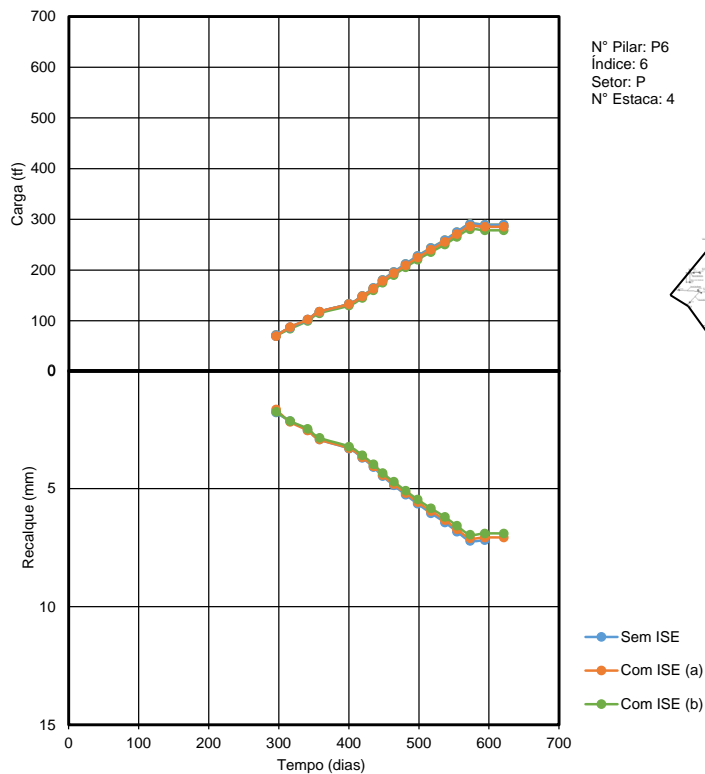
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



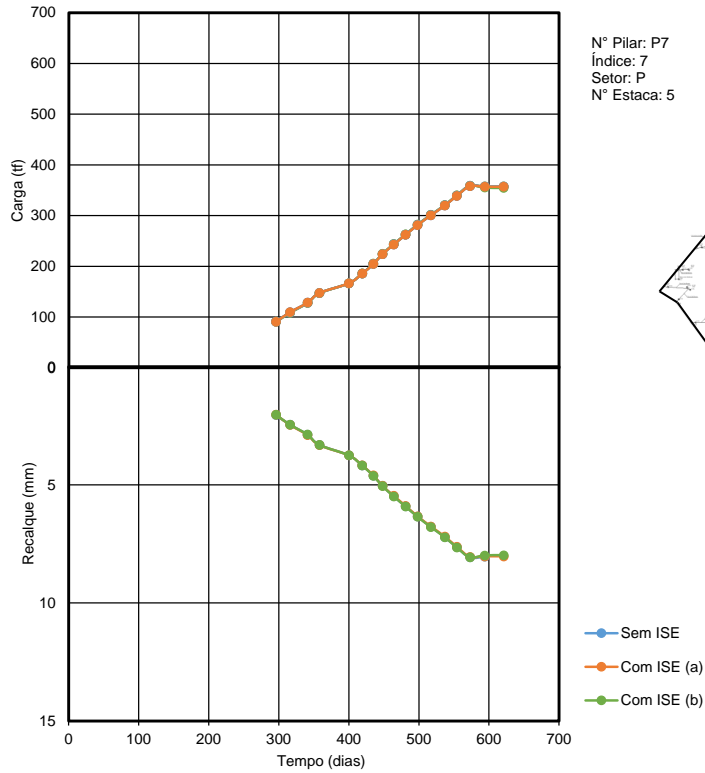
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



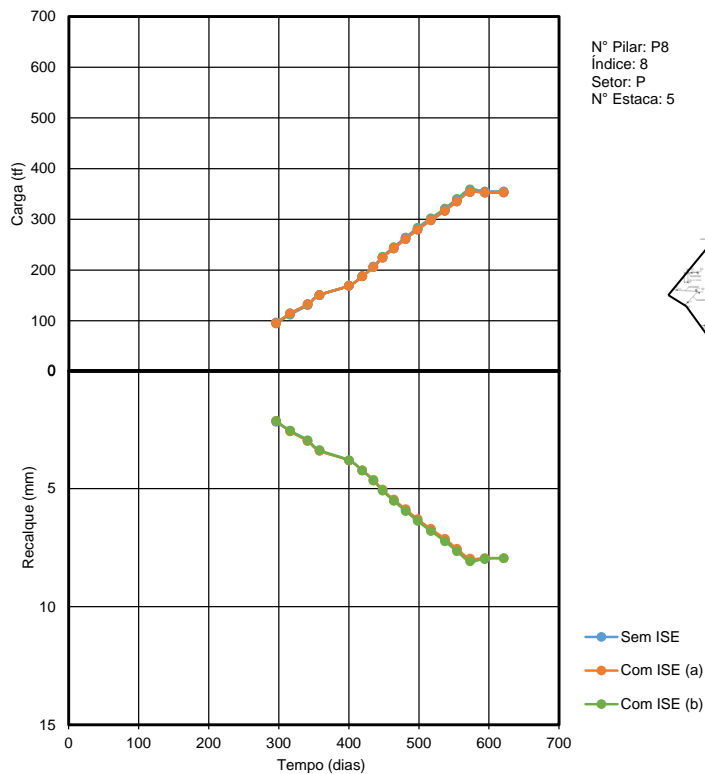
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



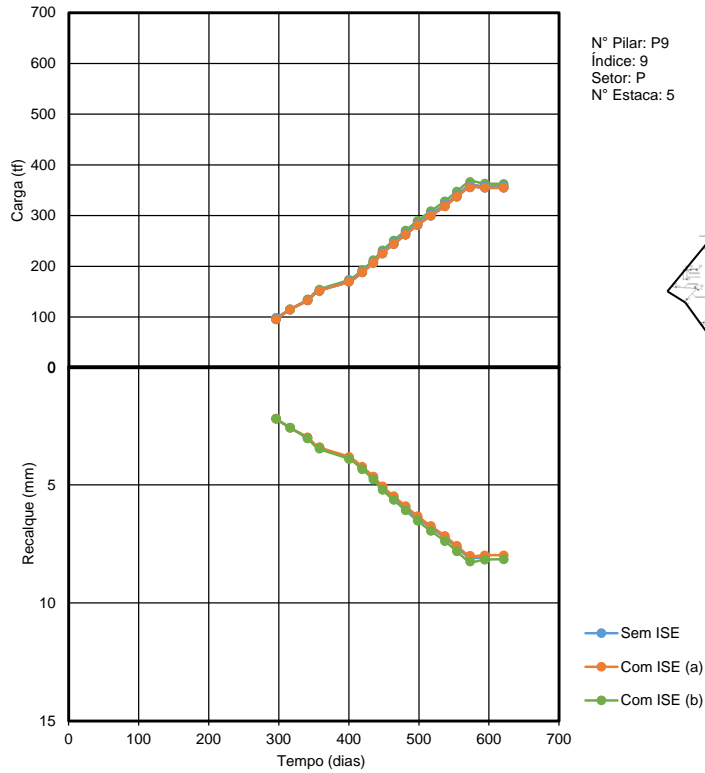
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



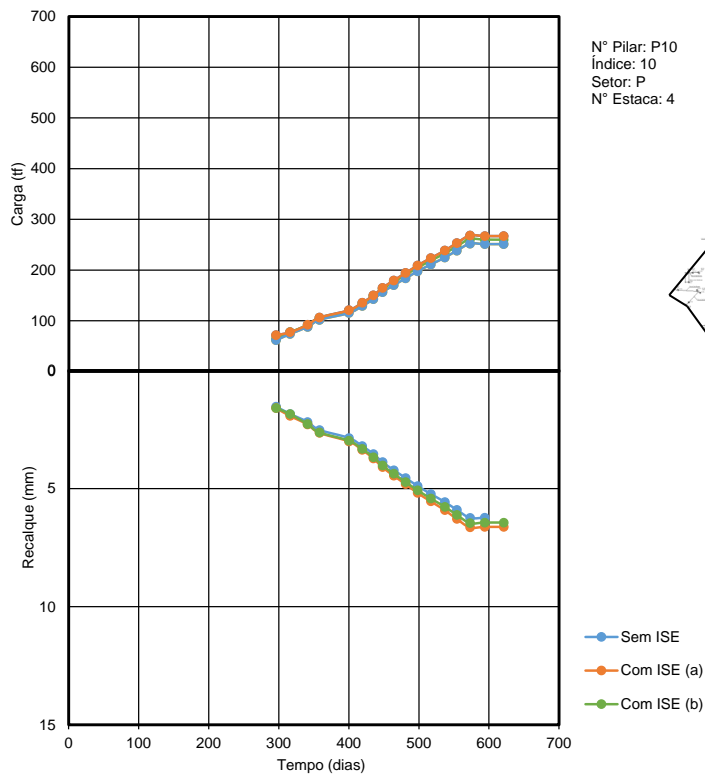
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



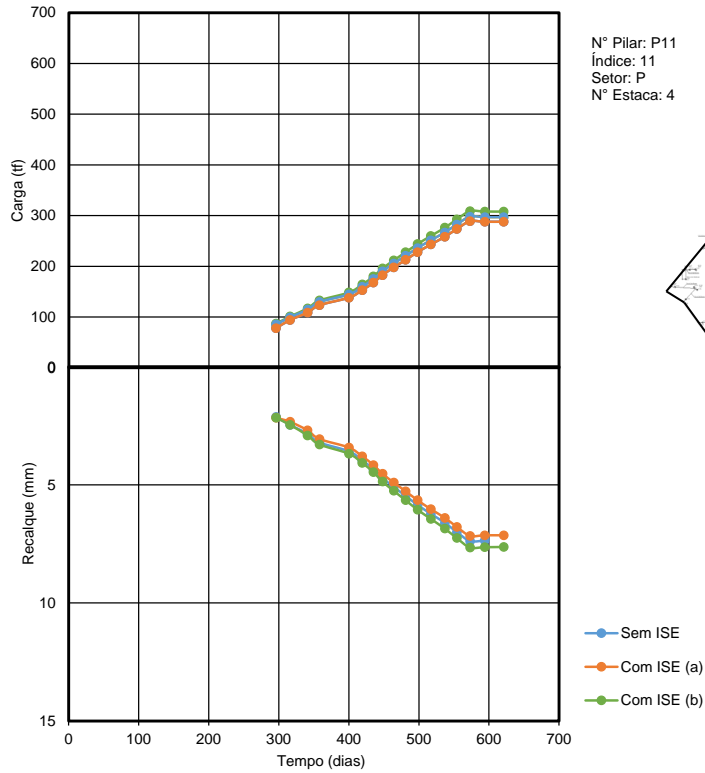
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



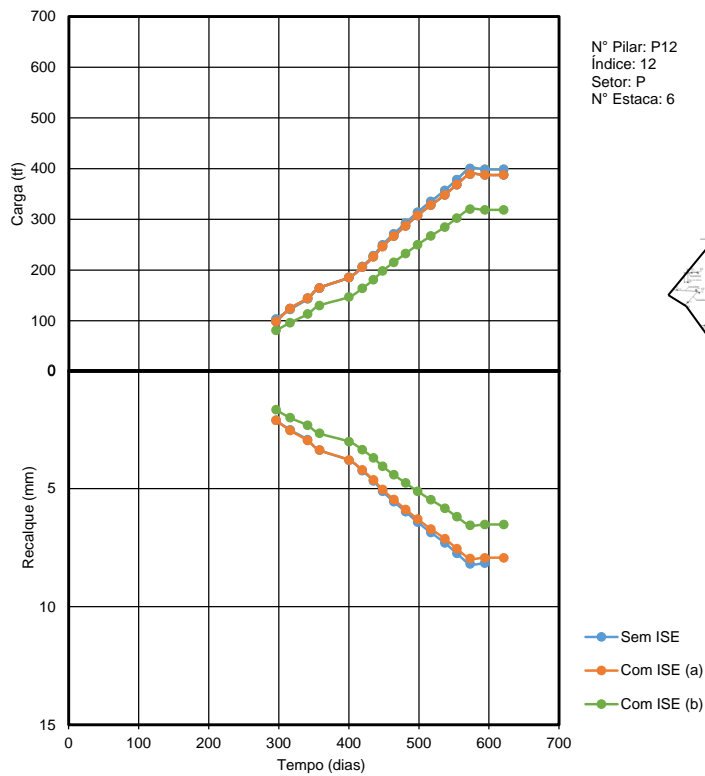
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



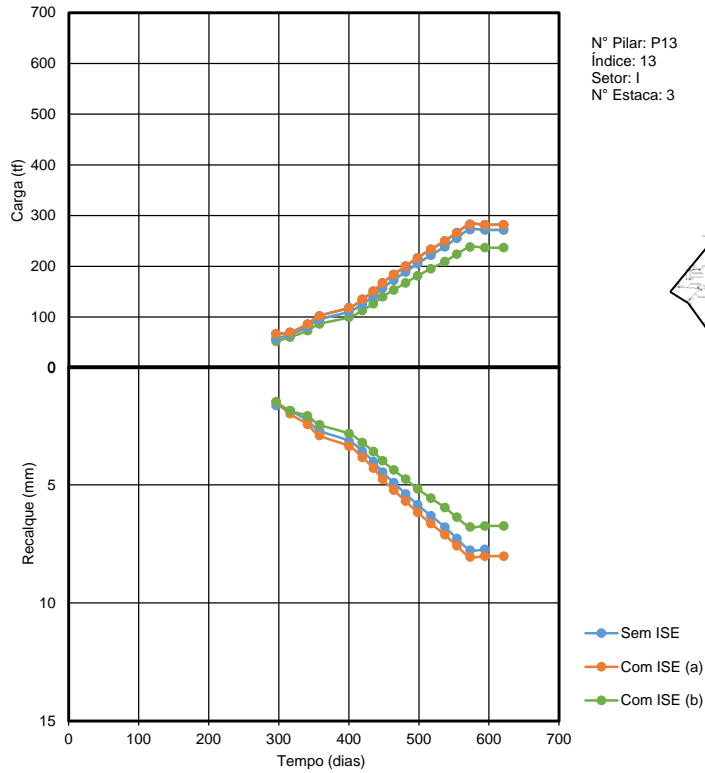
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



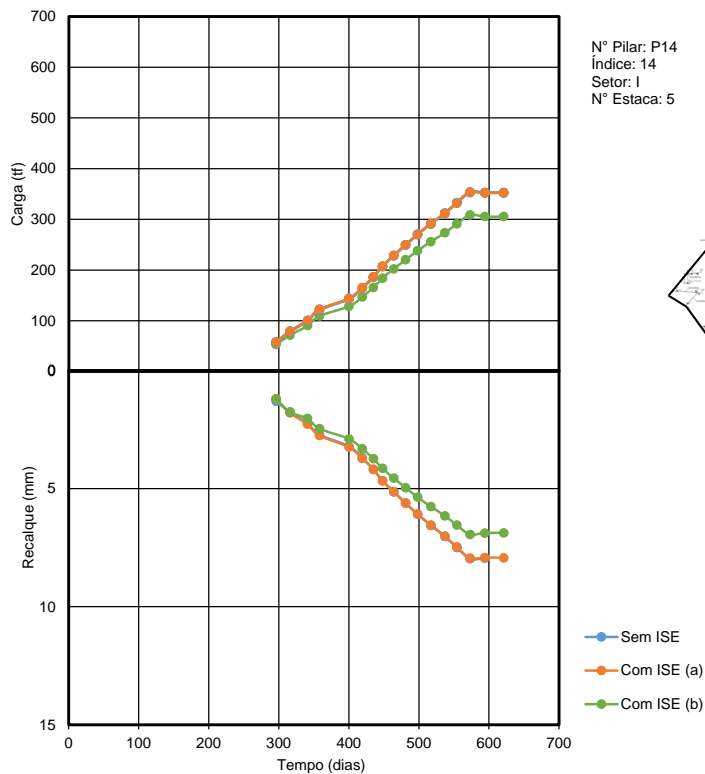
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



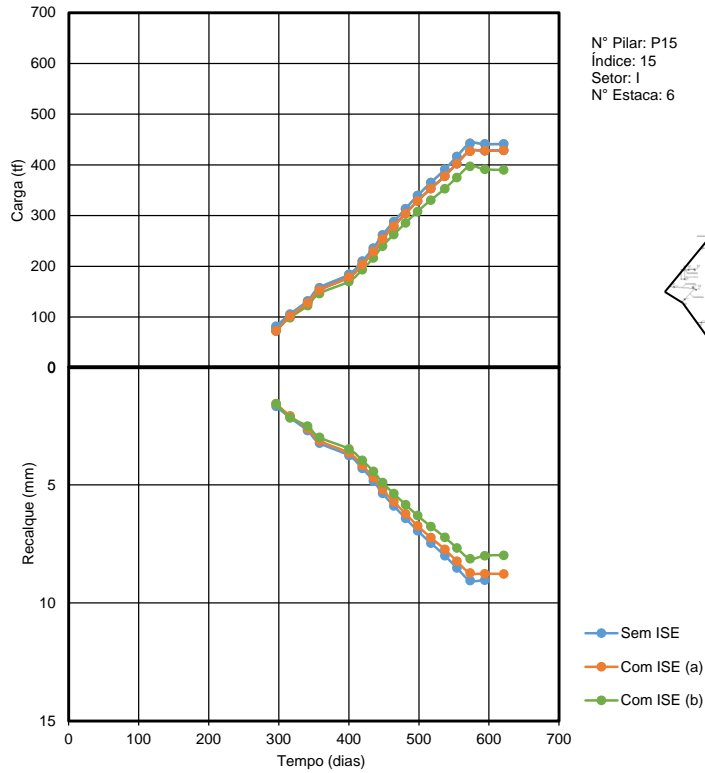
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



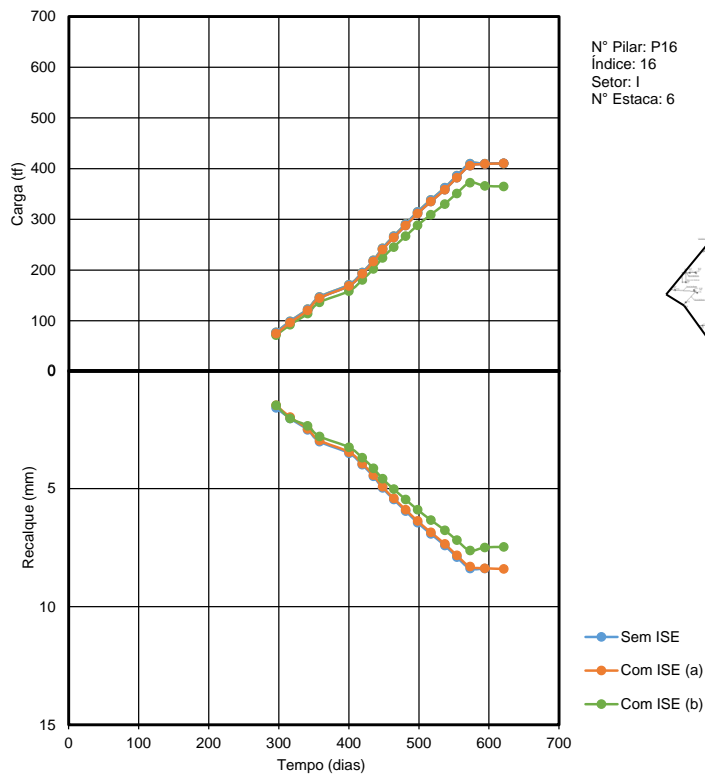
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



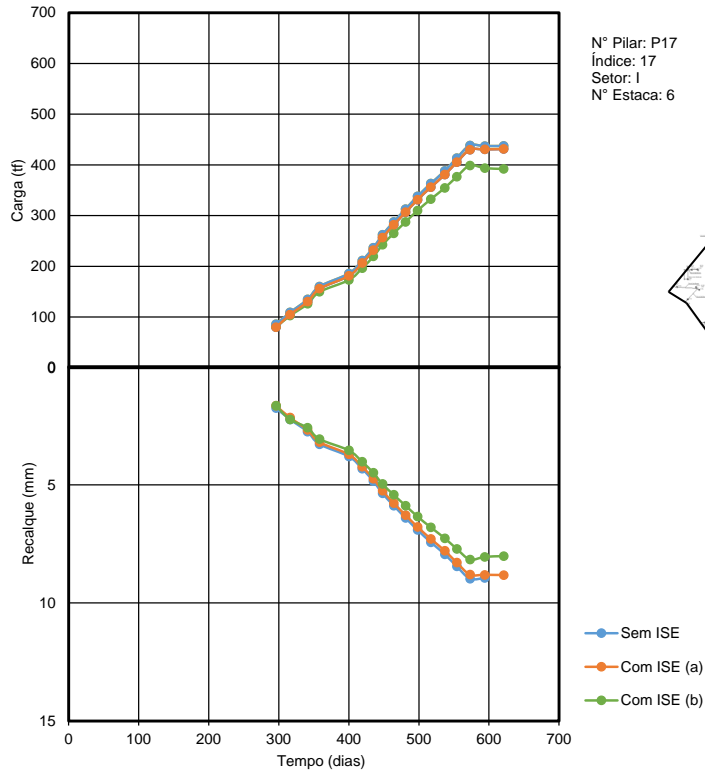
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



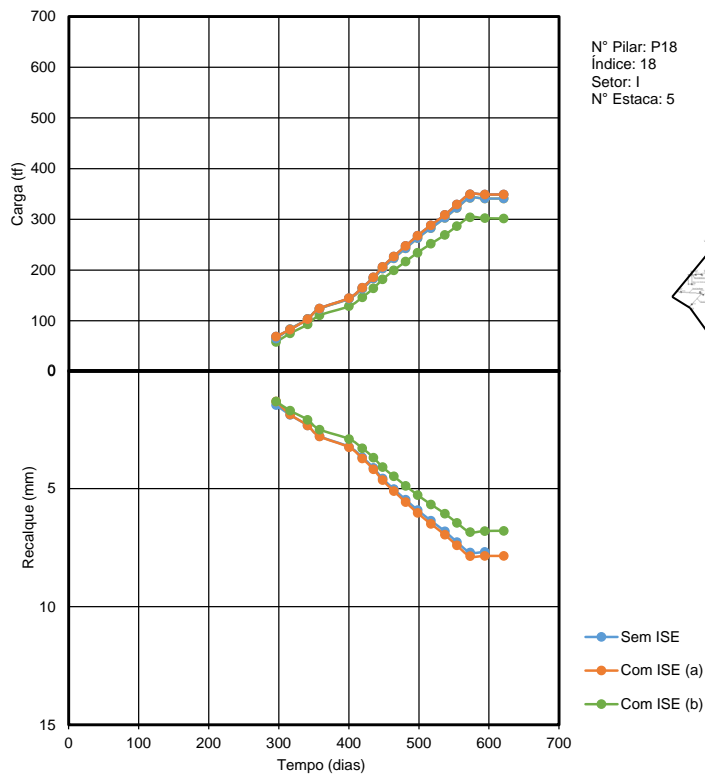
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



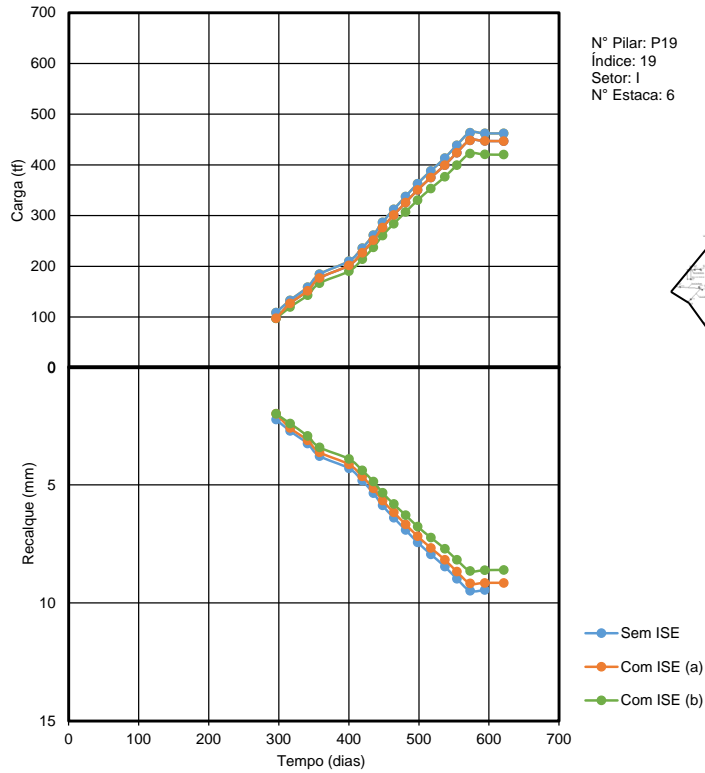
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



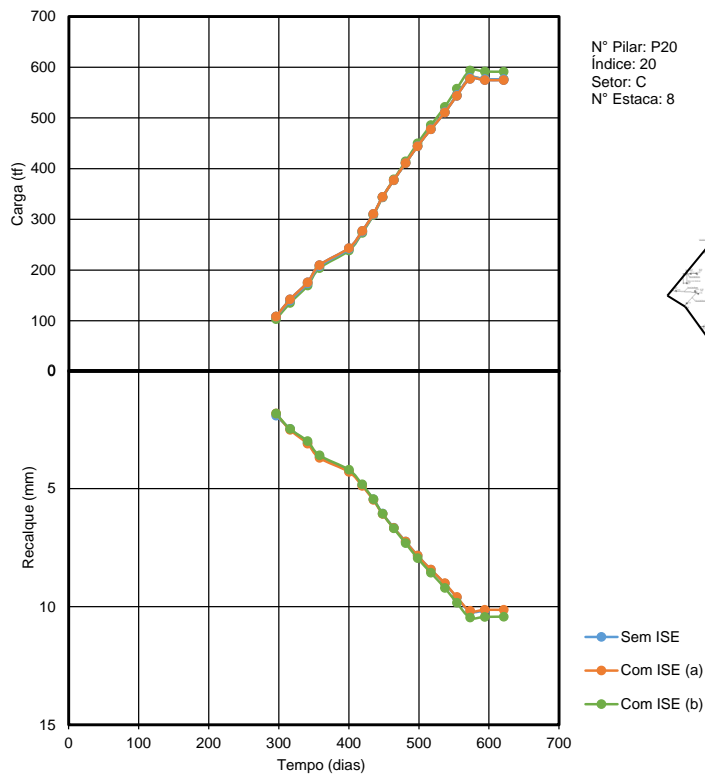
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



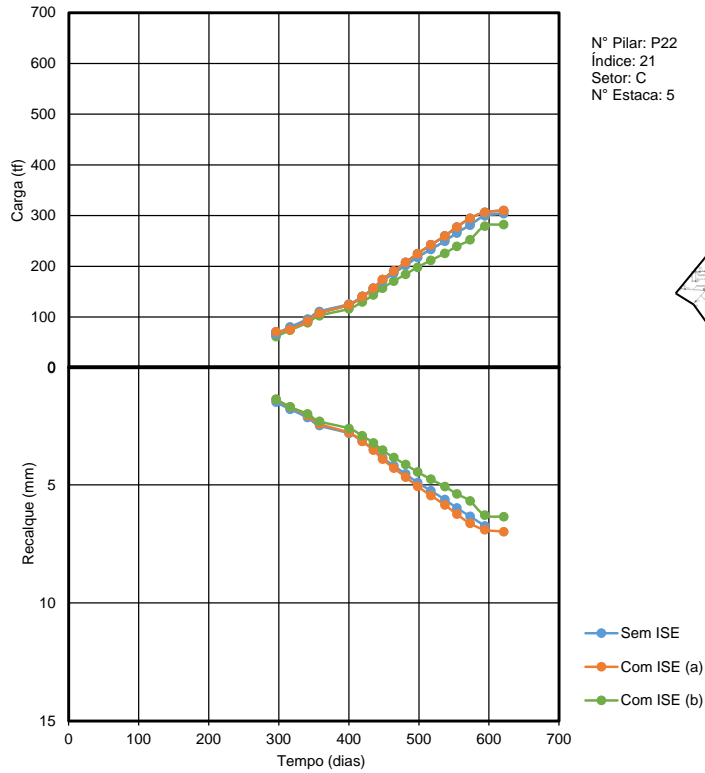
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



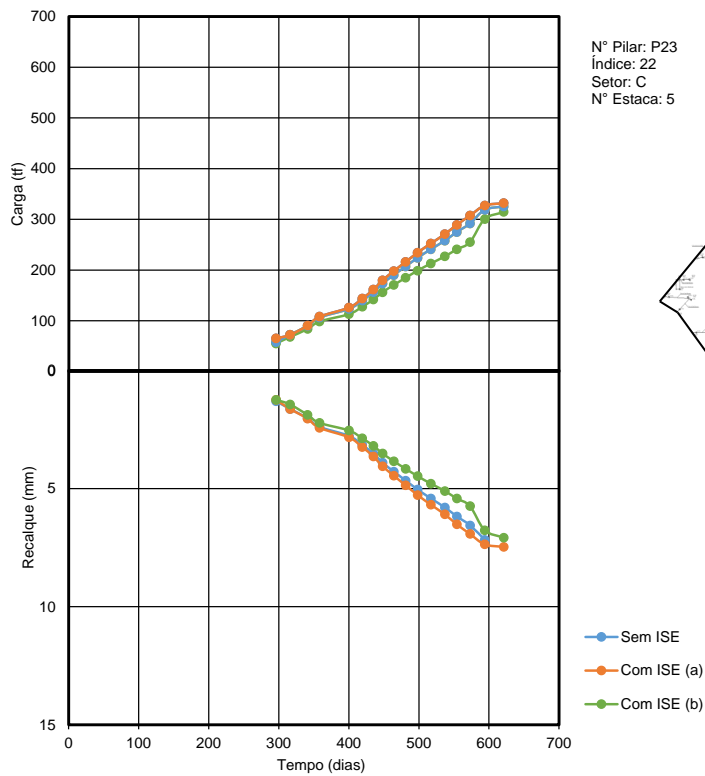
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



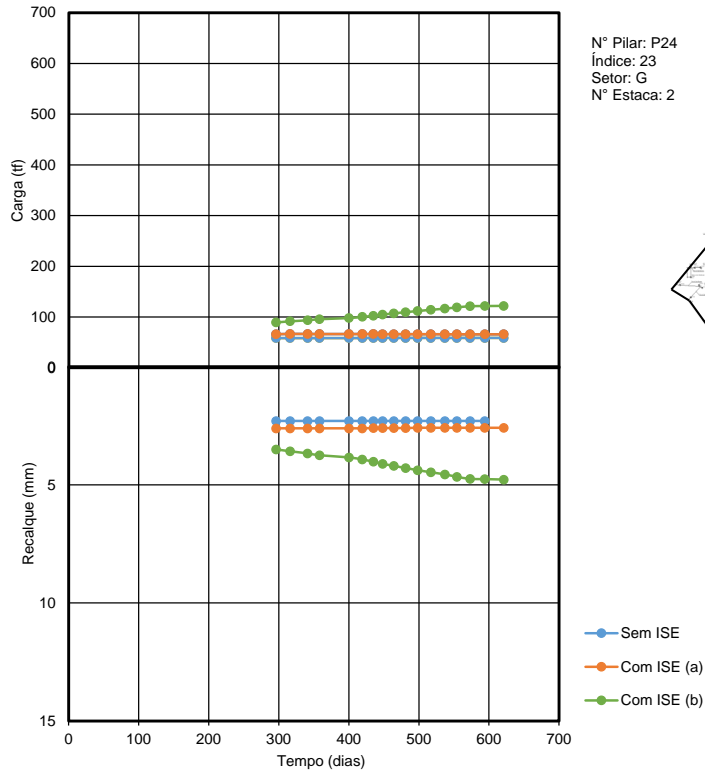
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



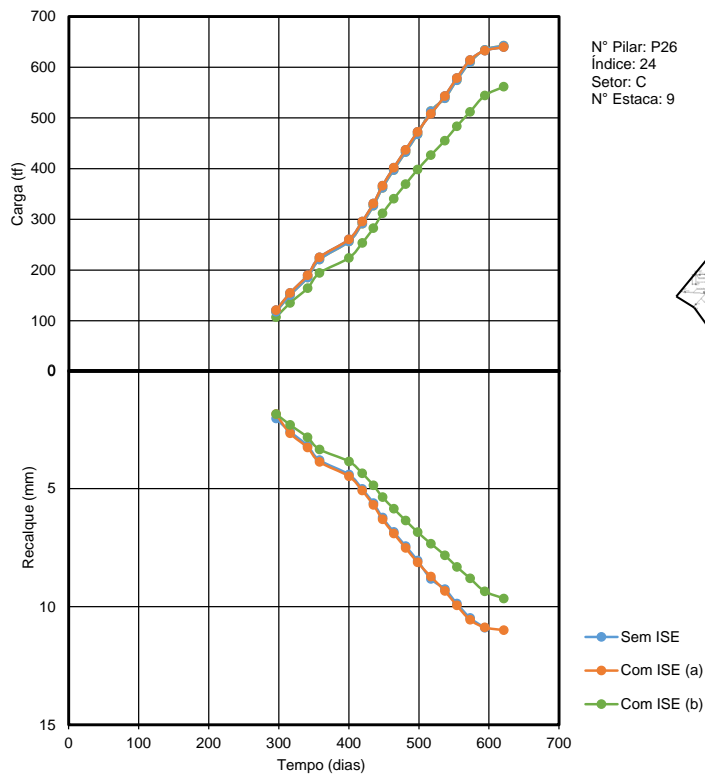
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



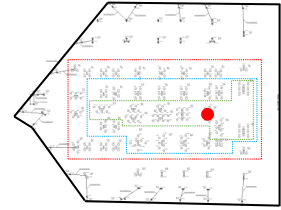
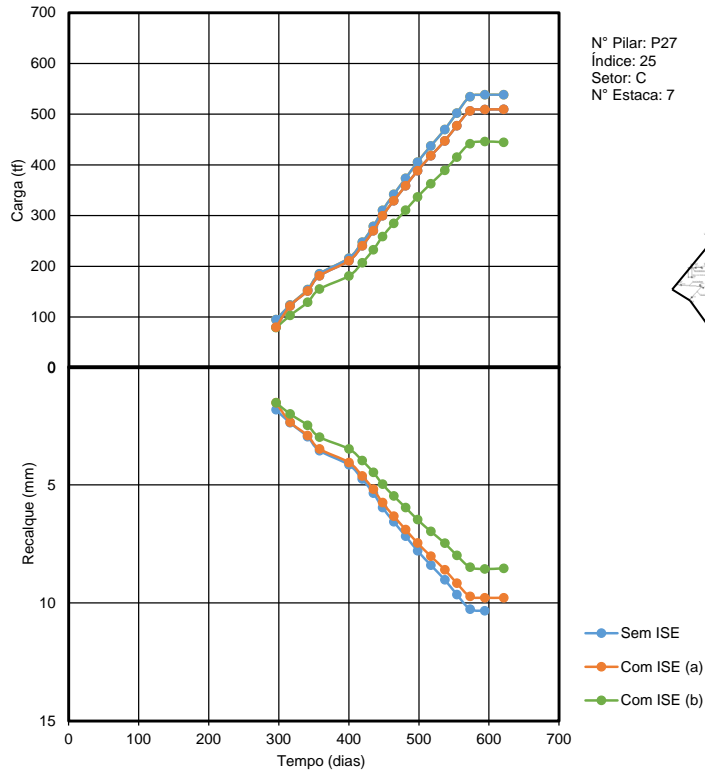
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



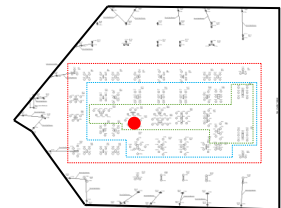
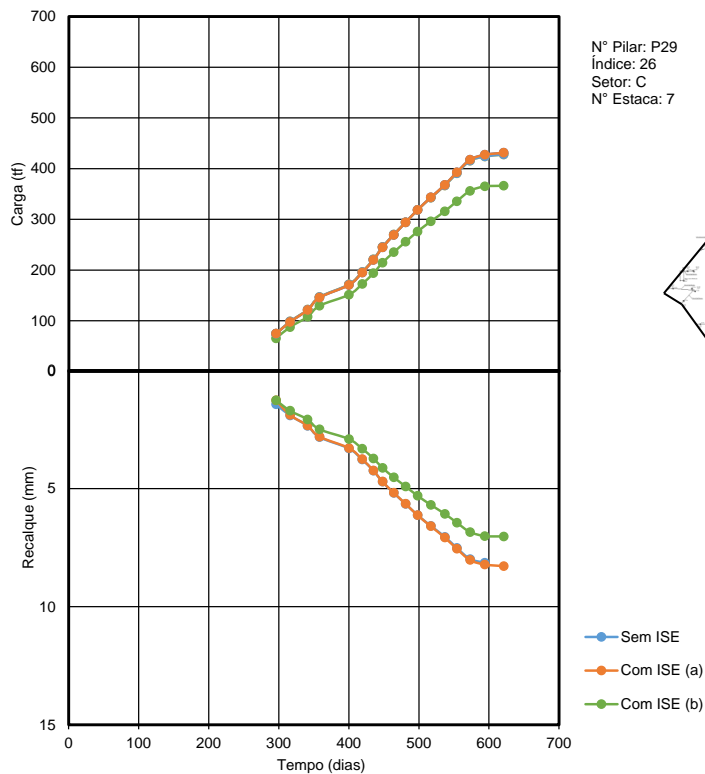
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



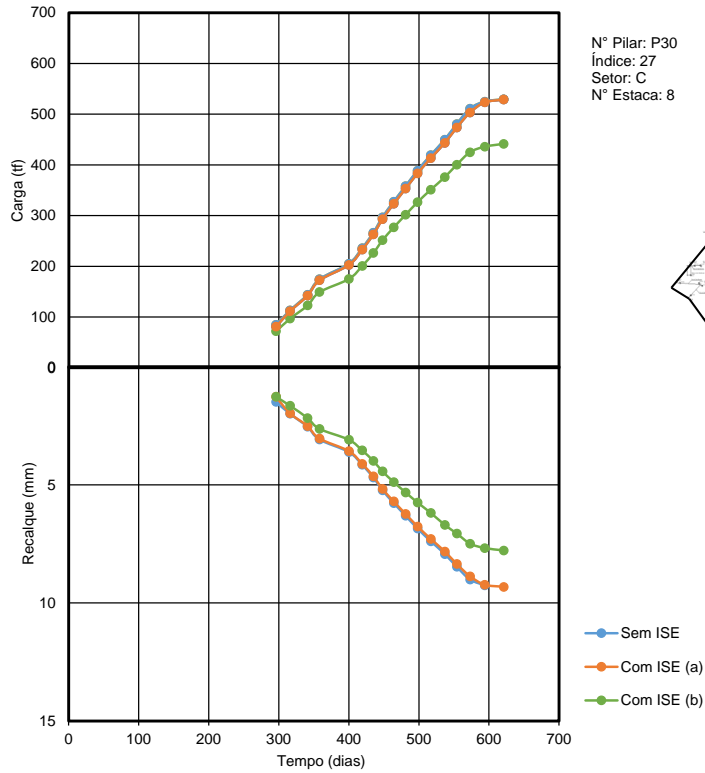
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



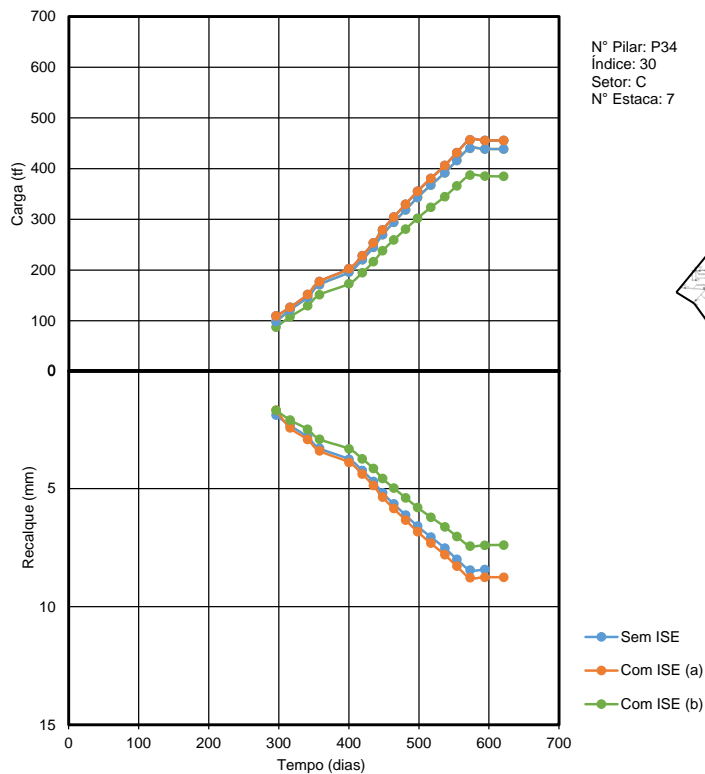
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



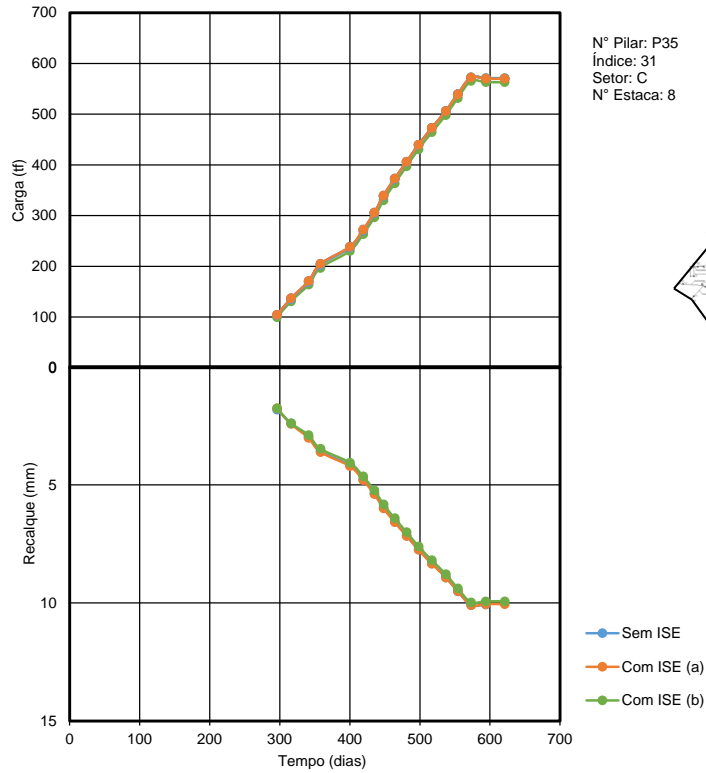
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



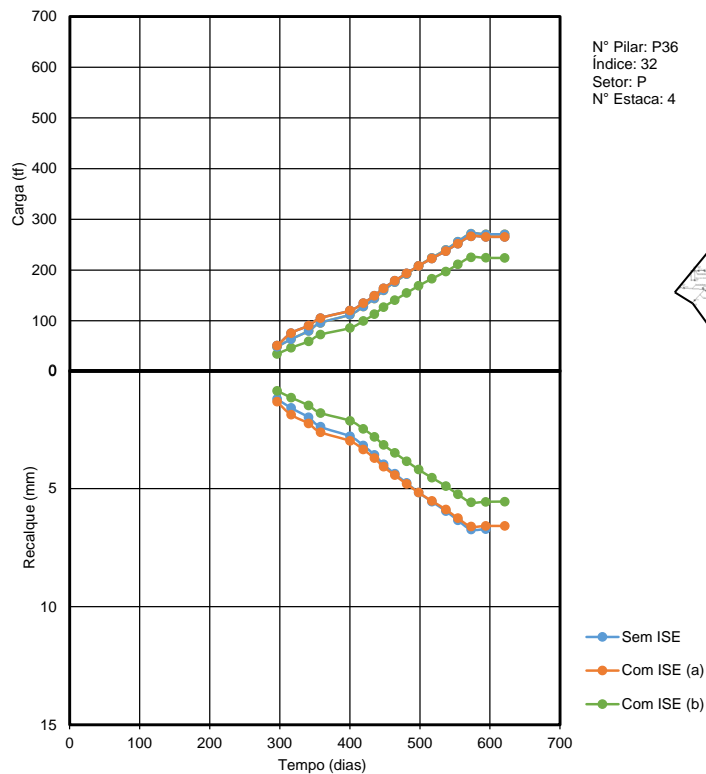
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



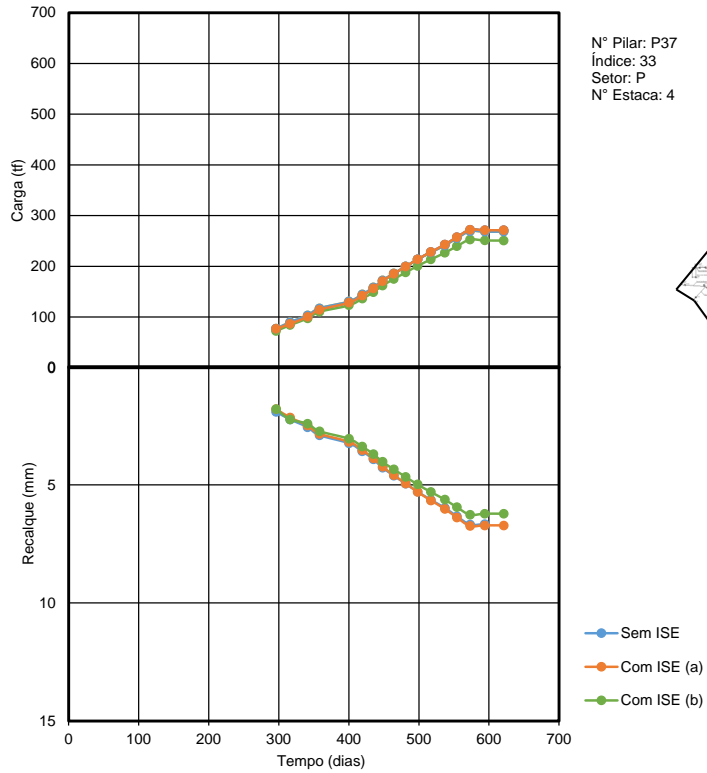
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



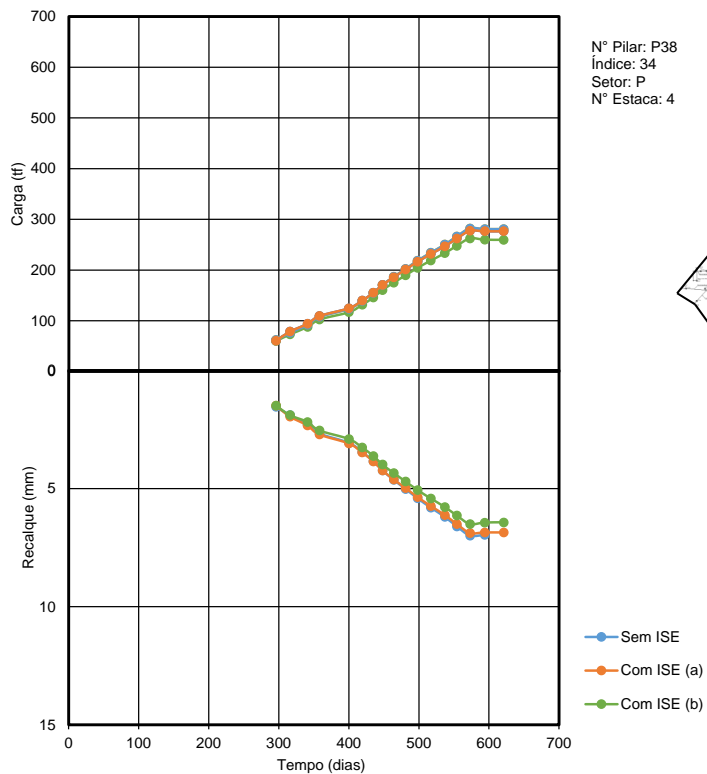
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



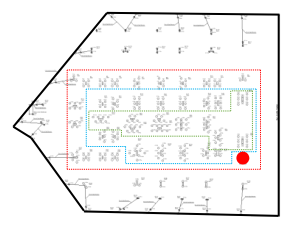
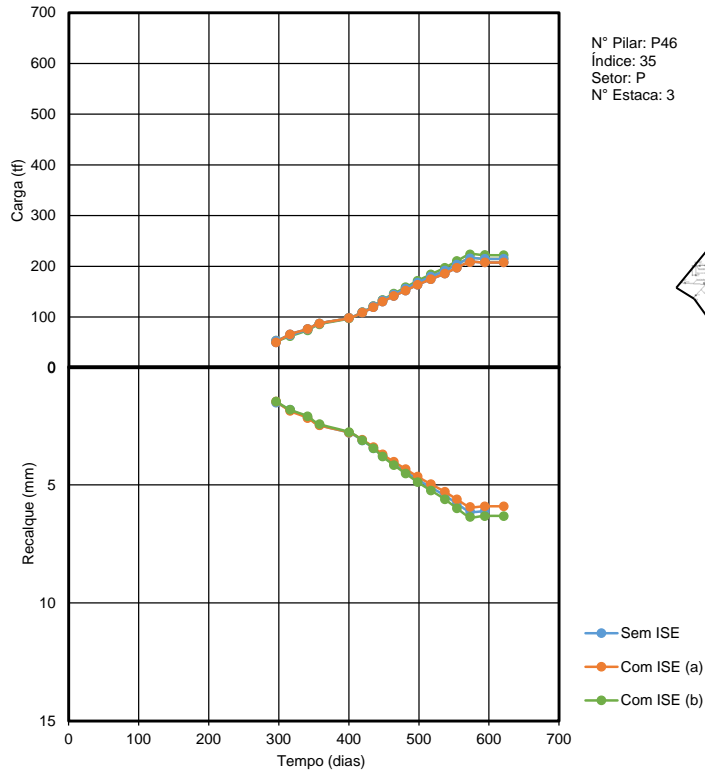
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



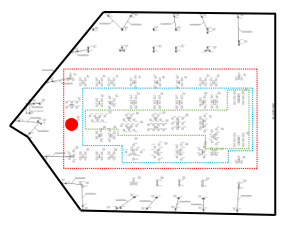
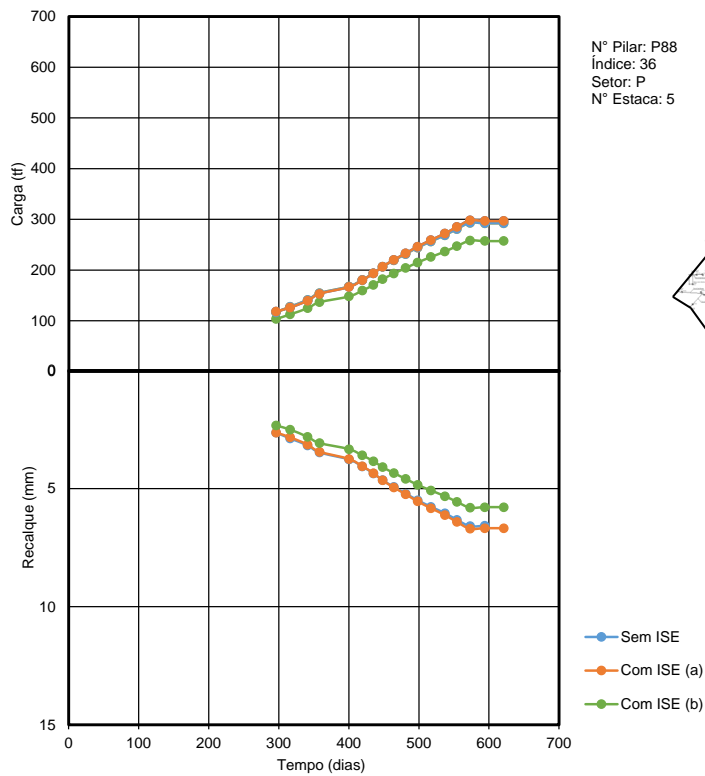
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



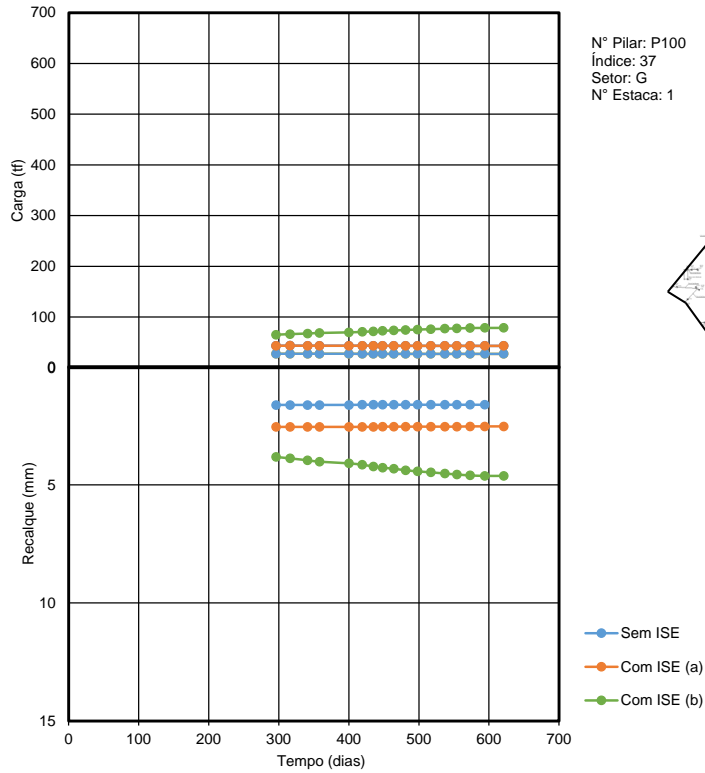
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



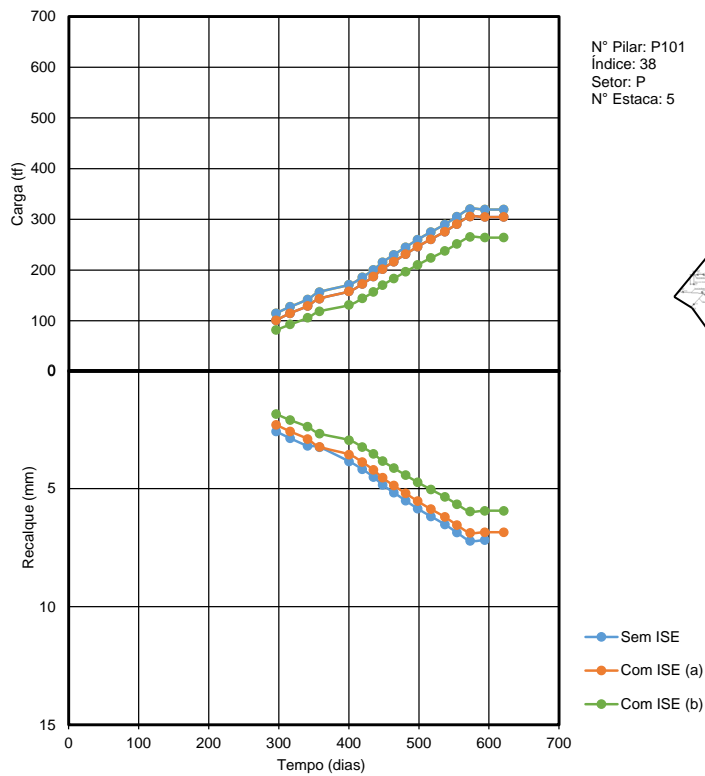
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



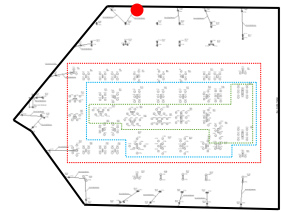
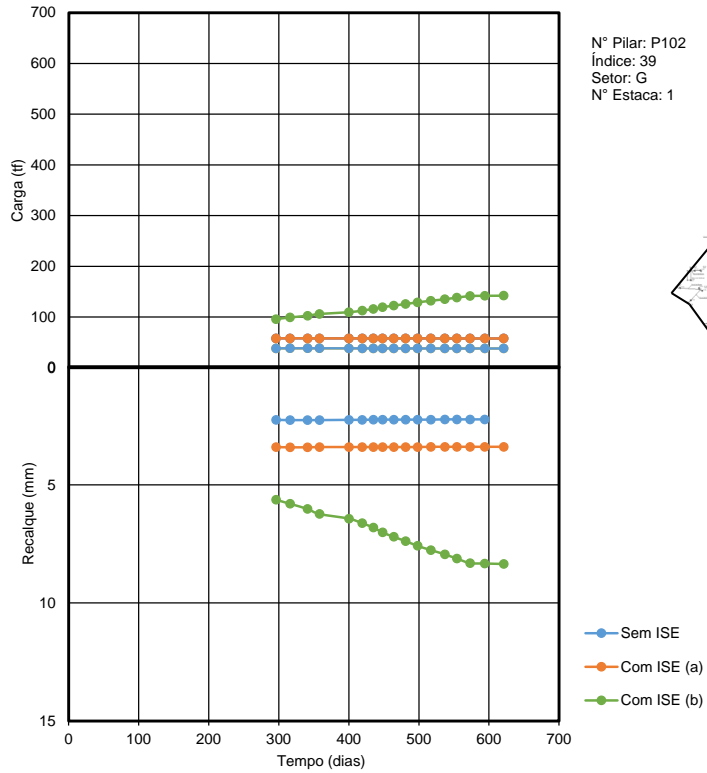
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



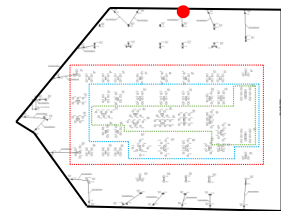
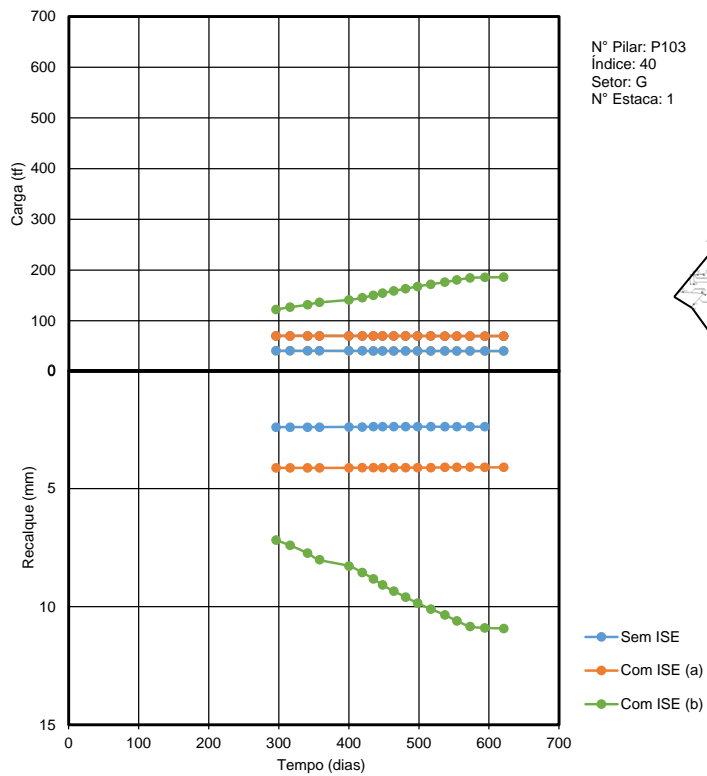
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



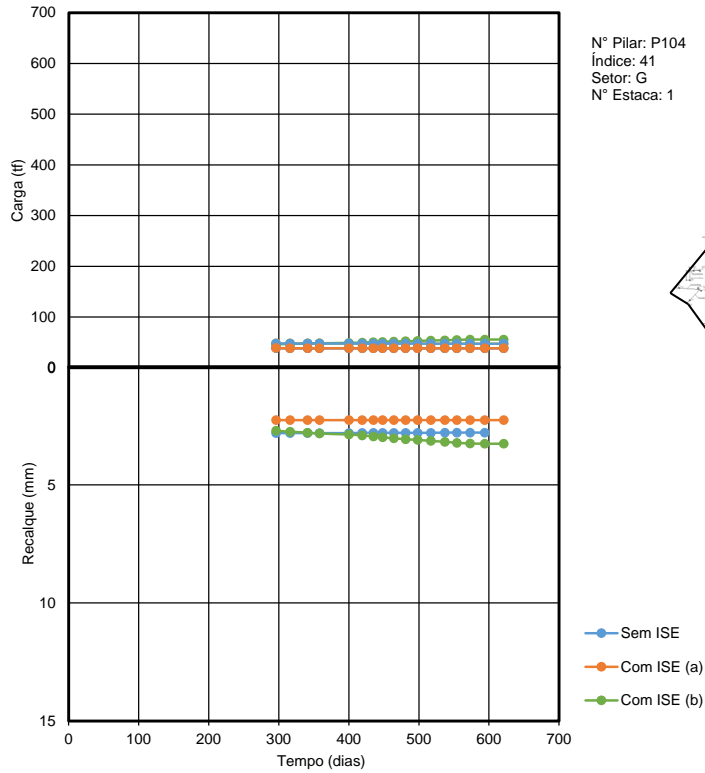
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



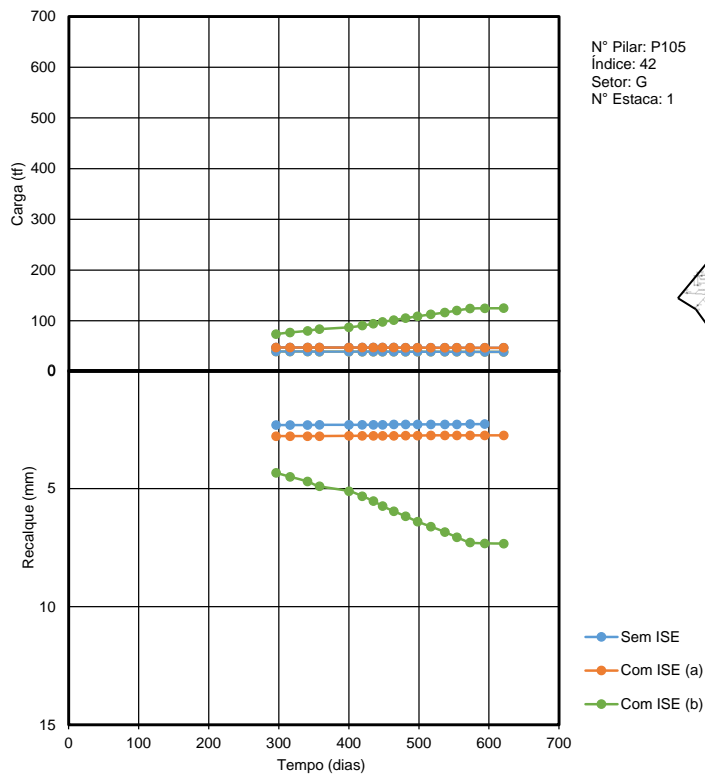
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



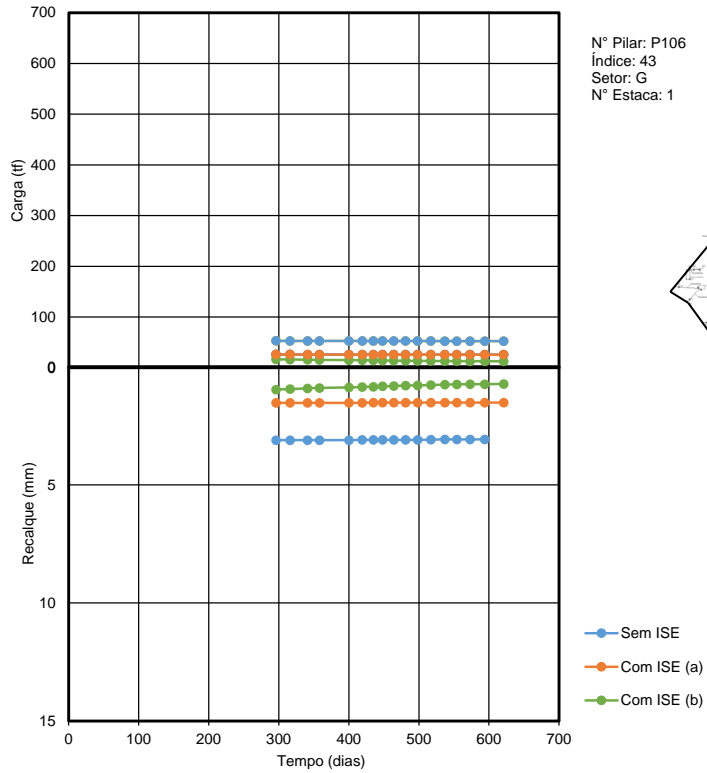
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



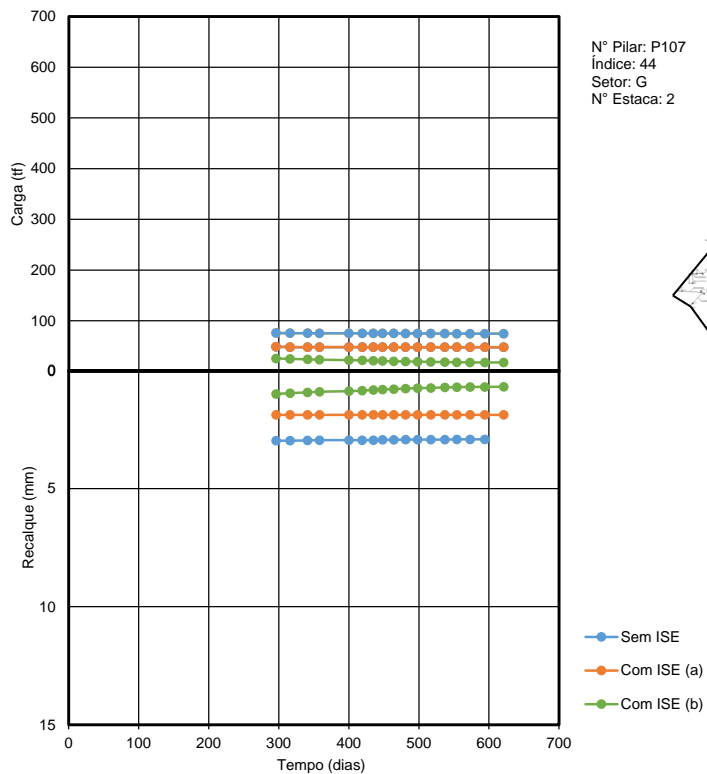
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



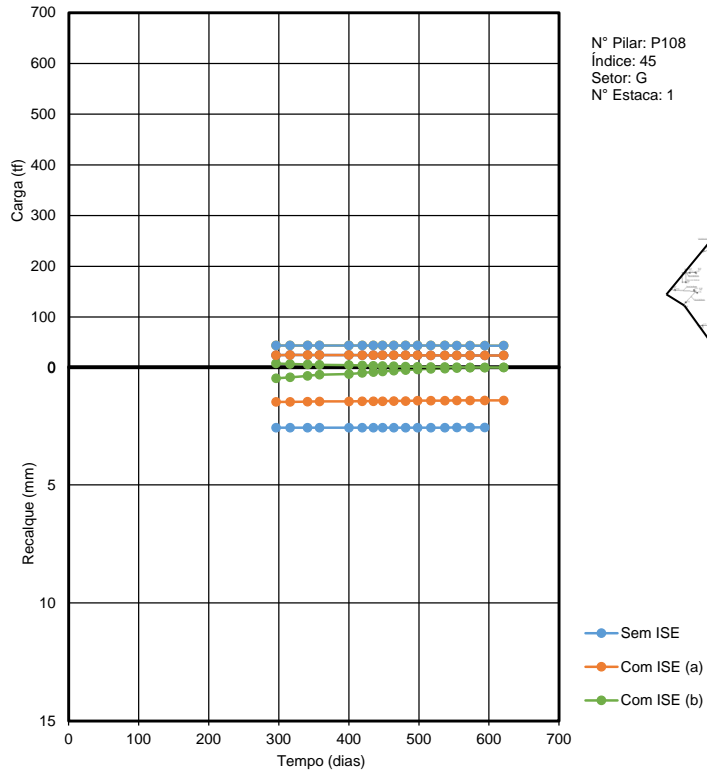
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



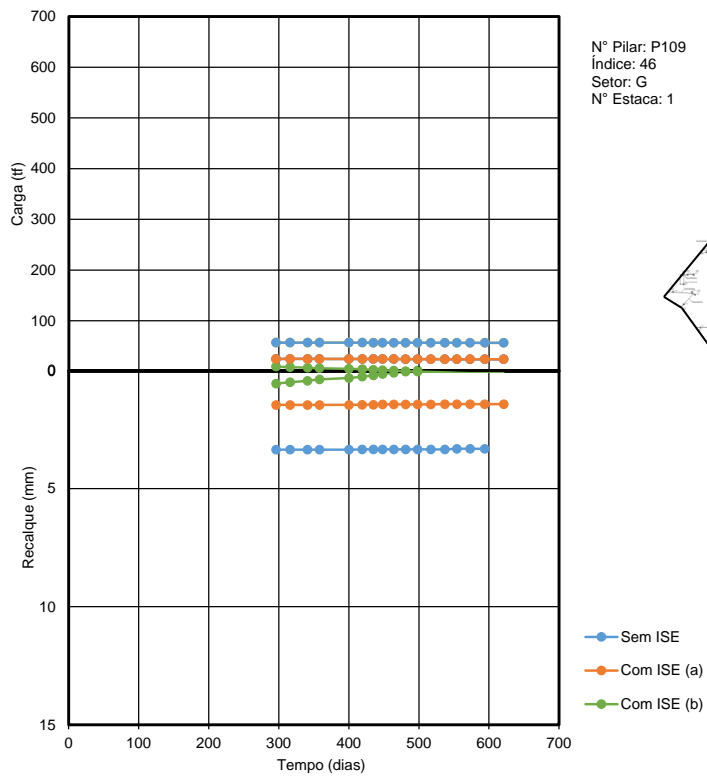
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



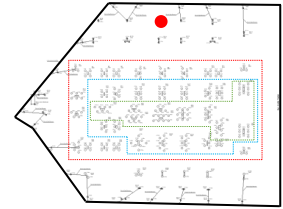
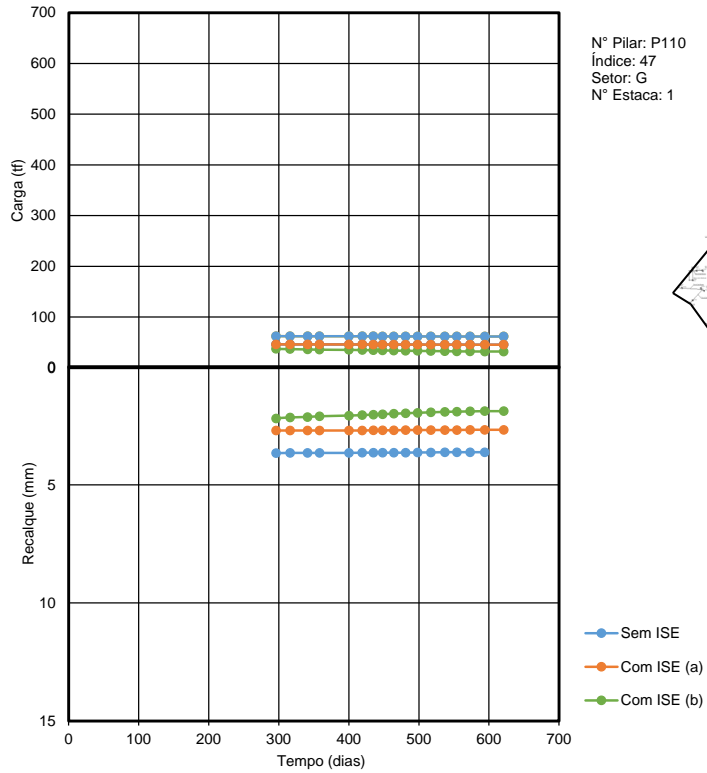
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



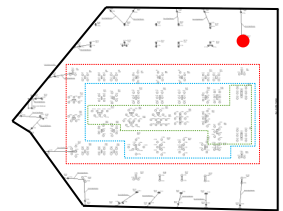
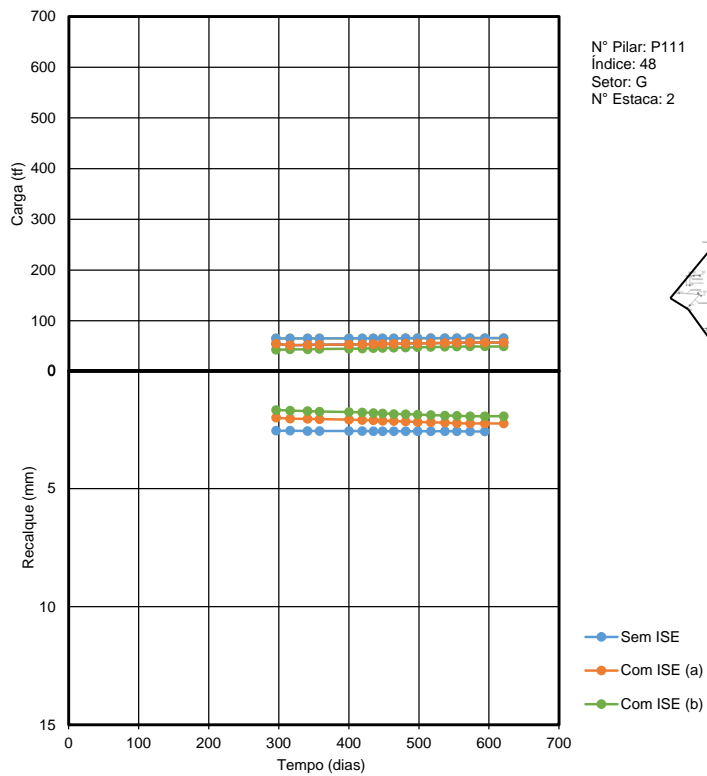
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



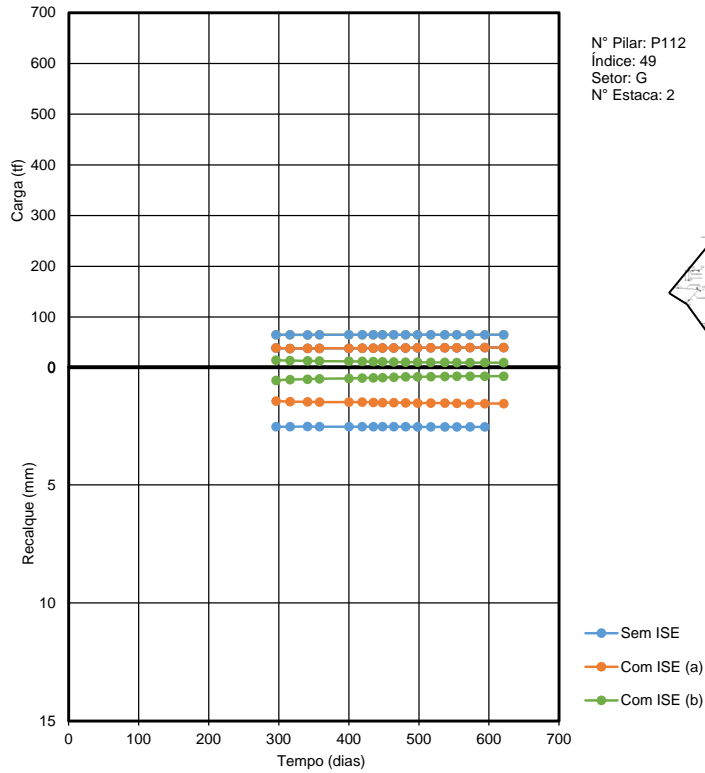
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
 Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



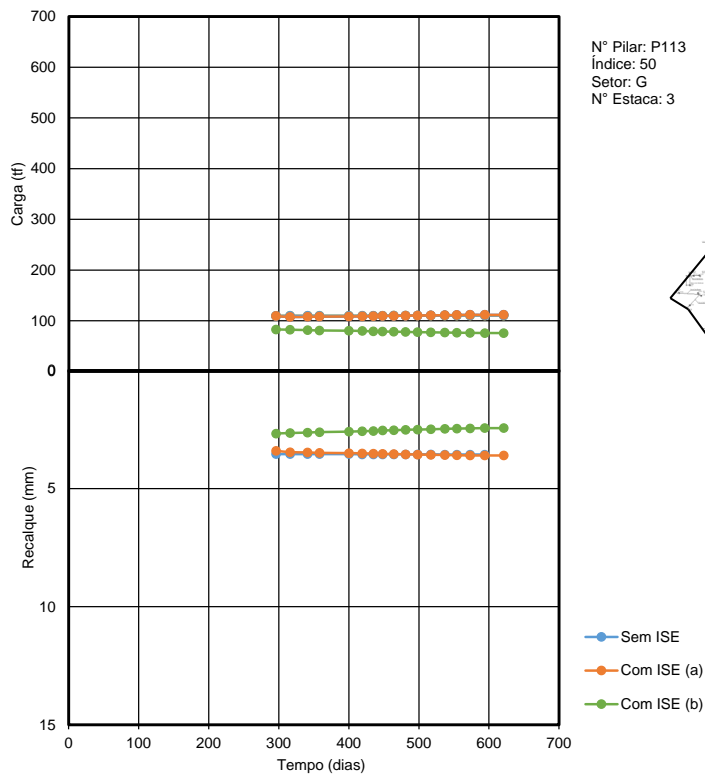
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
 Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



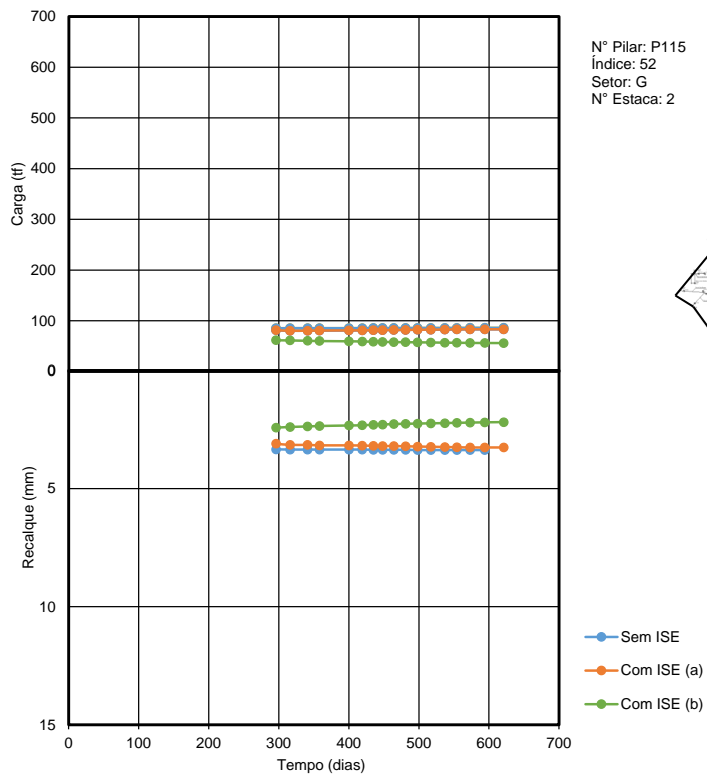
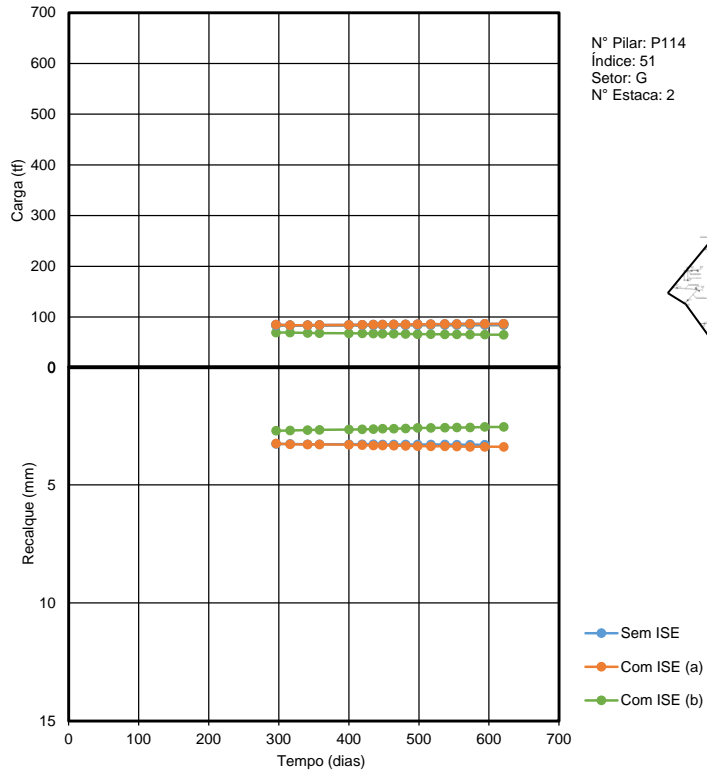
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

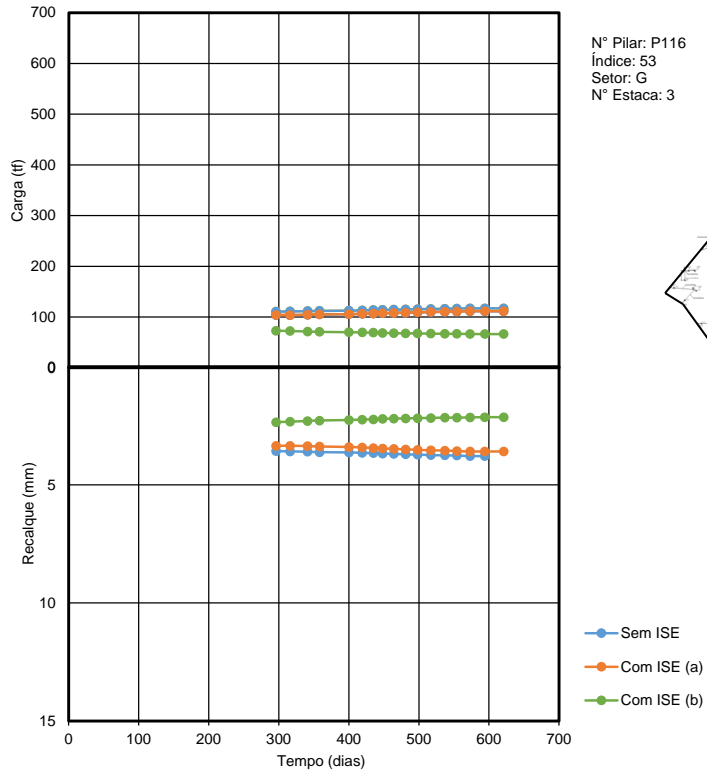
C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

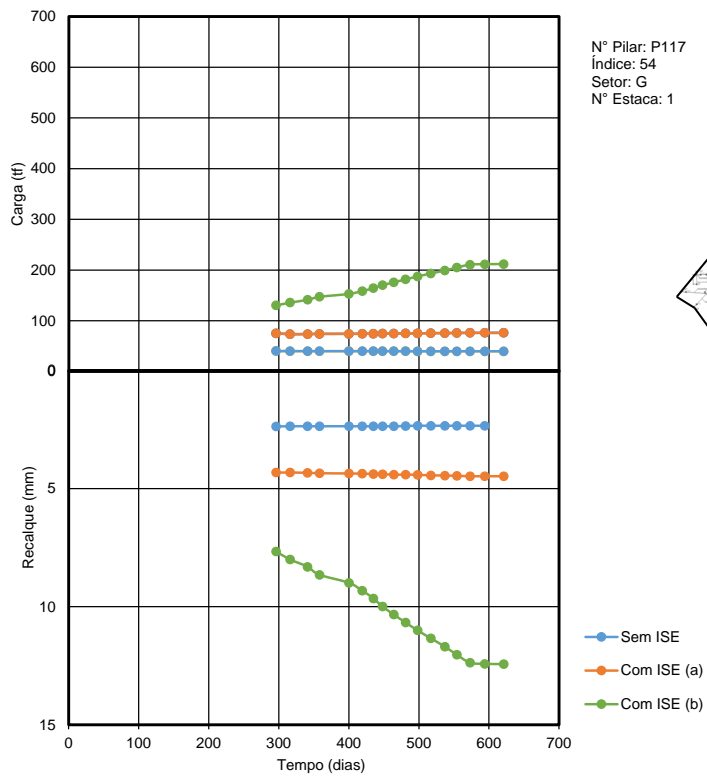
C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio





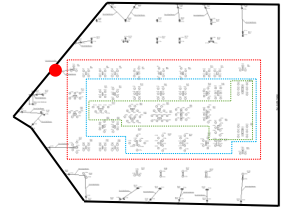
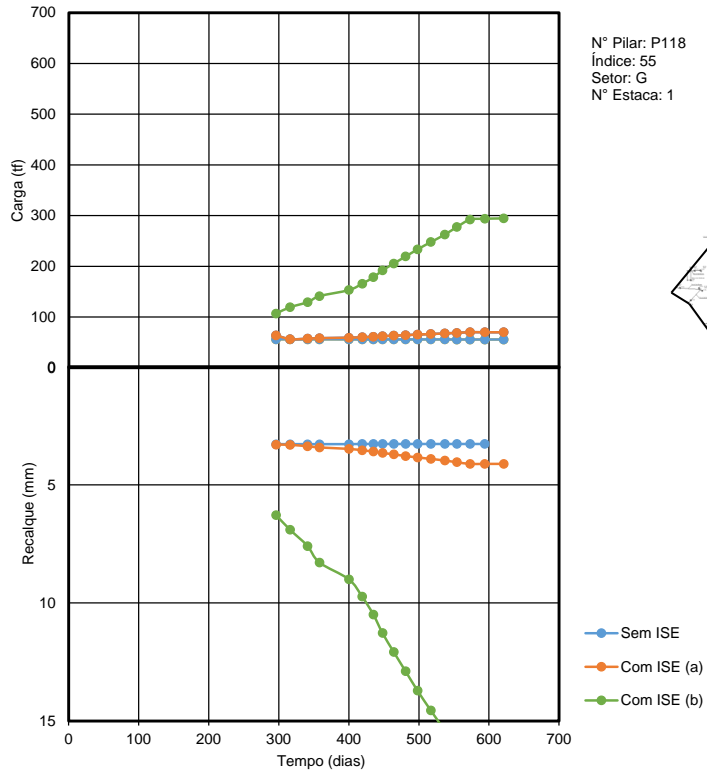
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



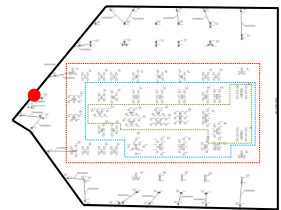
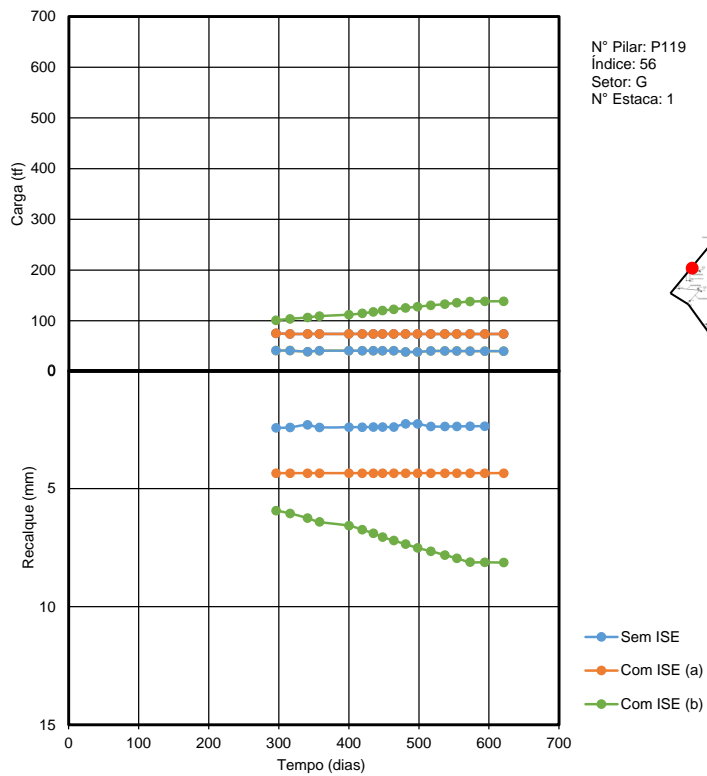
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



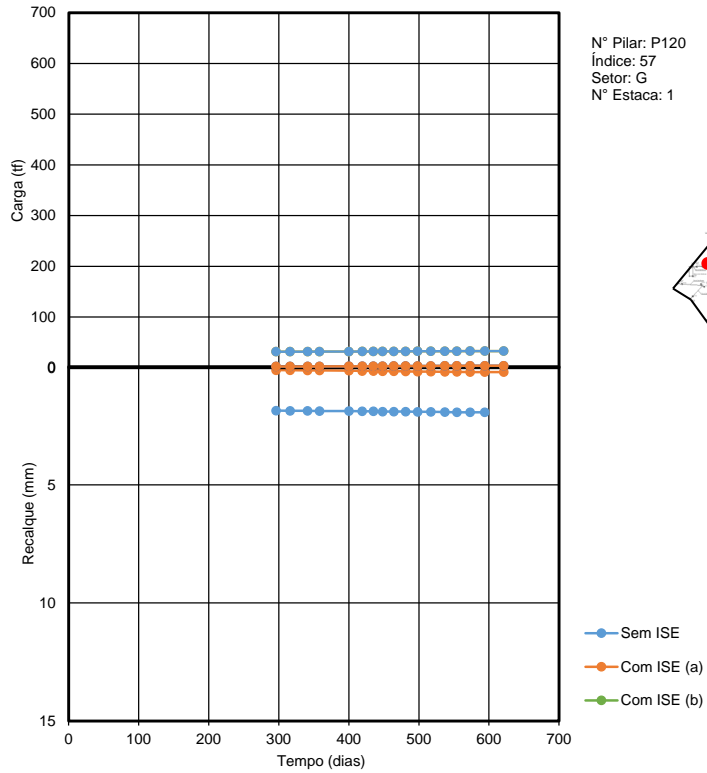
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



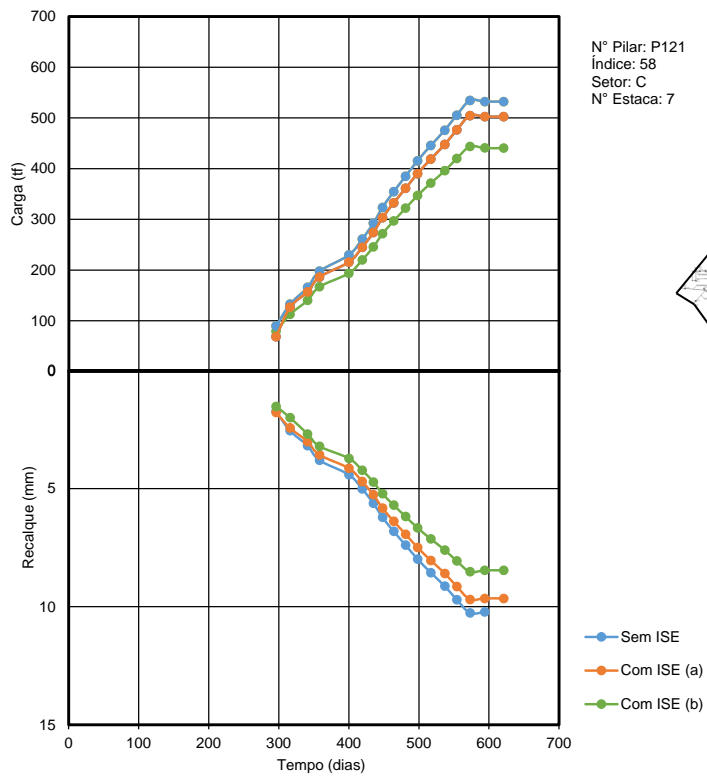
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



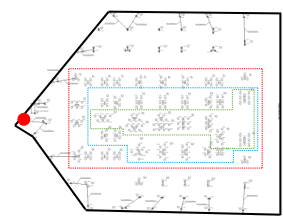
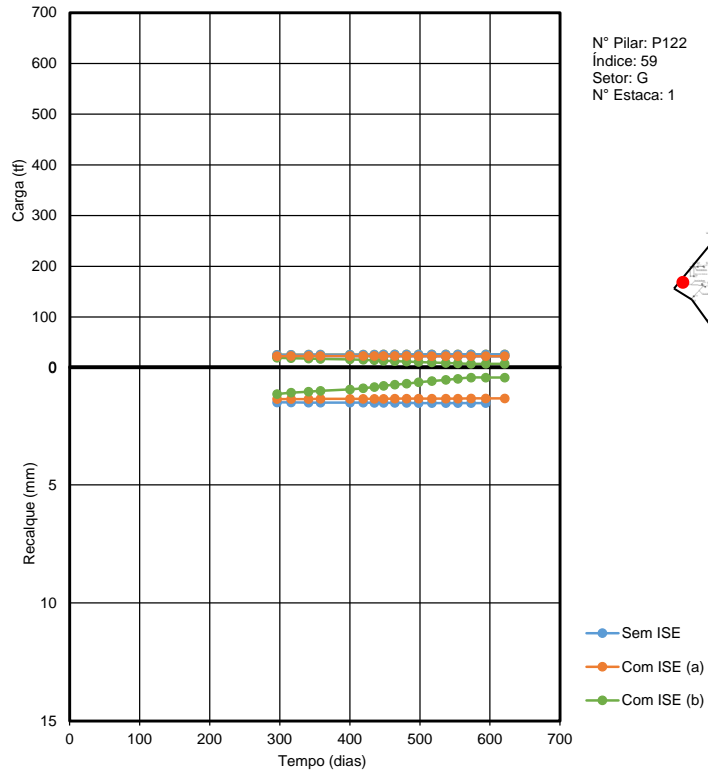
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



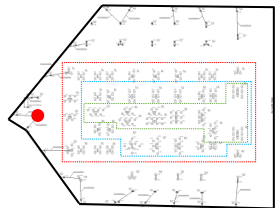
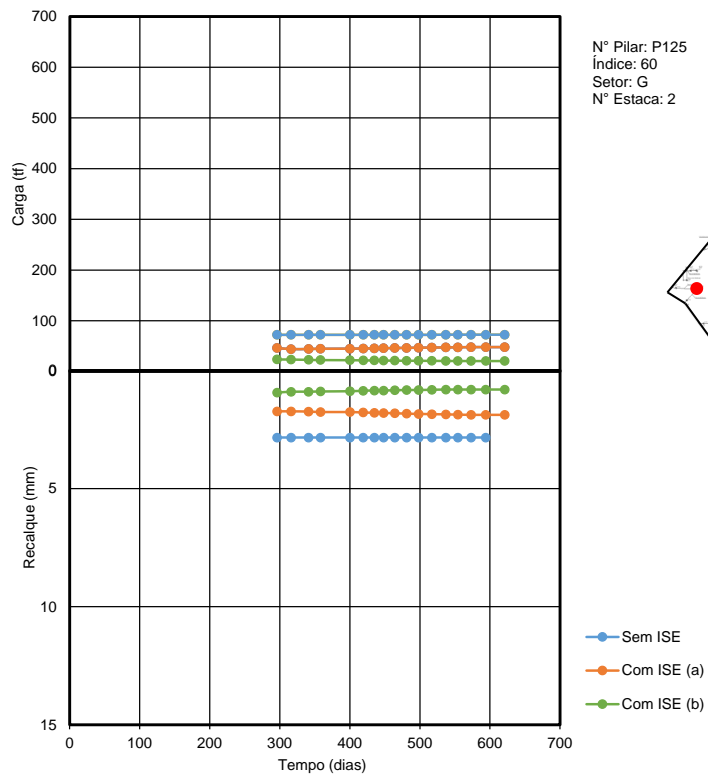
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



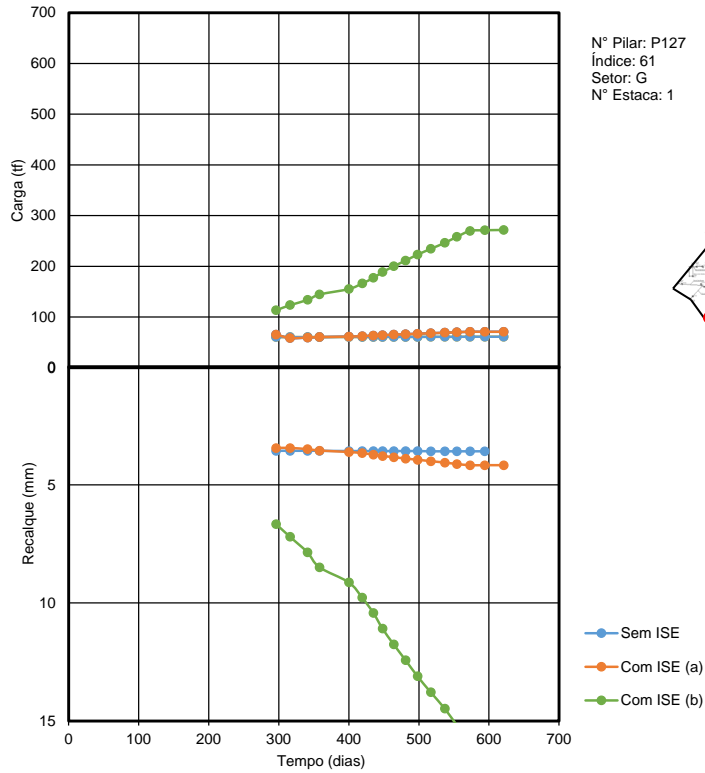
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



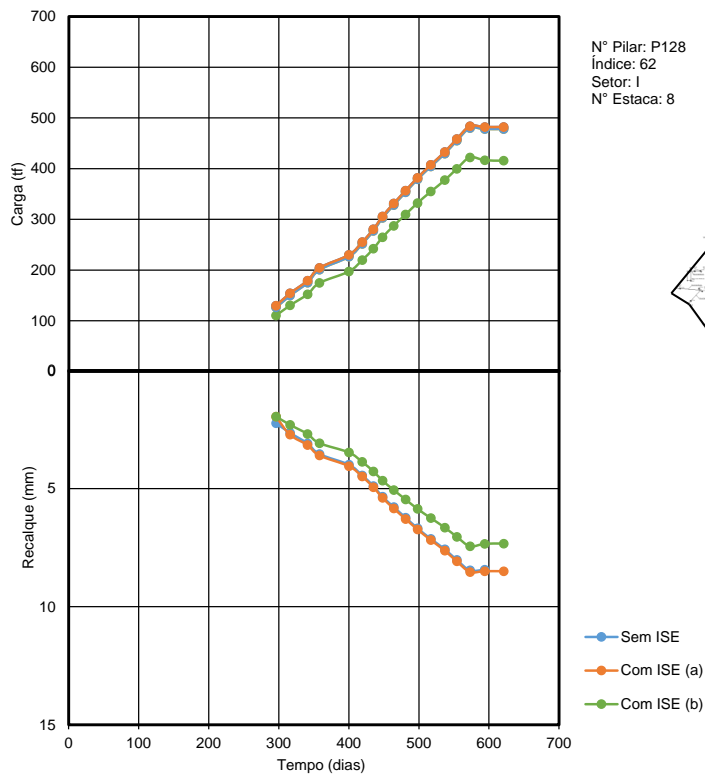
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



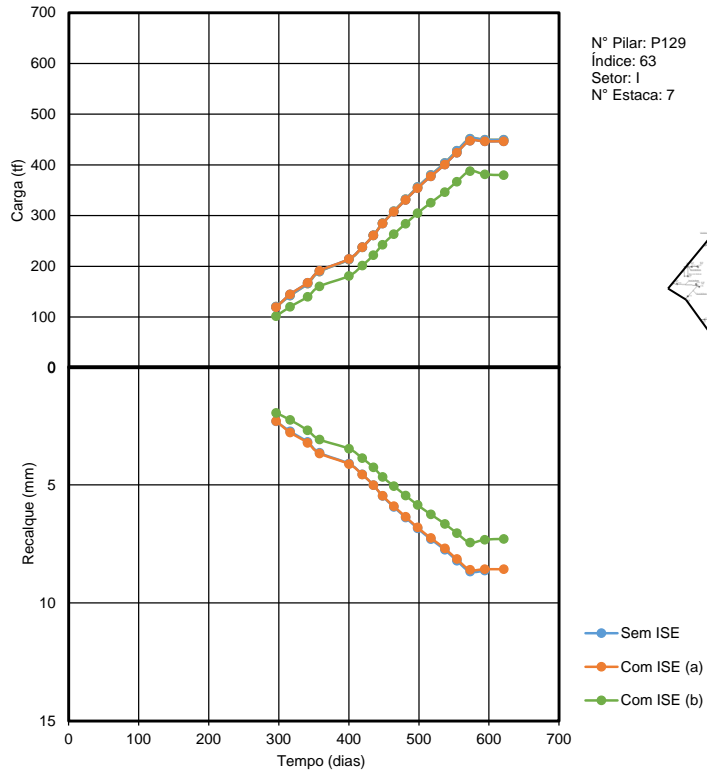
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



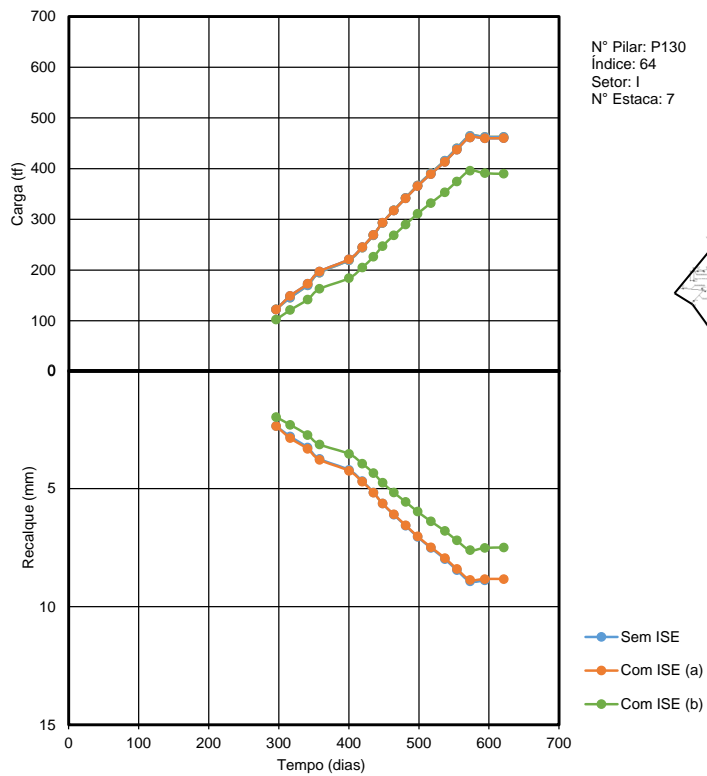
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



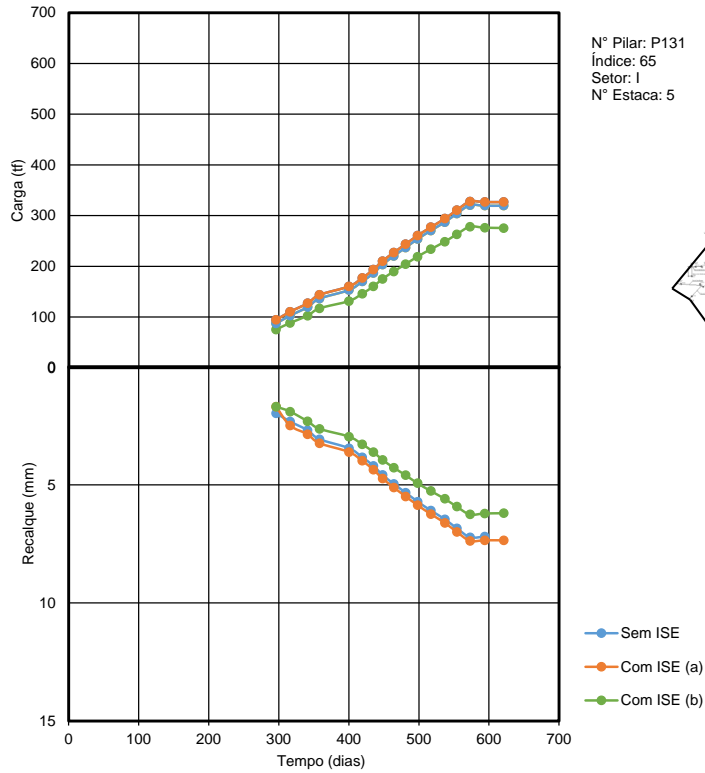
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



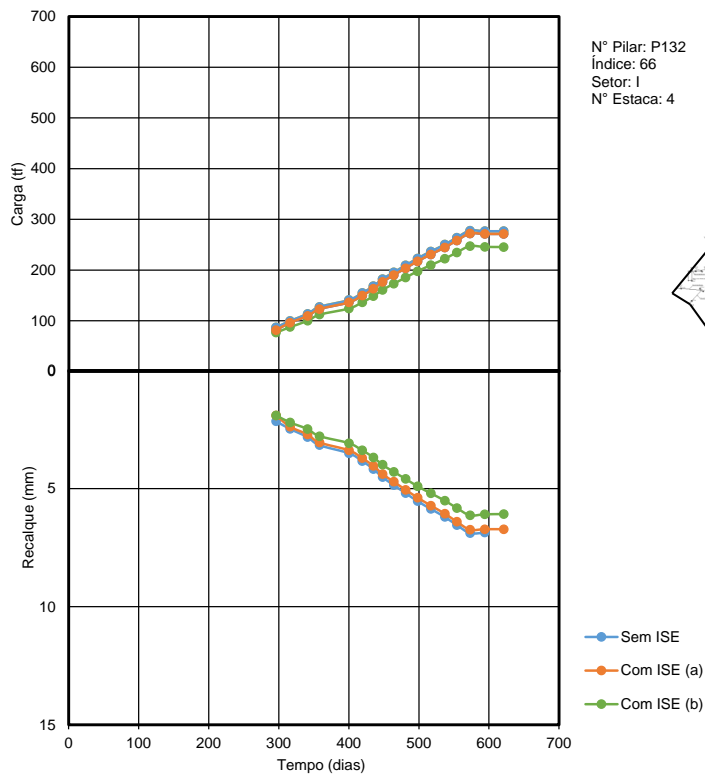
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



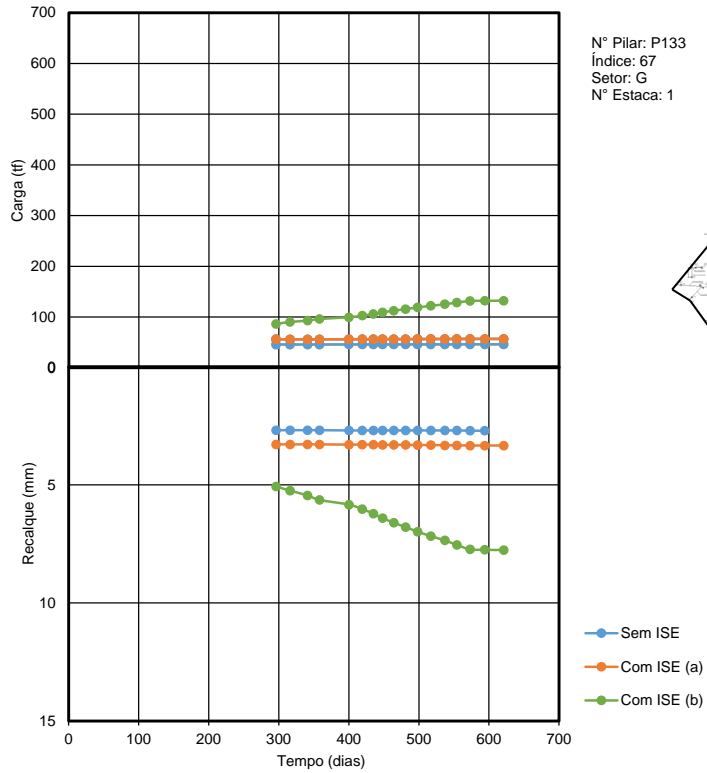
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



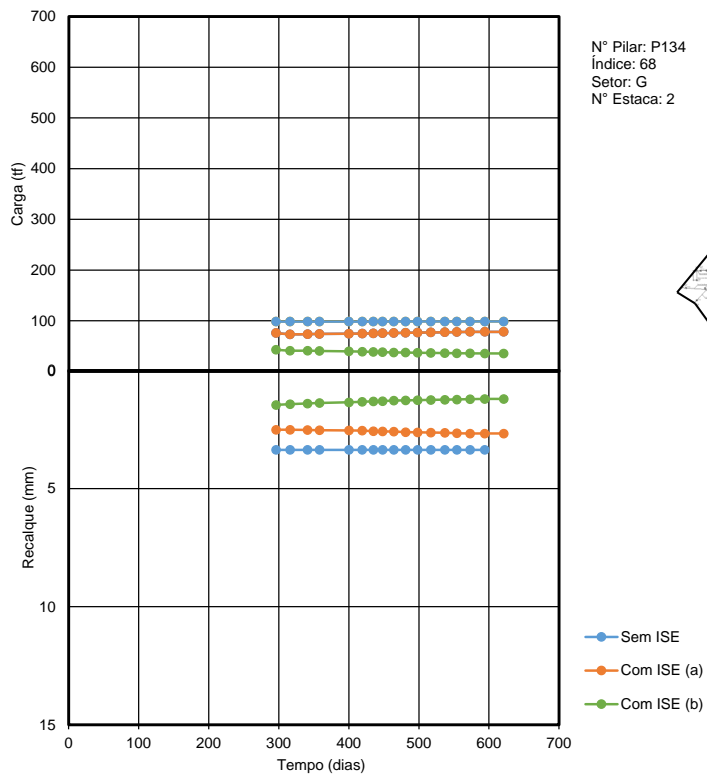
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



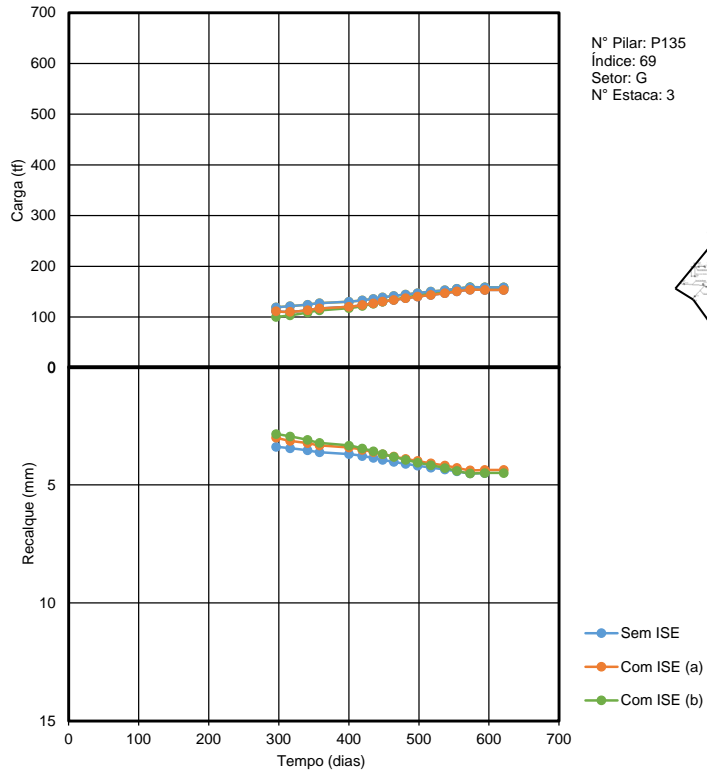
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
 Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



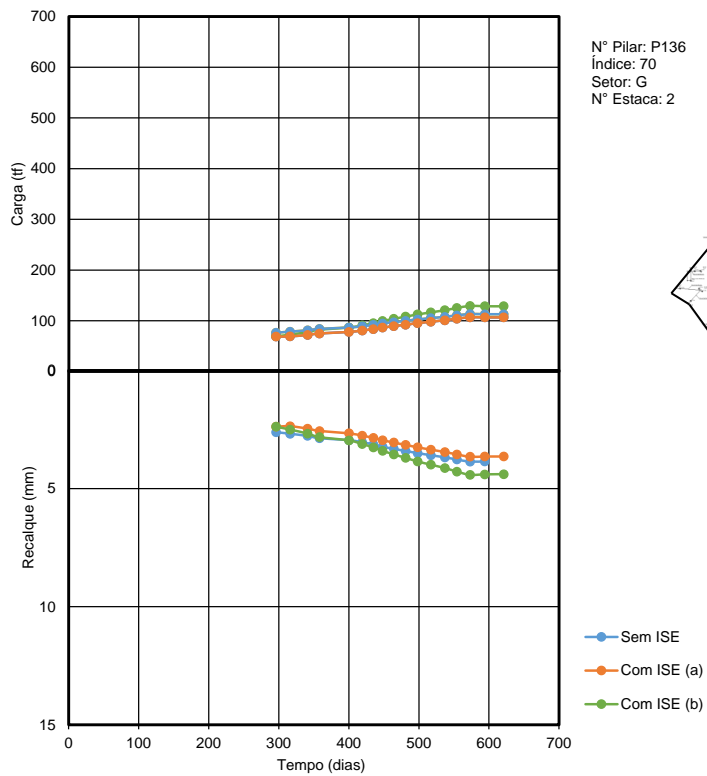
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
 Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



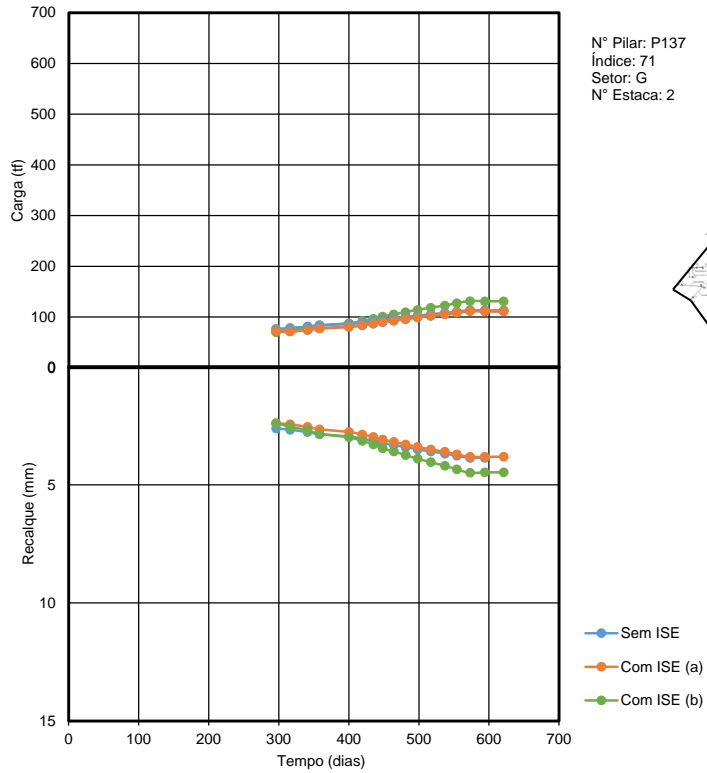
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



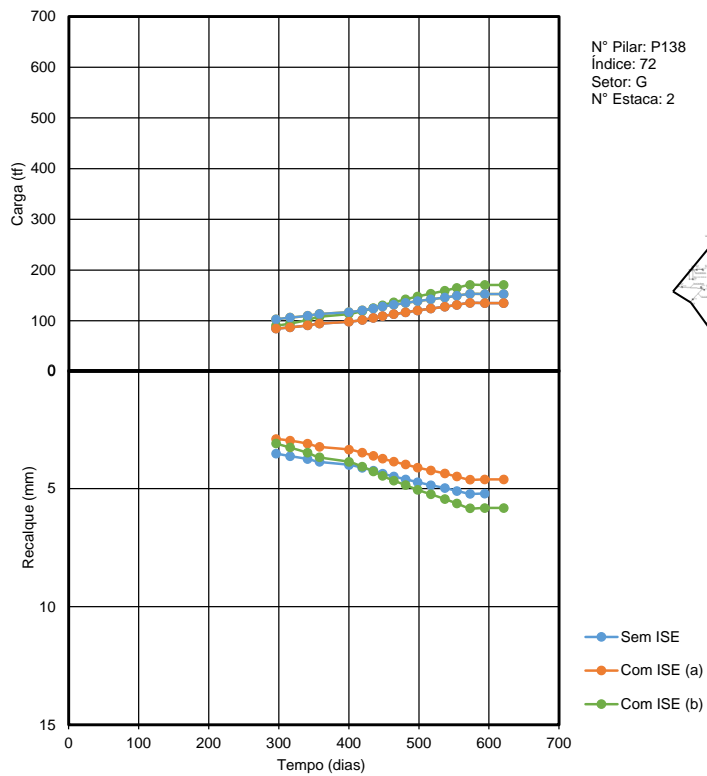
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



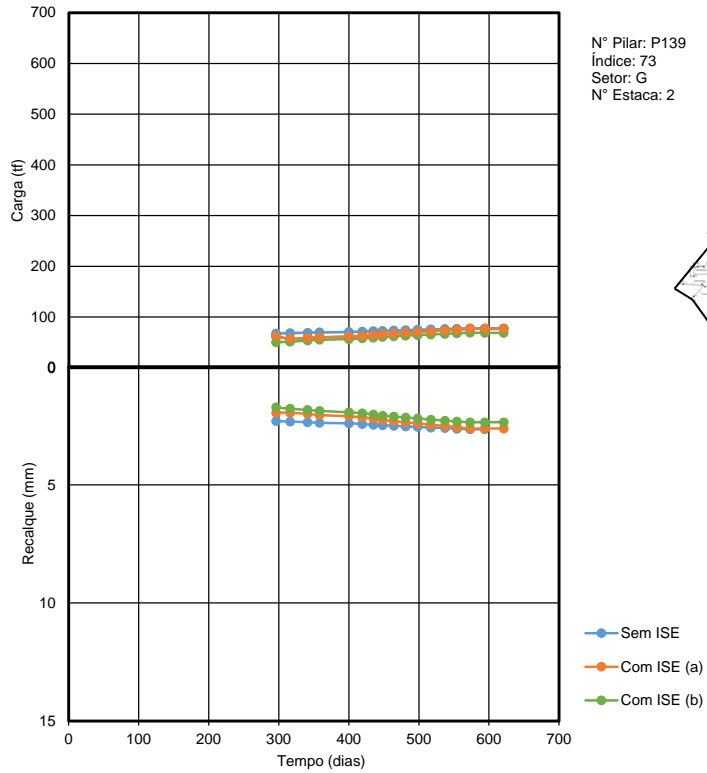
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



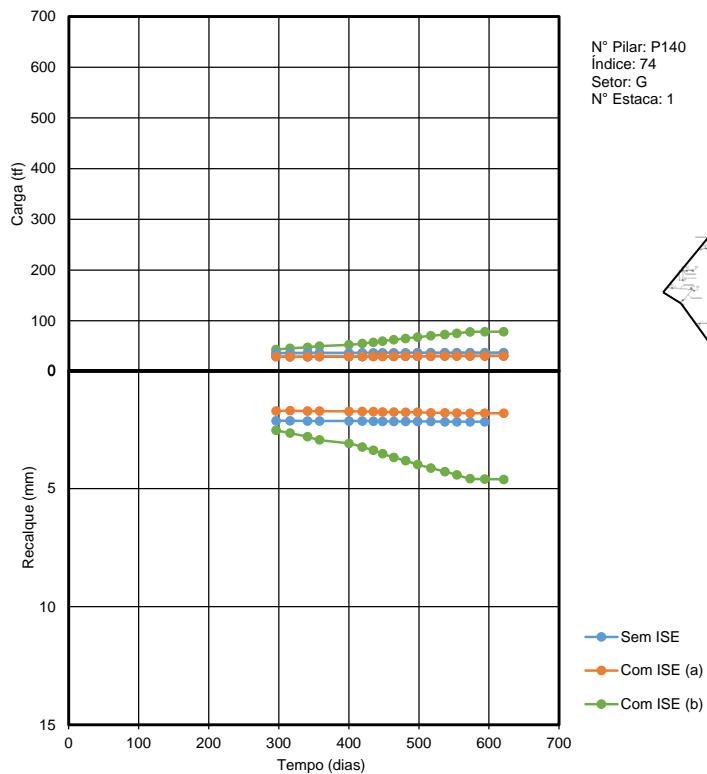
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



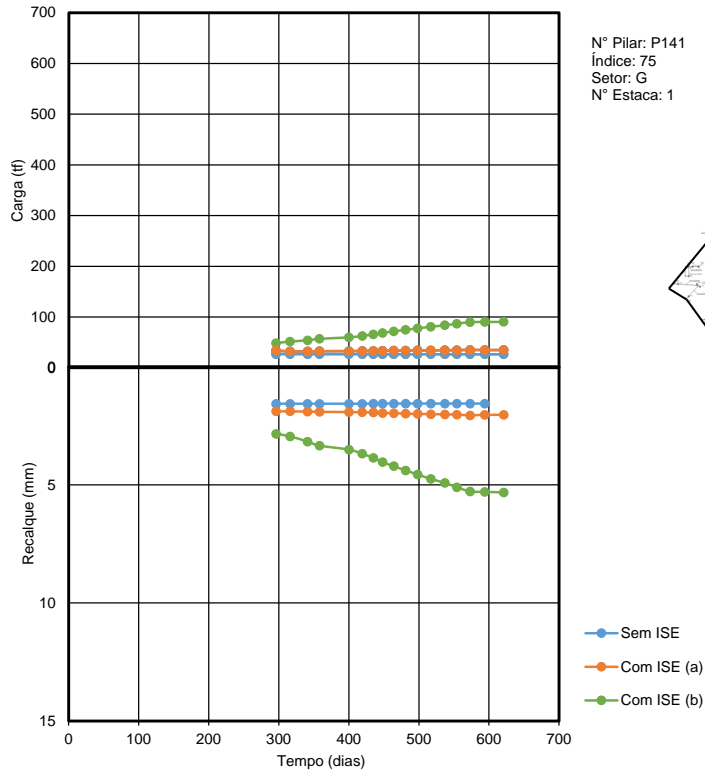
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



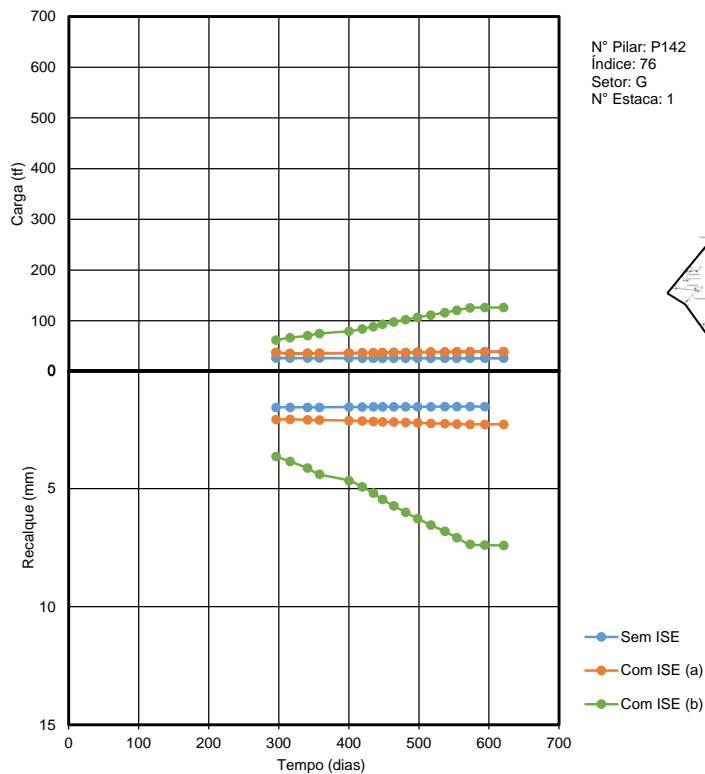
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



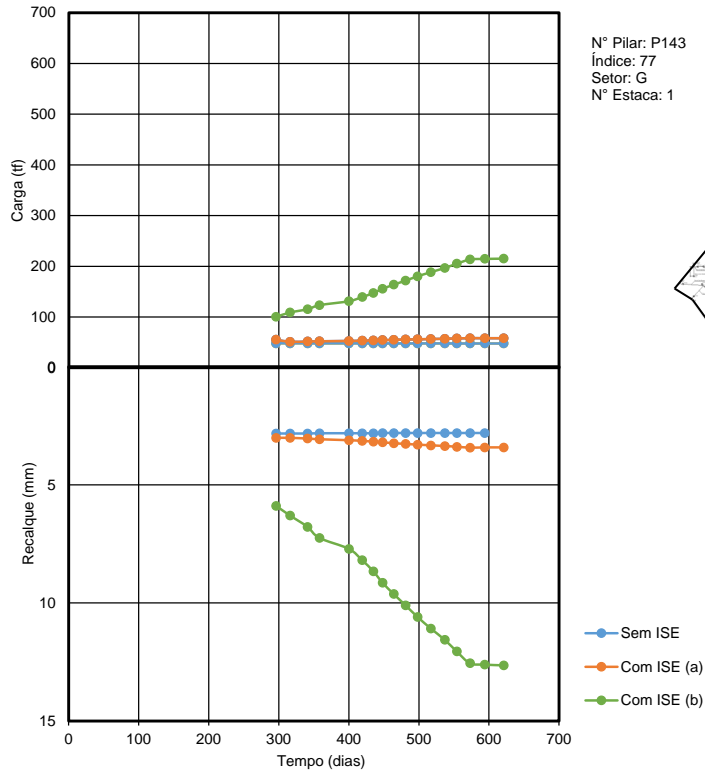
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
 Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



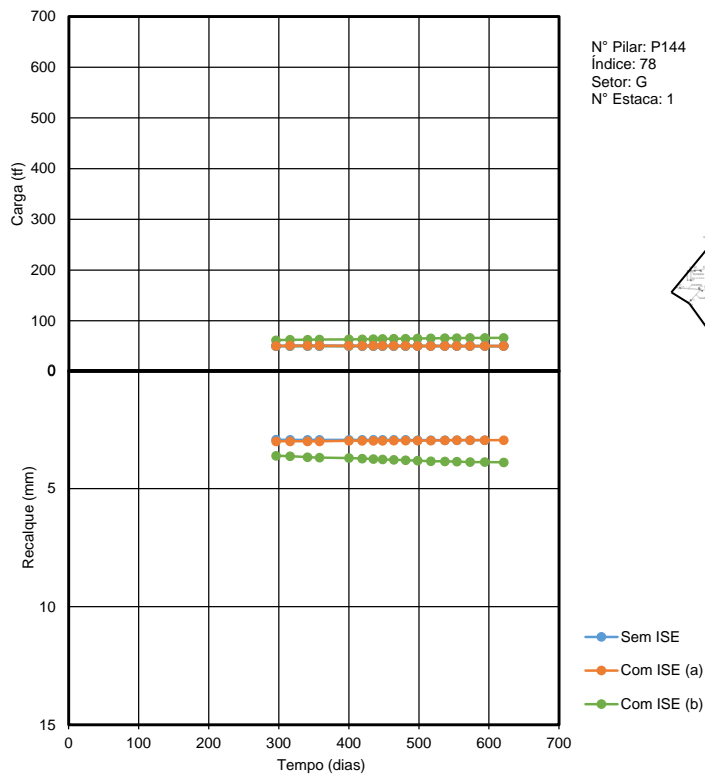
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
 Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



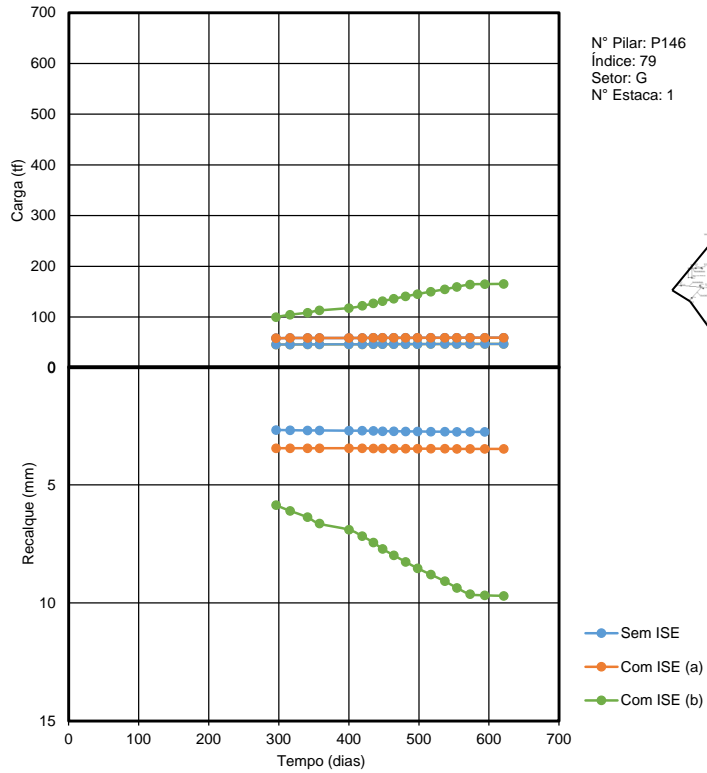
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



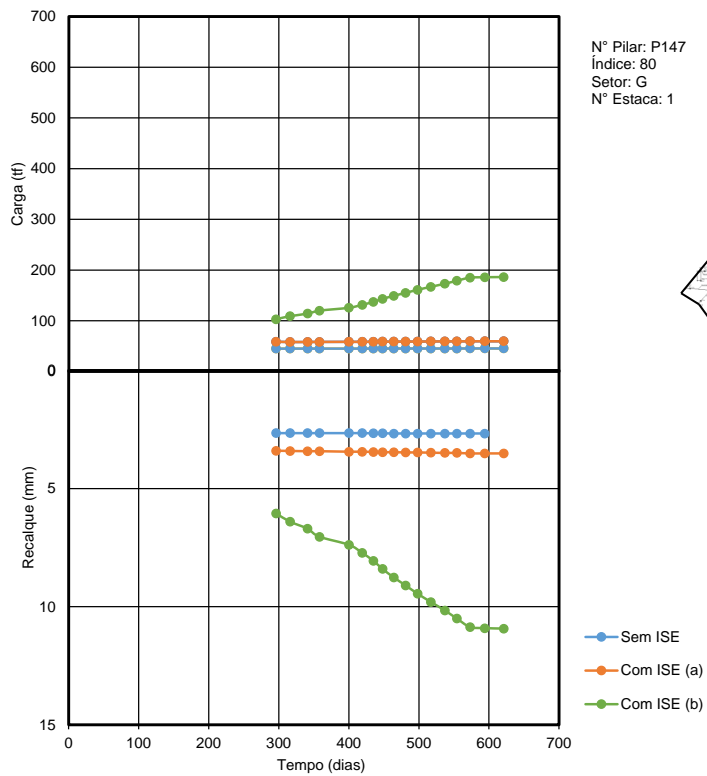
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



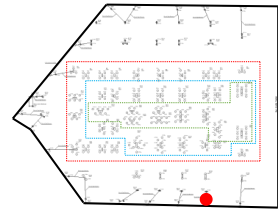
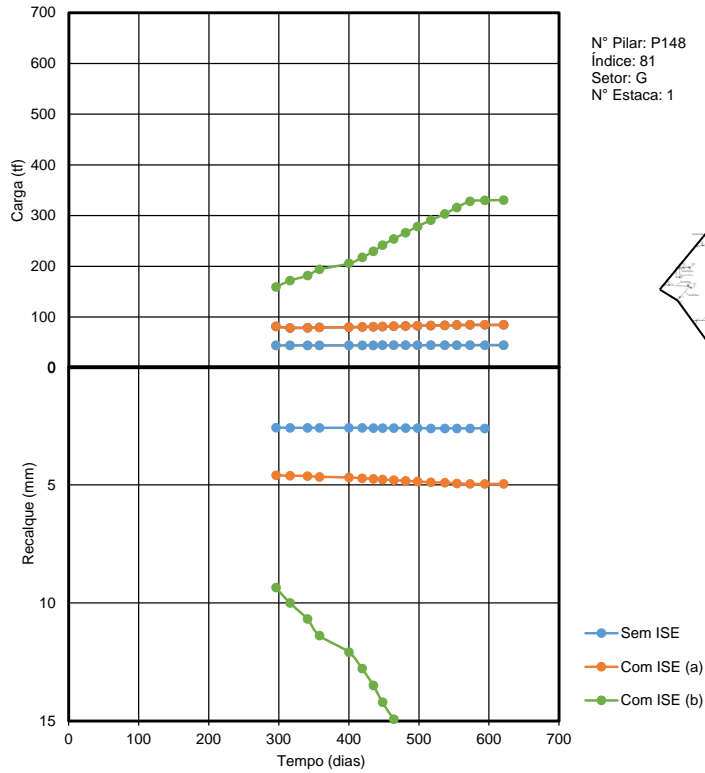
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



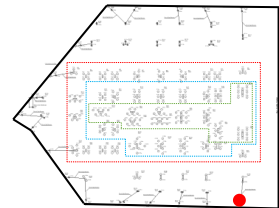
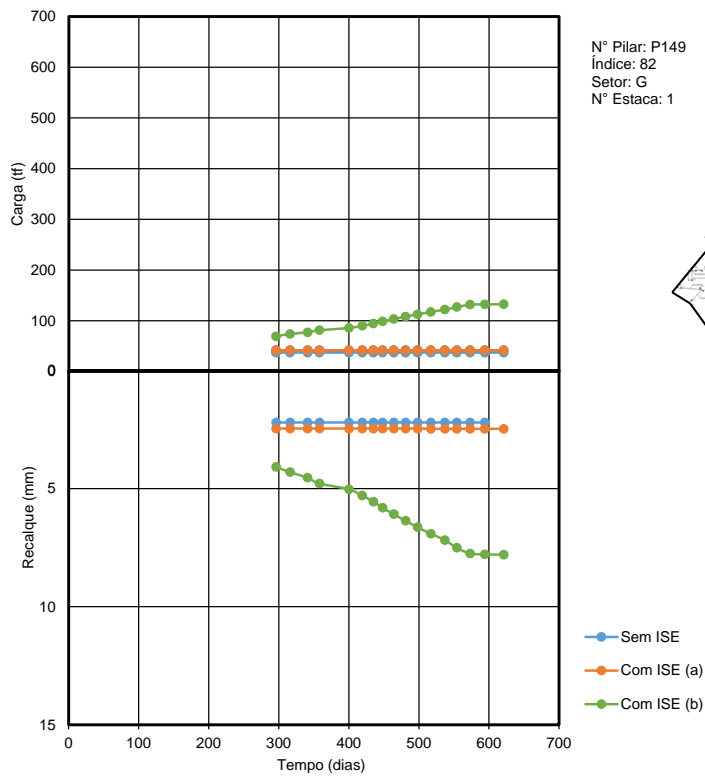
Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

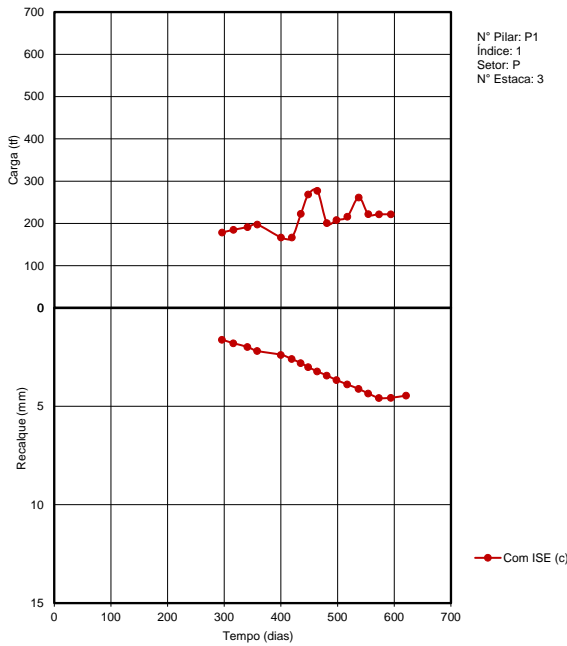
C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



Com ISE (a) = carga/recalque considerando interação entre as estacas de um mesmo bloco
Com ISE (b) = carga/recalque considerando interação entre todas as estacas da obra

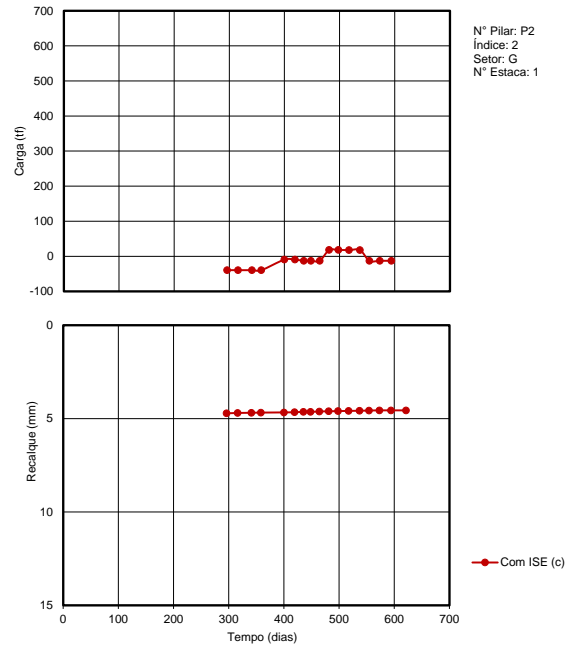
C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio

ANEXO C – CARGA VS. RECALQUE APÓS VALIDAÇÃO POR RANDOLPH PARA TODOS OS PILARES



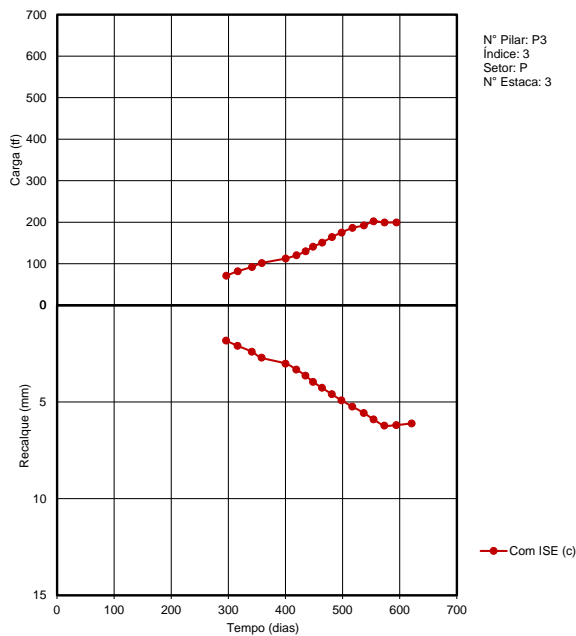
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



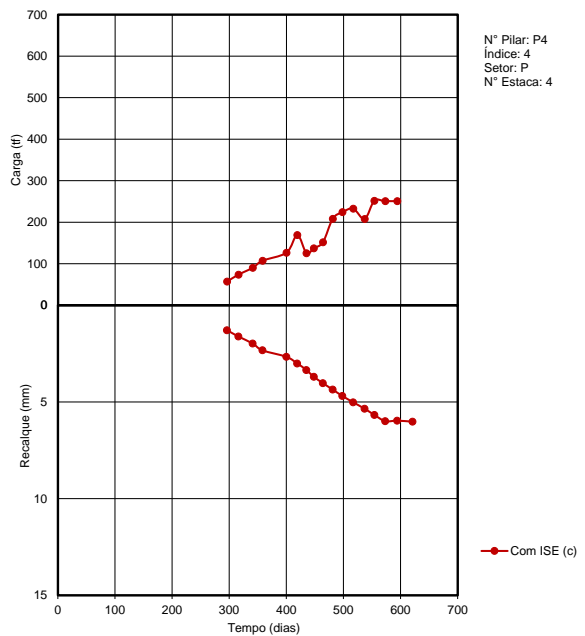
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



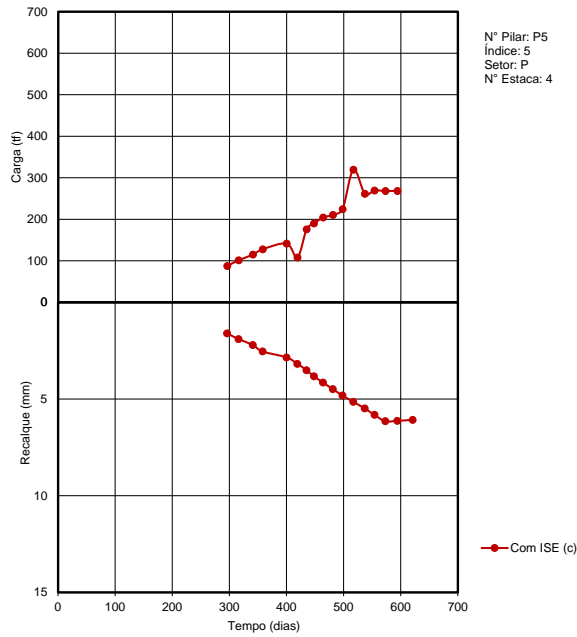
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



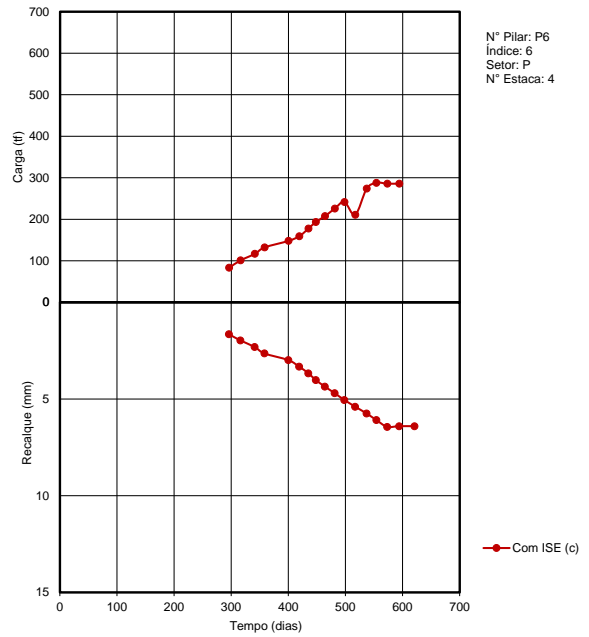
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



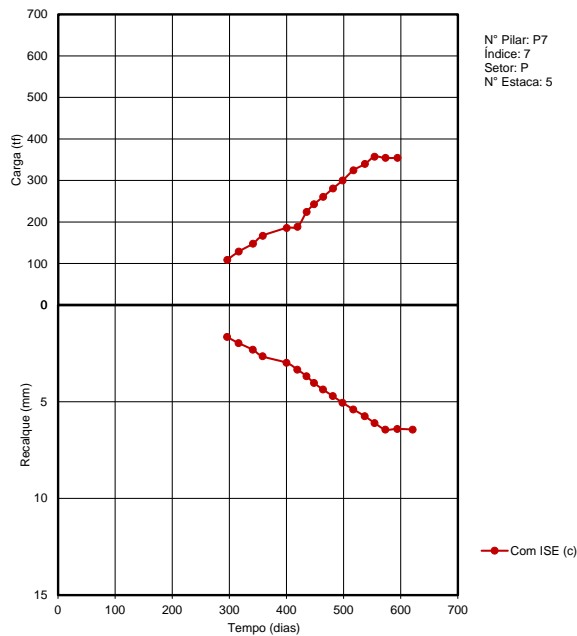
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



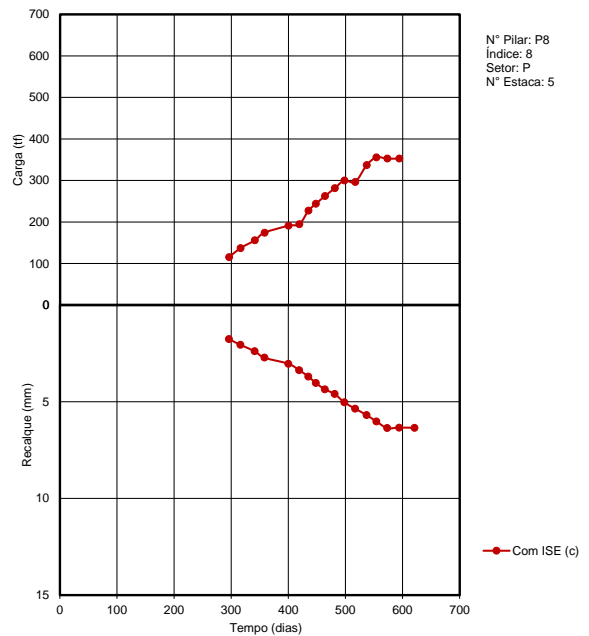
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



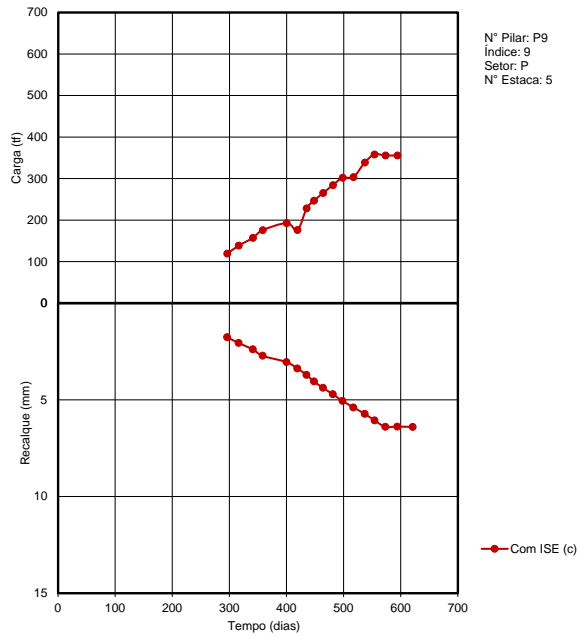
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



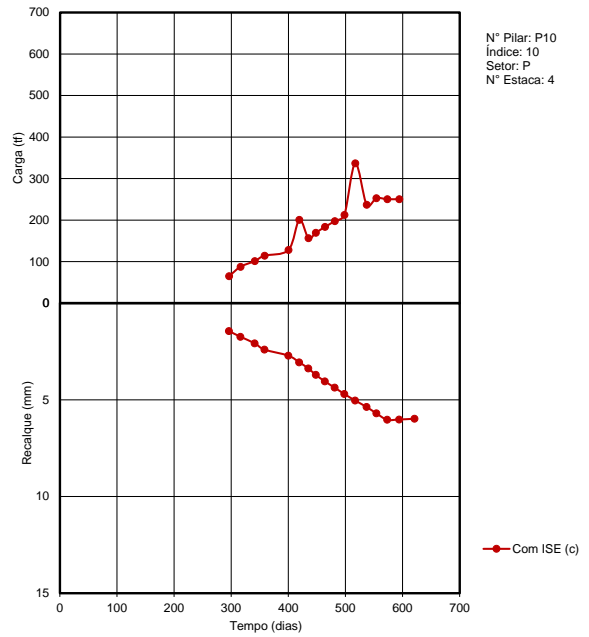
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



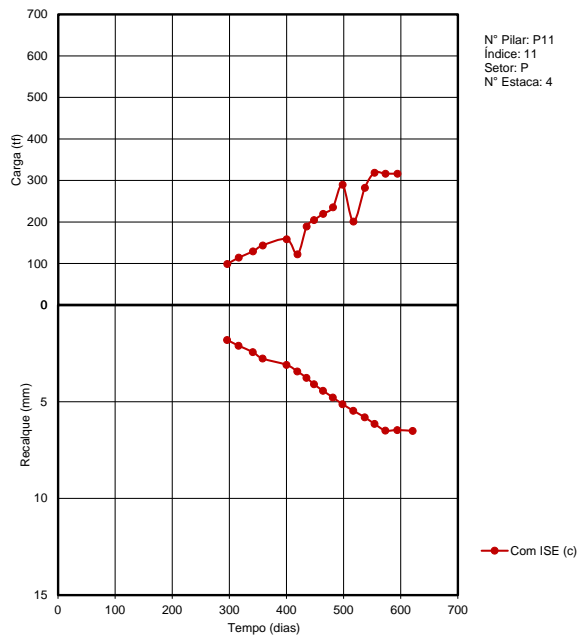
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



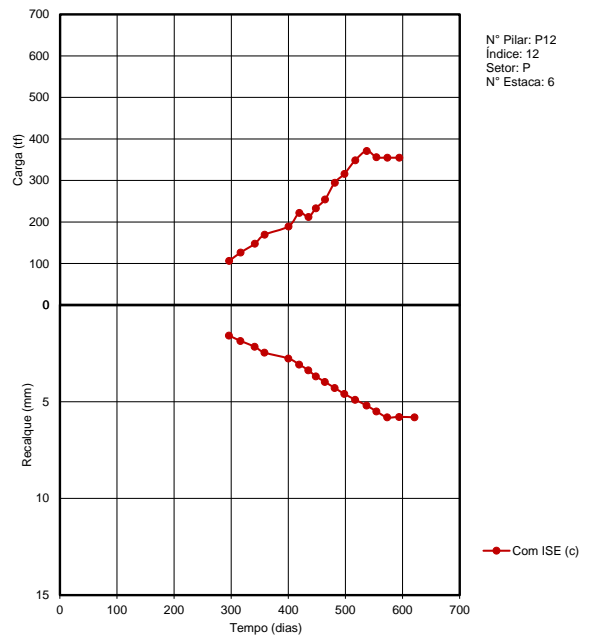
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



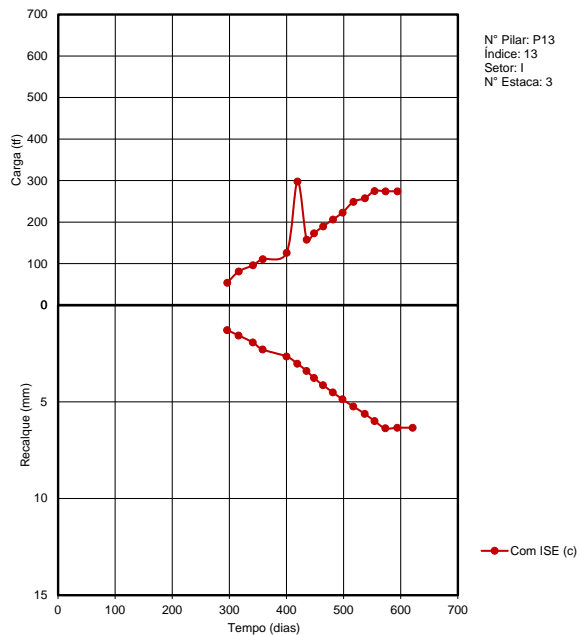
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



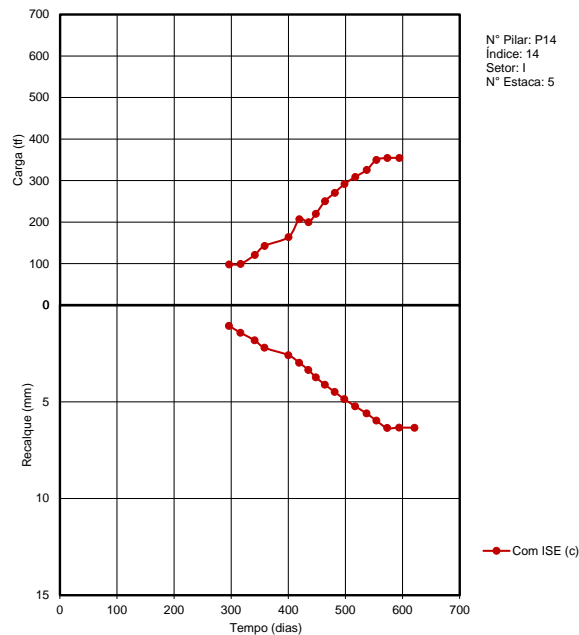
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



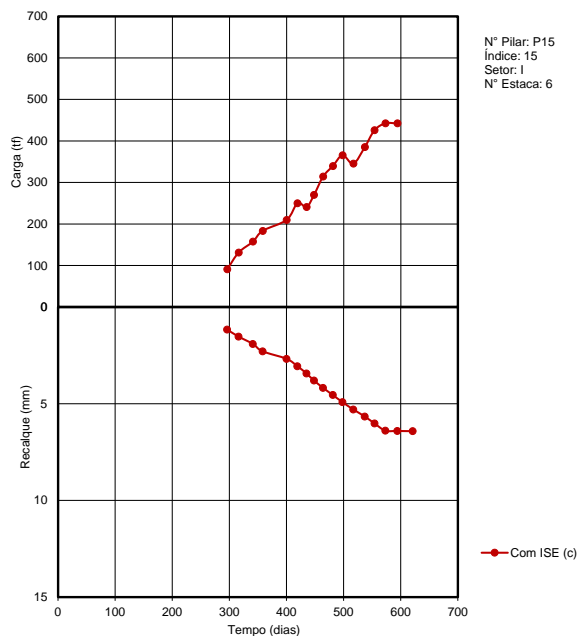
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



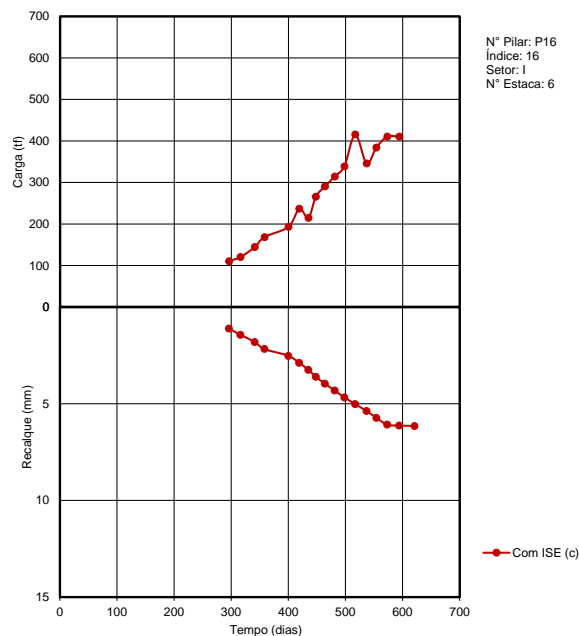
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



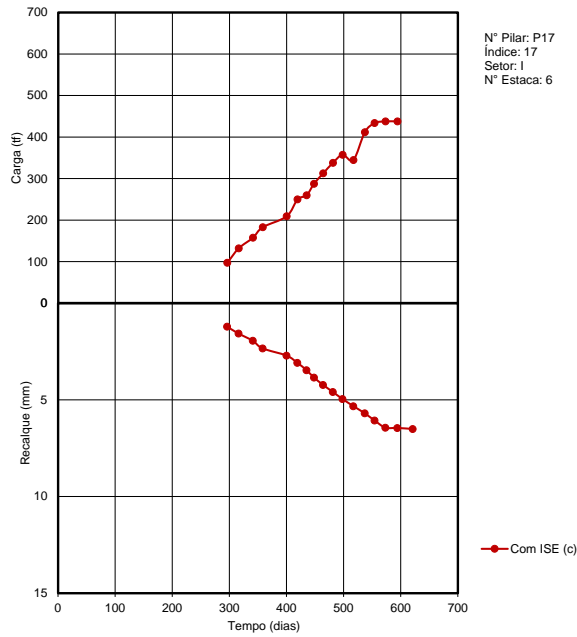
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



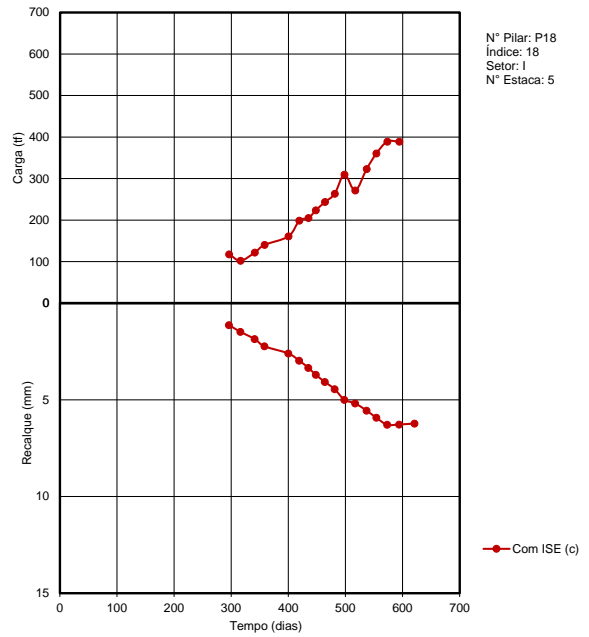
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



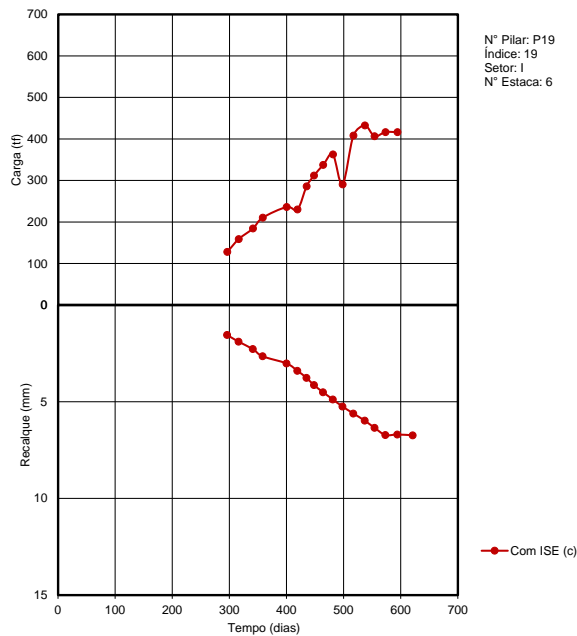
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



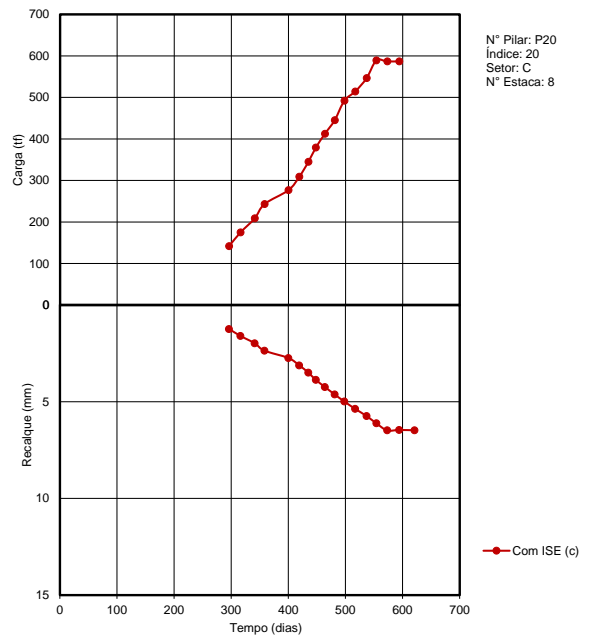
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



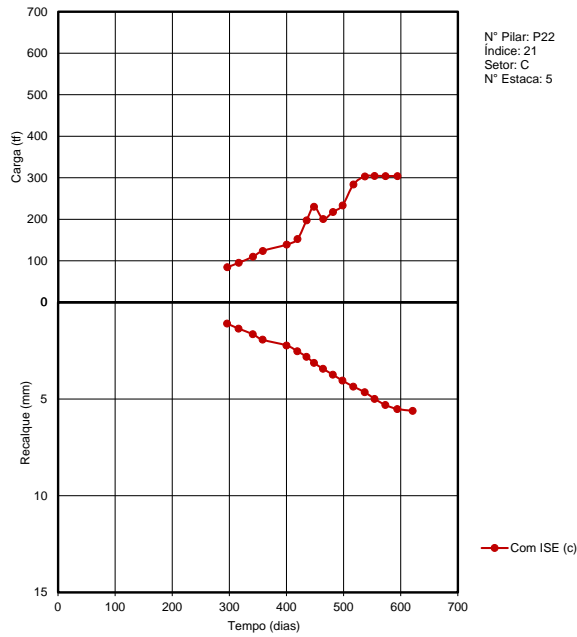
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



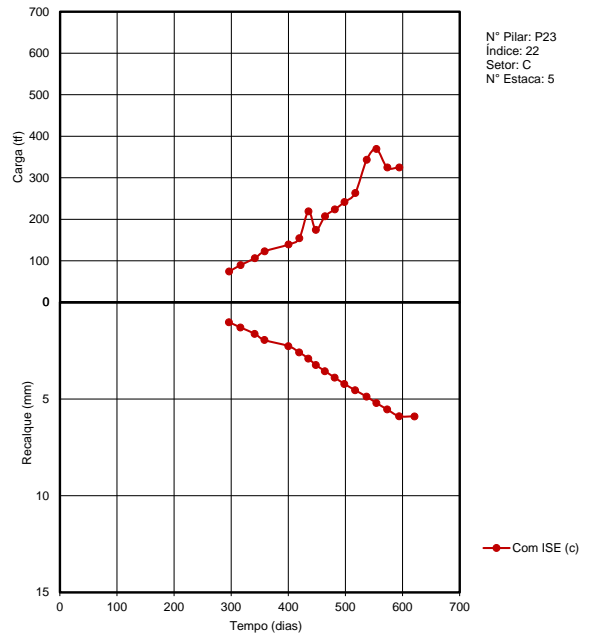
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



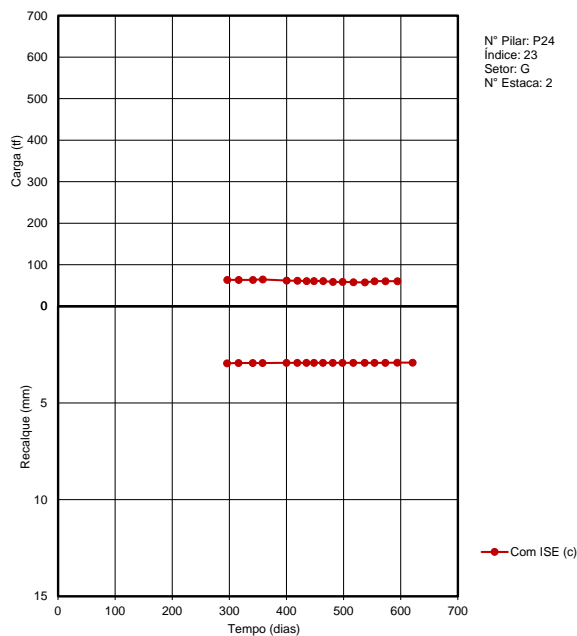
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



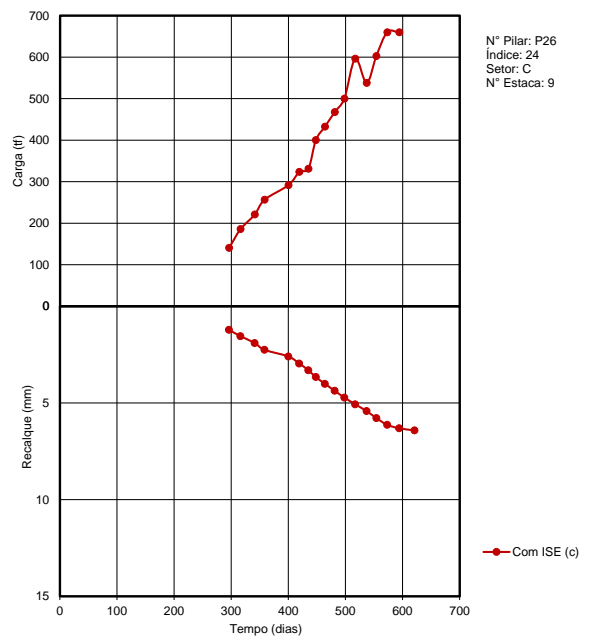
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



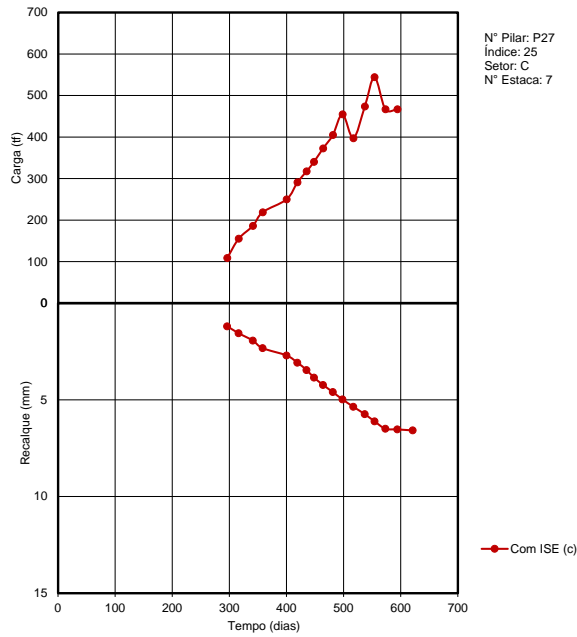
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



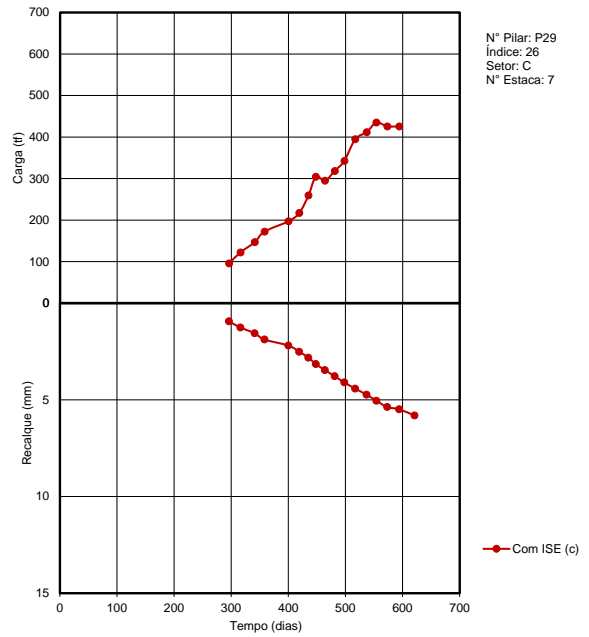
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



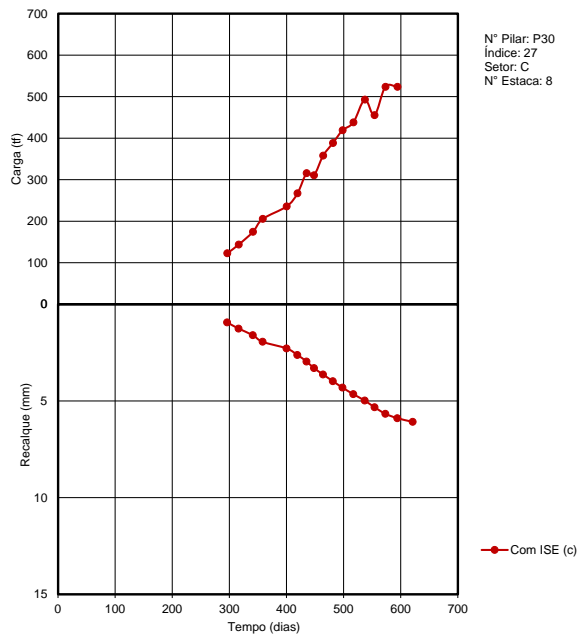
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



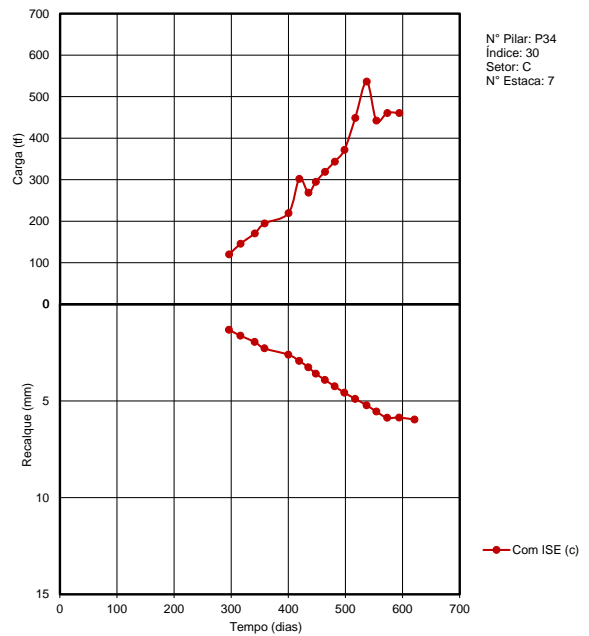
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



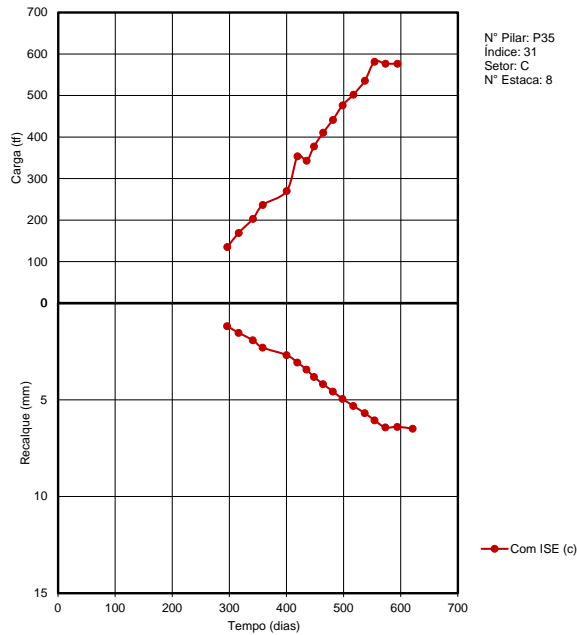
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



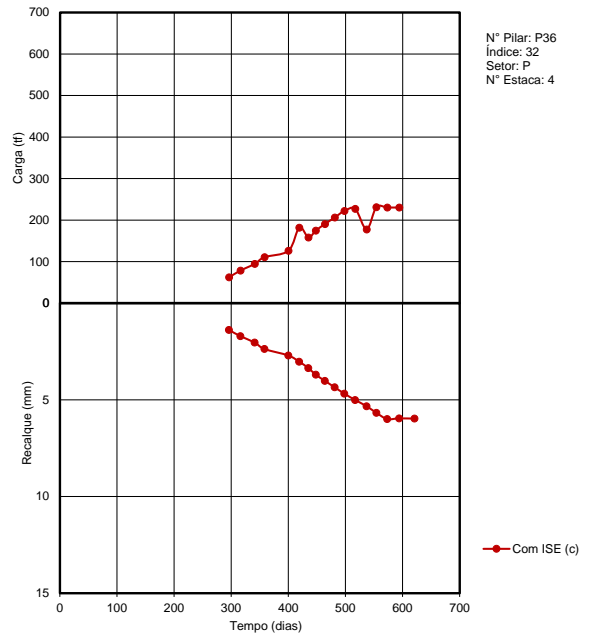
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



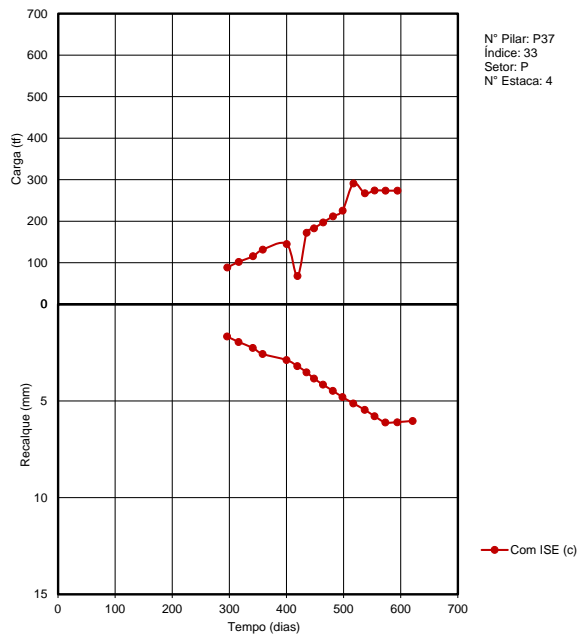
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



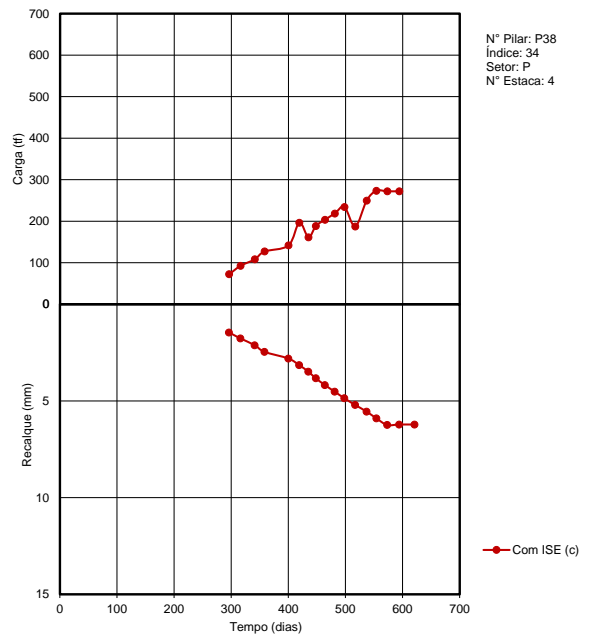
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



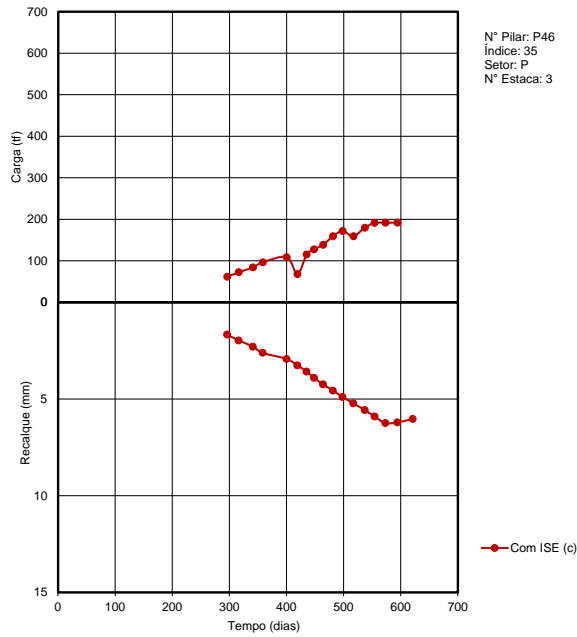
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



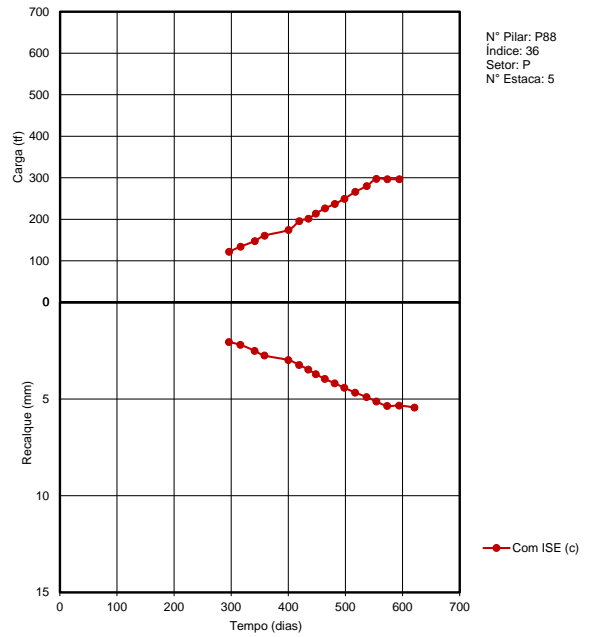
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



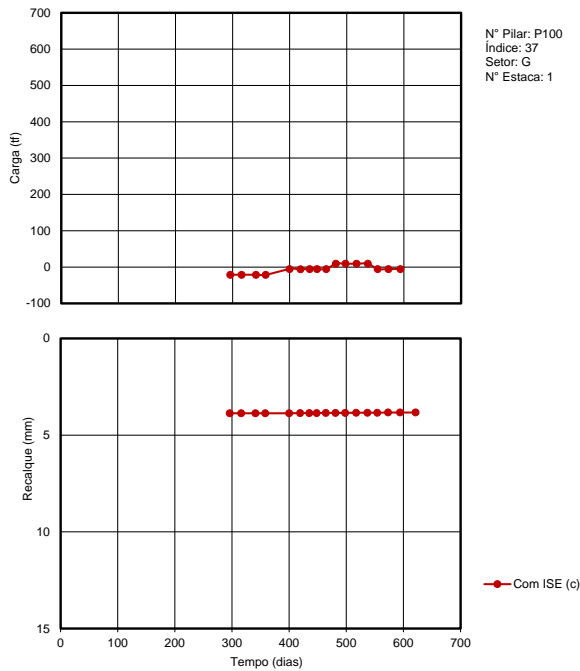
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



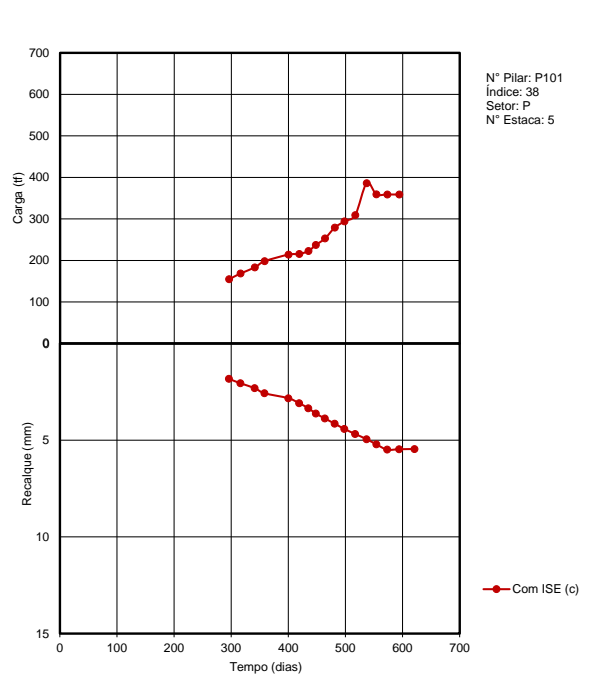
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



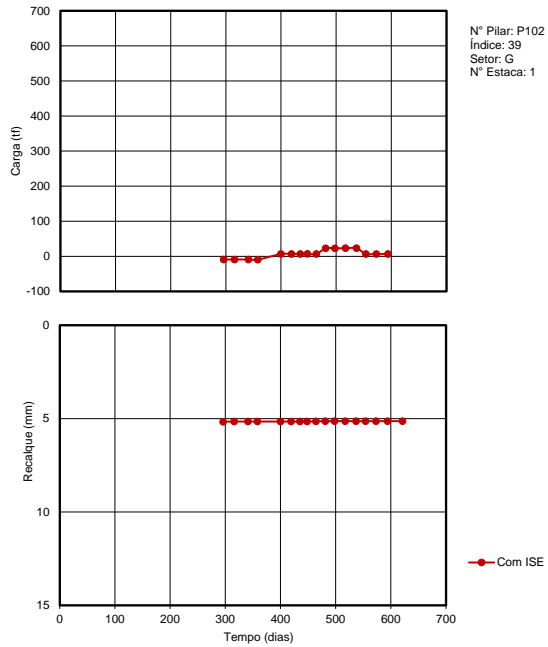
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



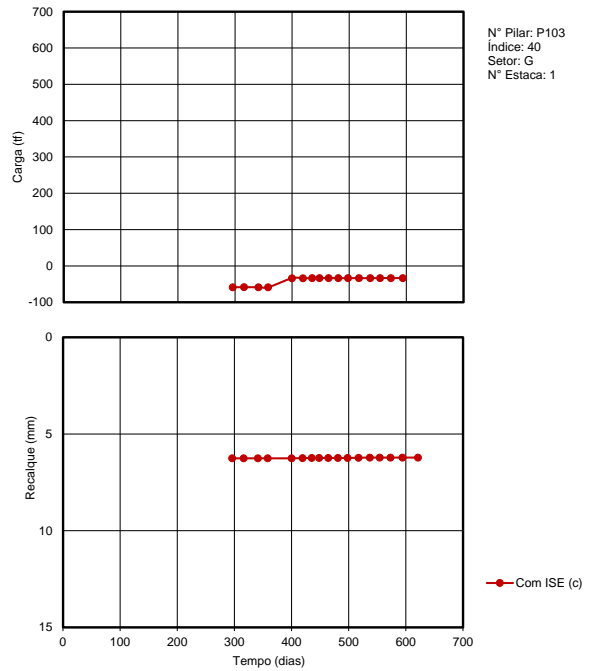
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



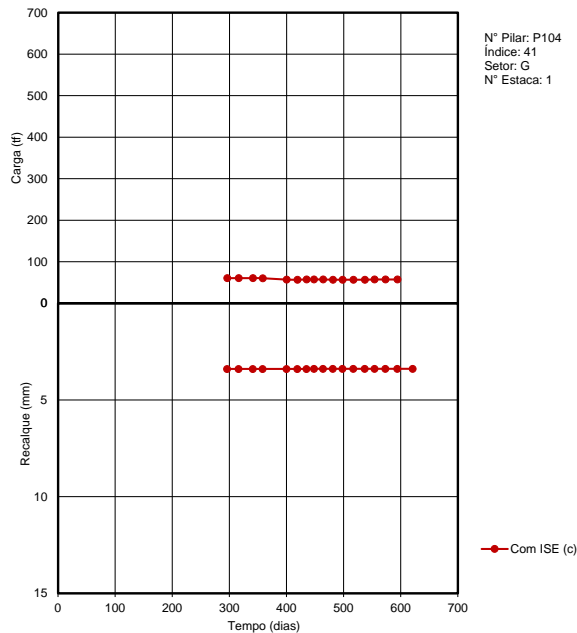
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



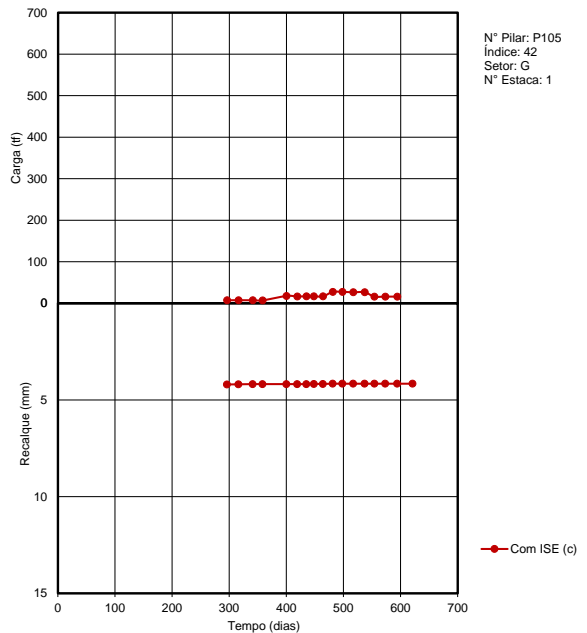
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



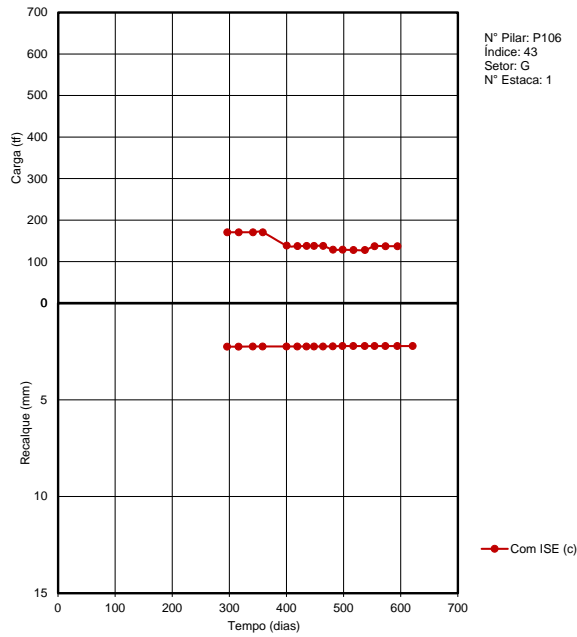
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



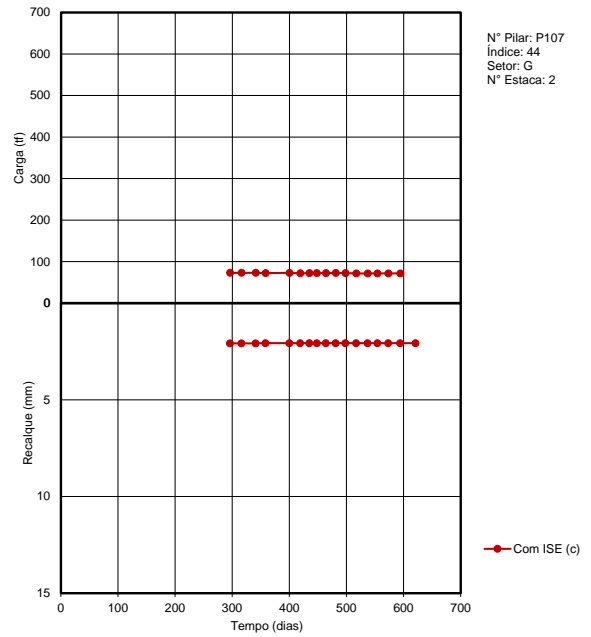
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



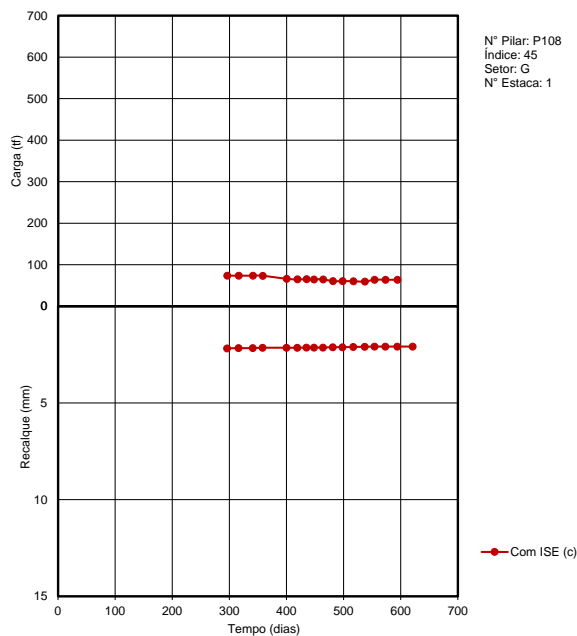
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



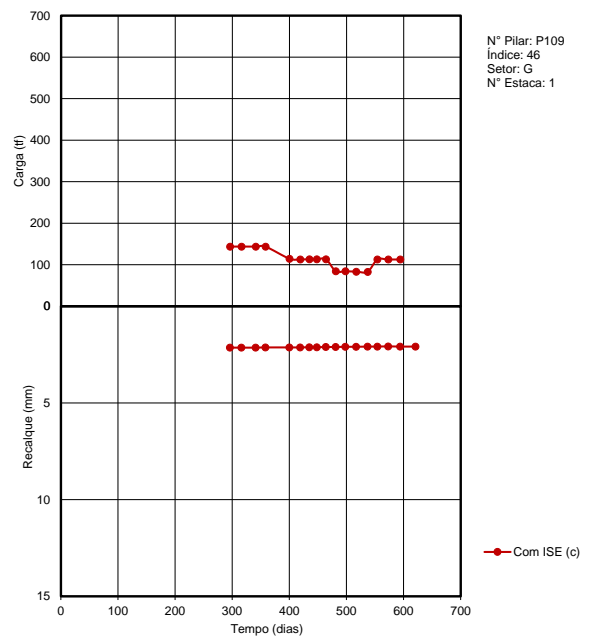
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



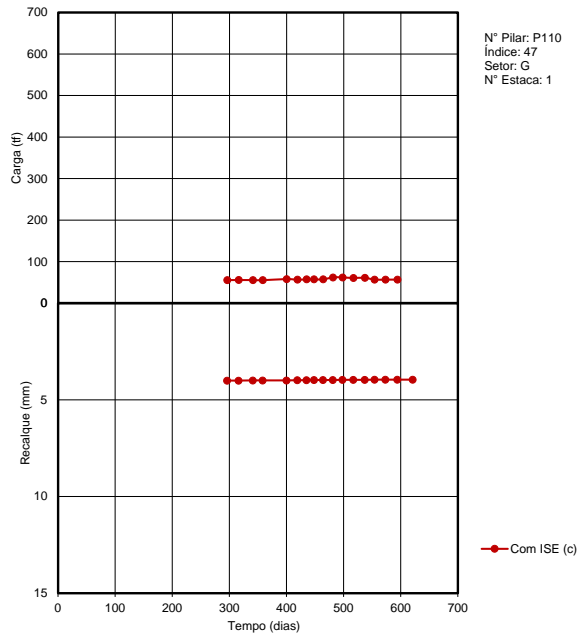
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



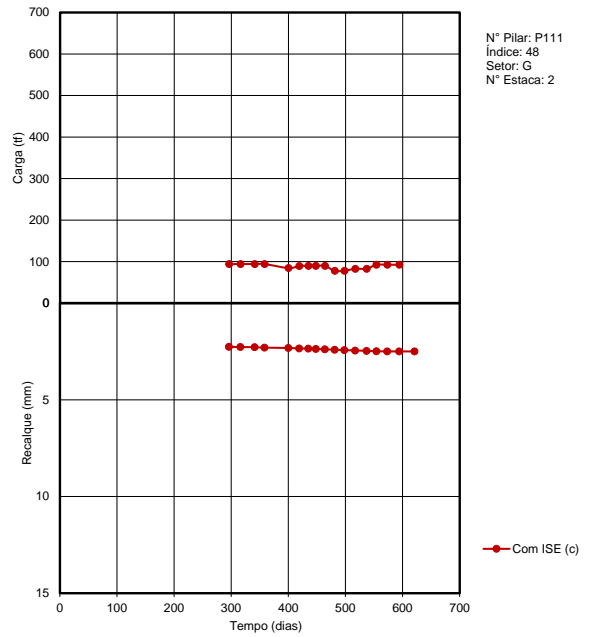
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



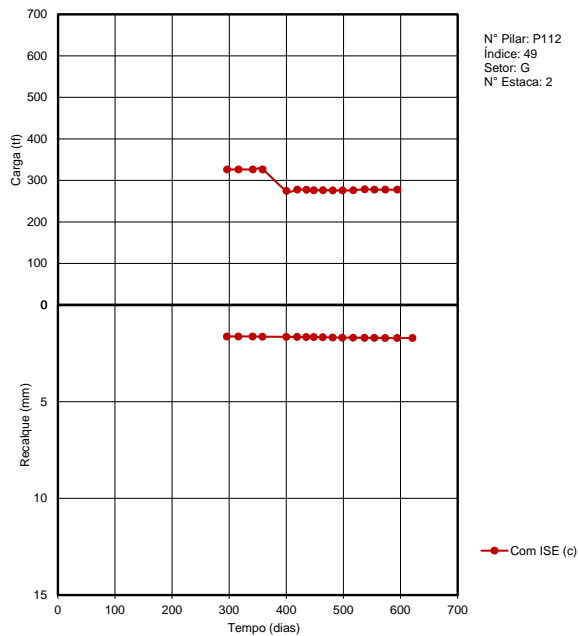
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



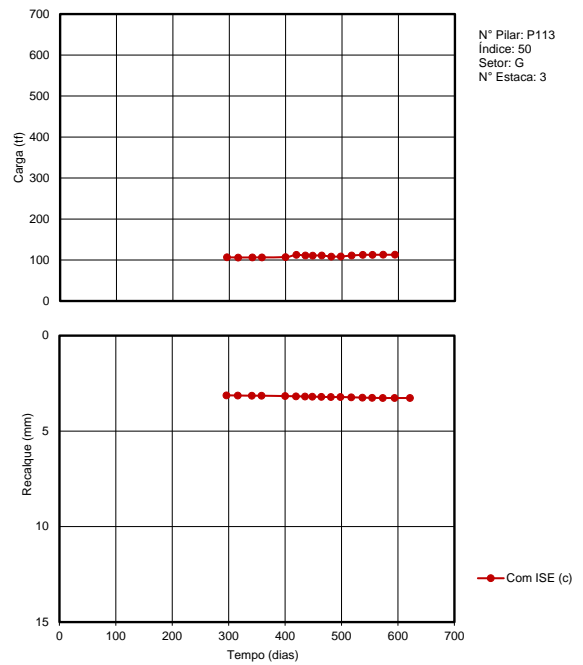
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



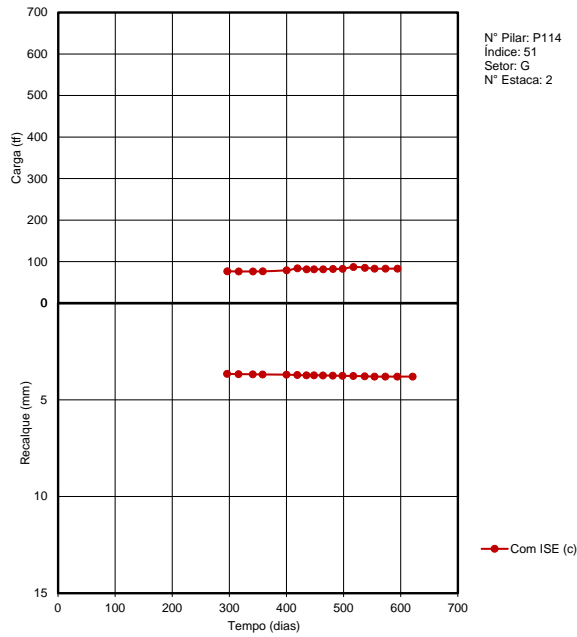
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



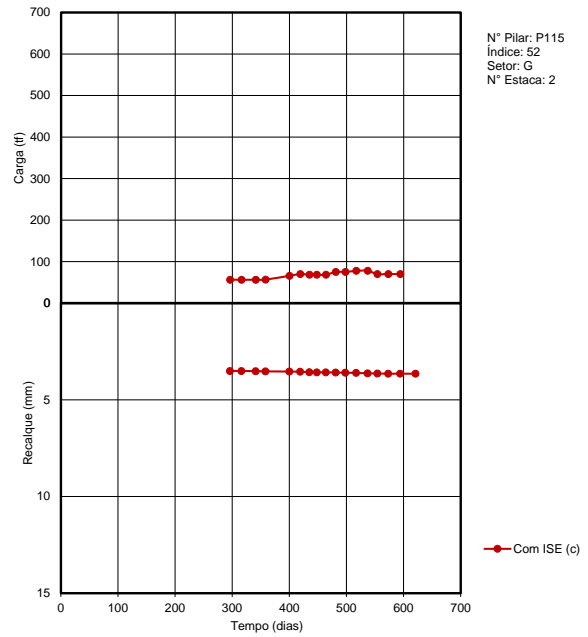
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



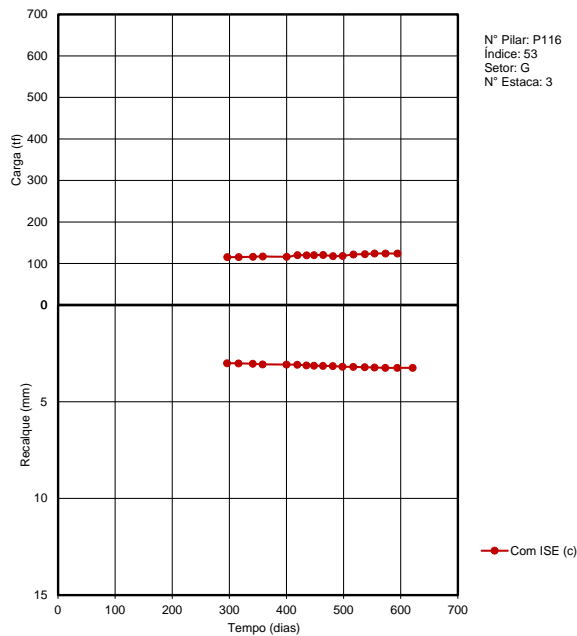
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



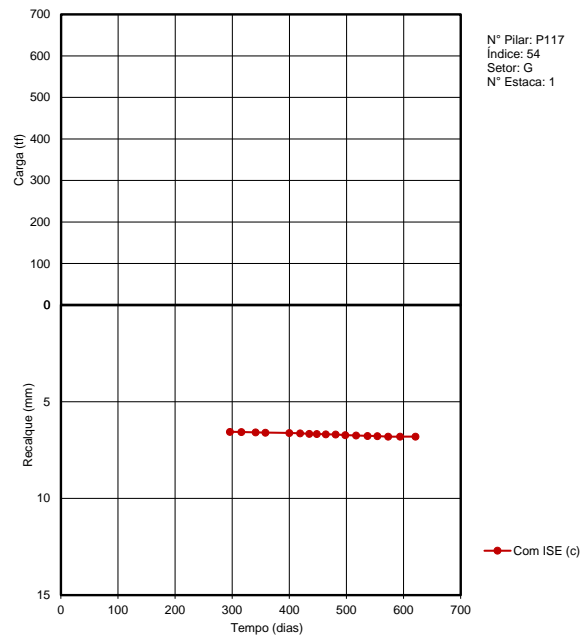
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



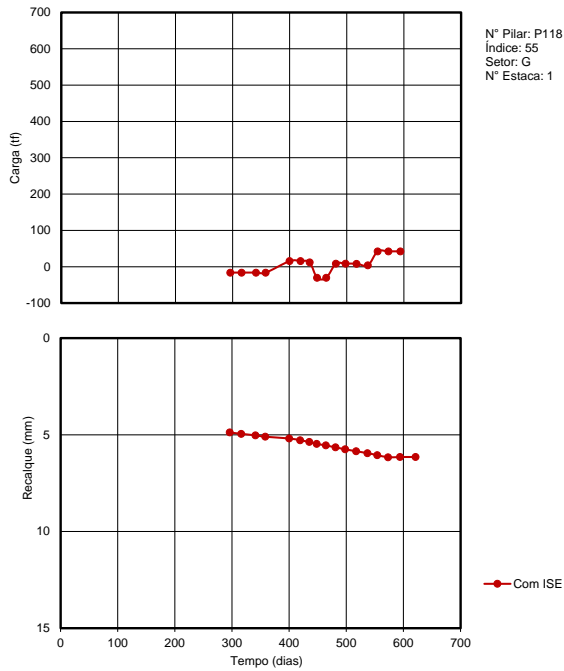
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



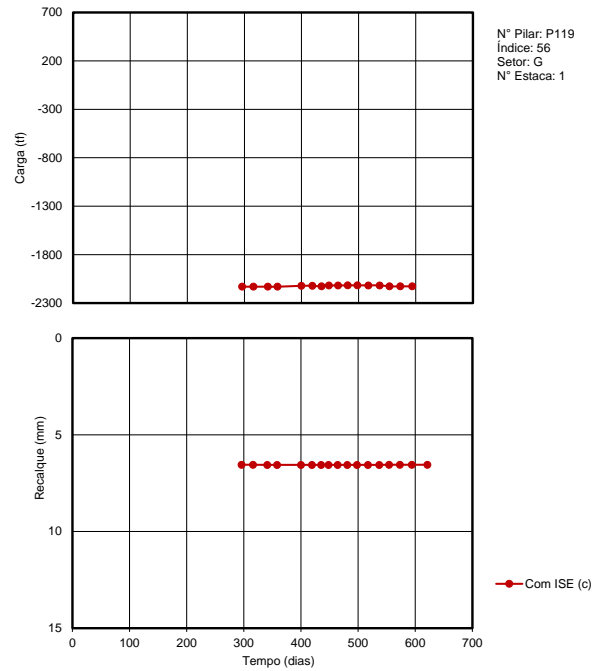
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



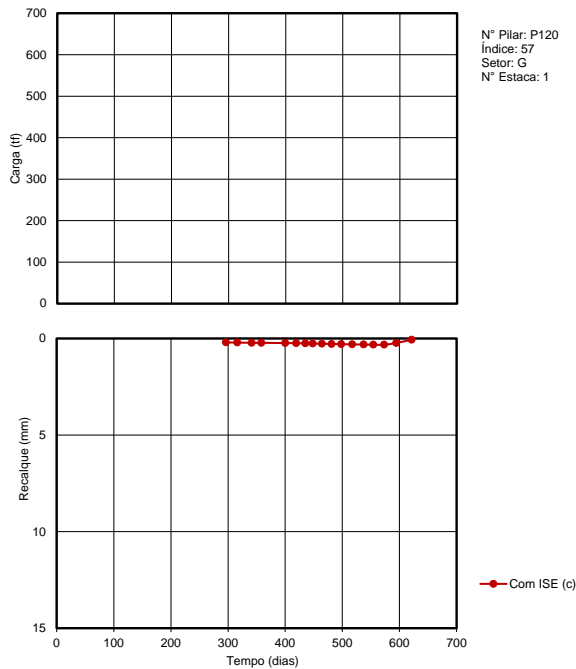
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



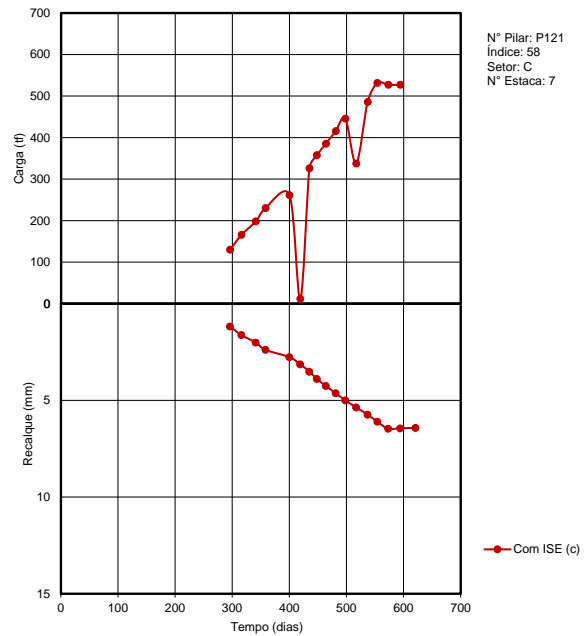
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



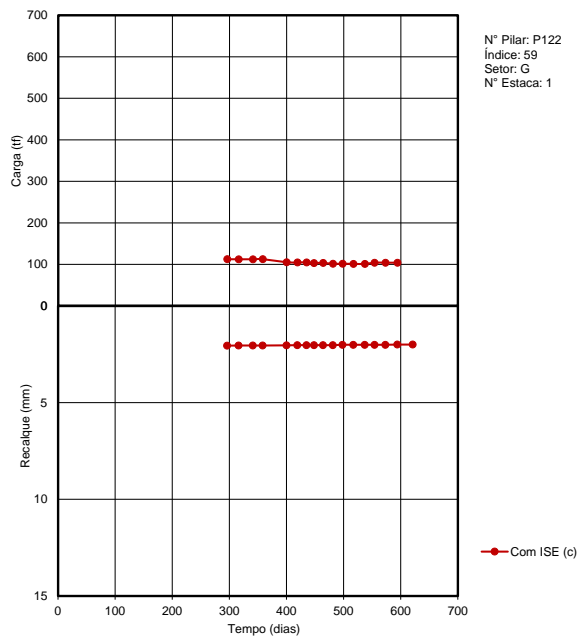
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



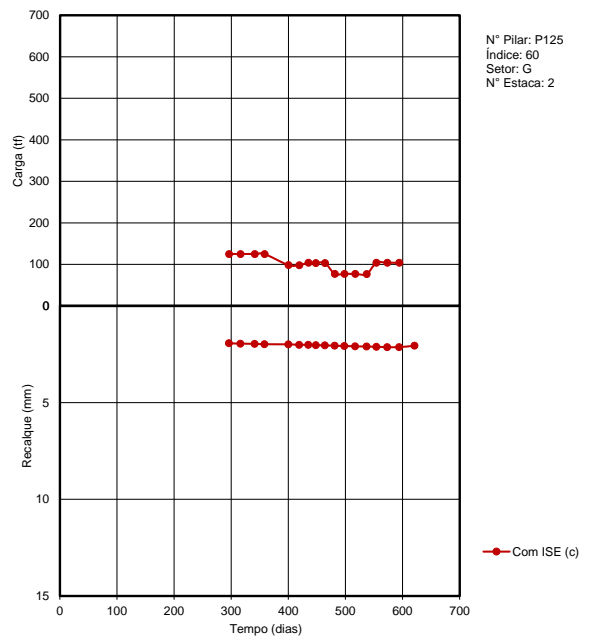
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



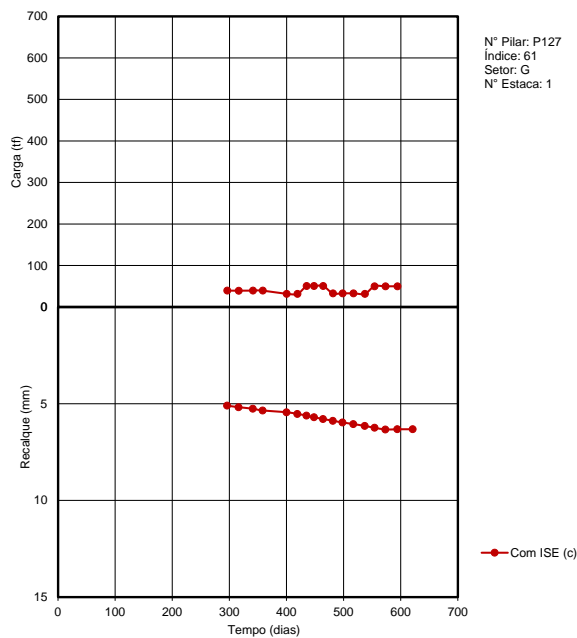
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



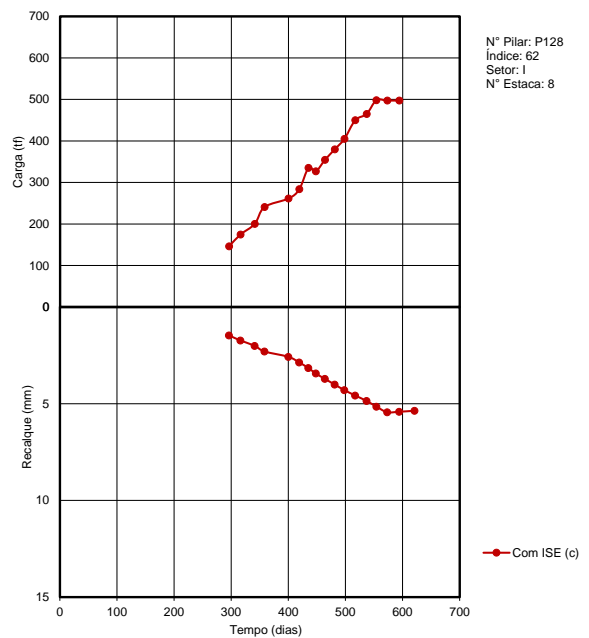
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



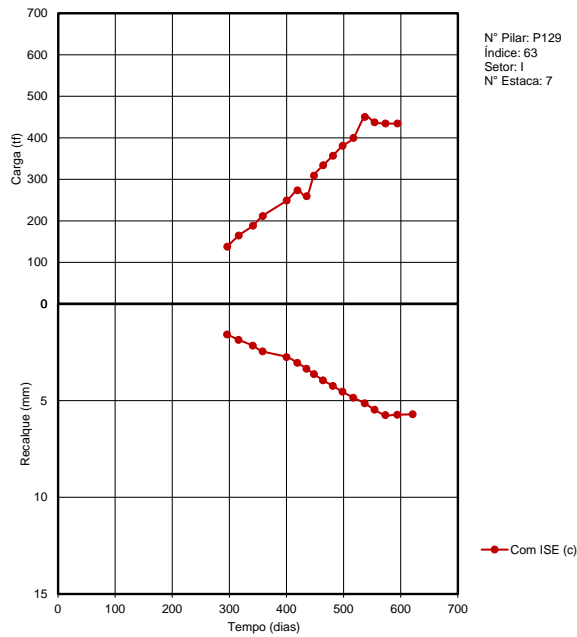
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



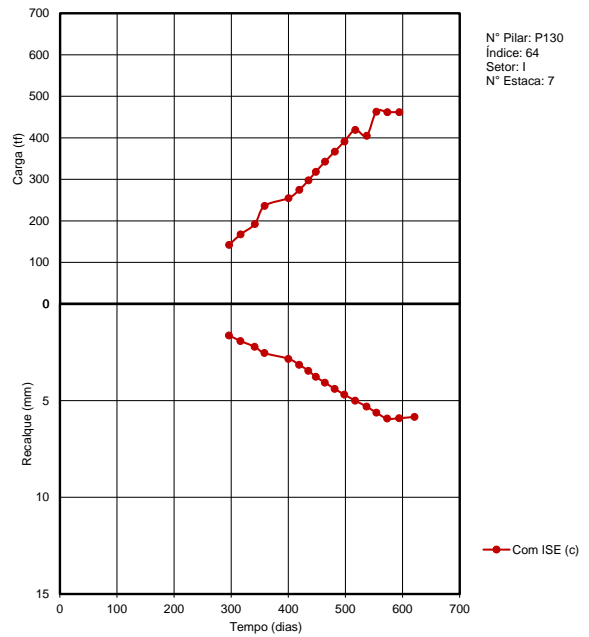
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



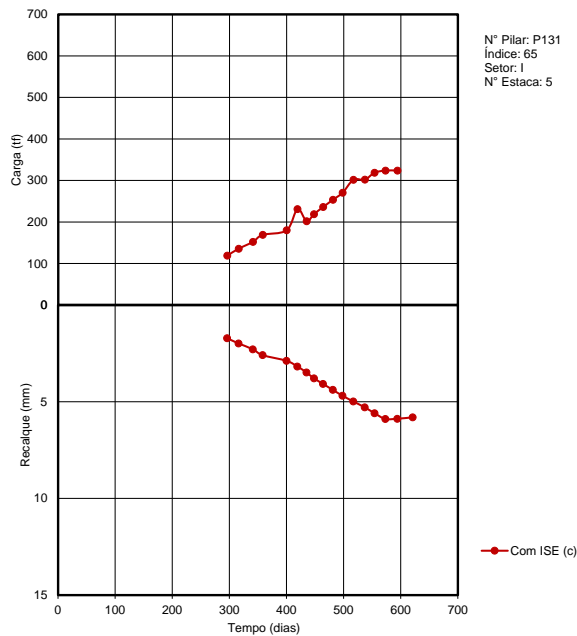
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



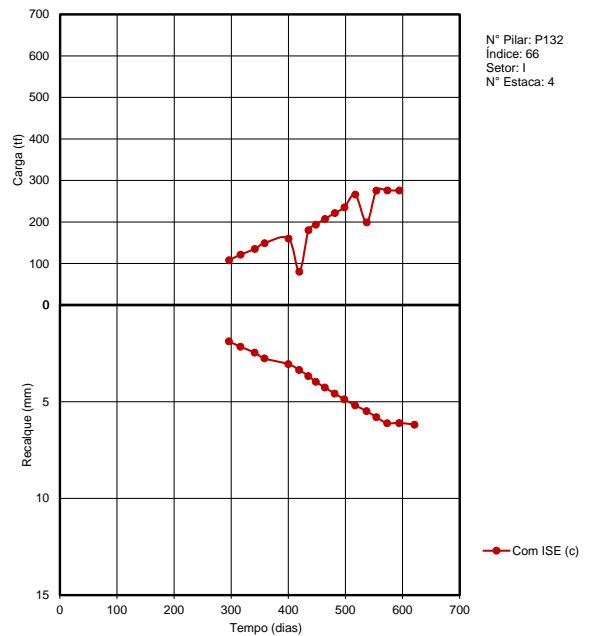
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



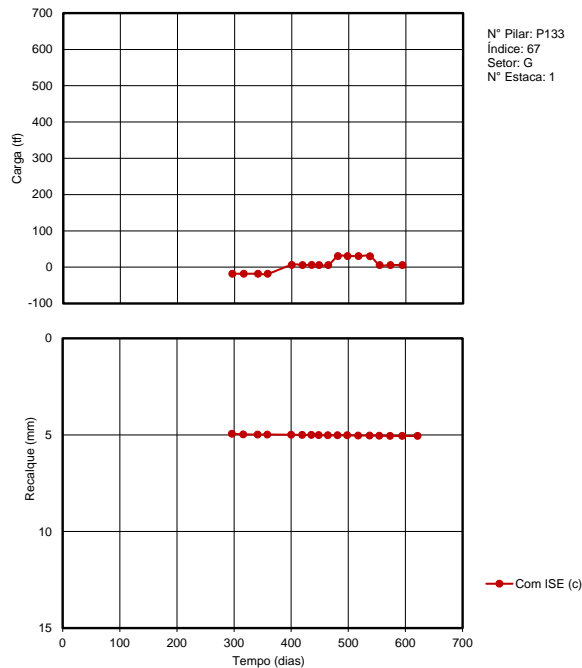
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



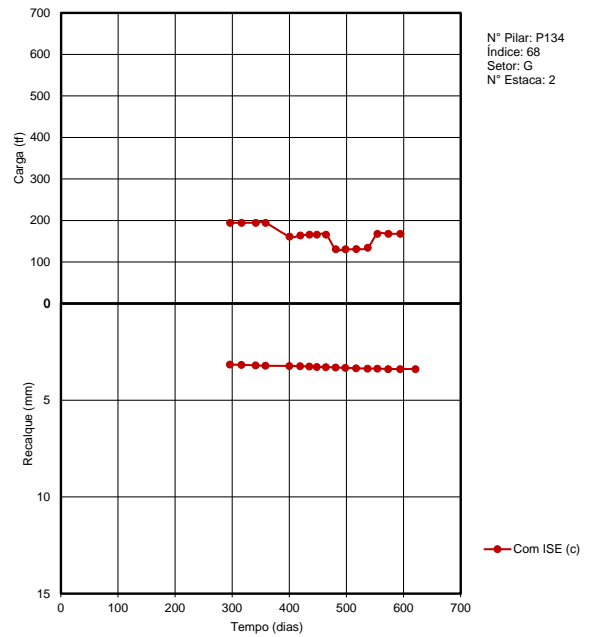
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



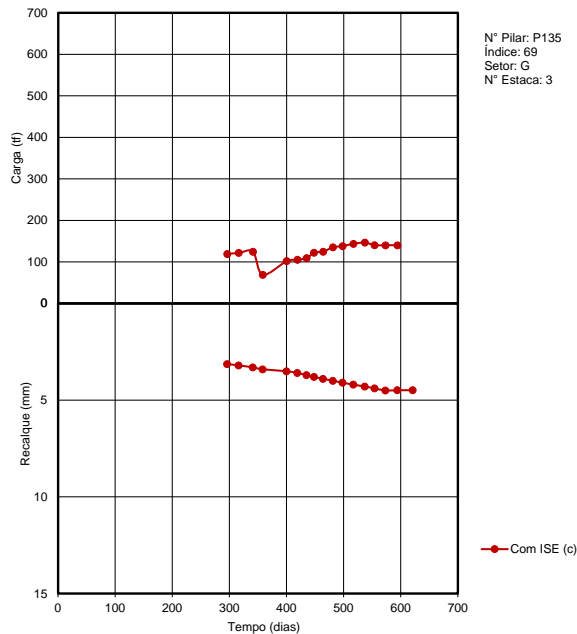
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



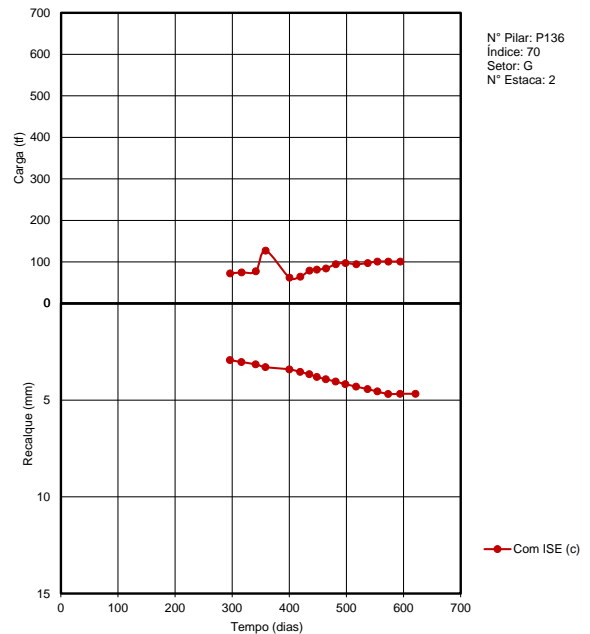
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



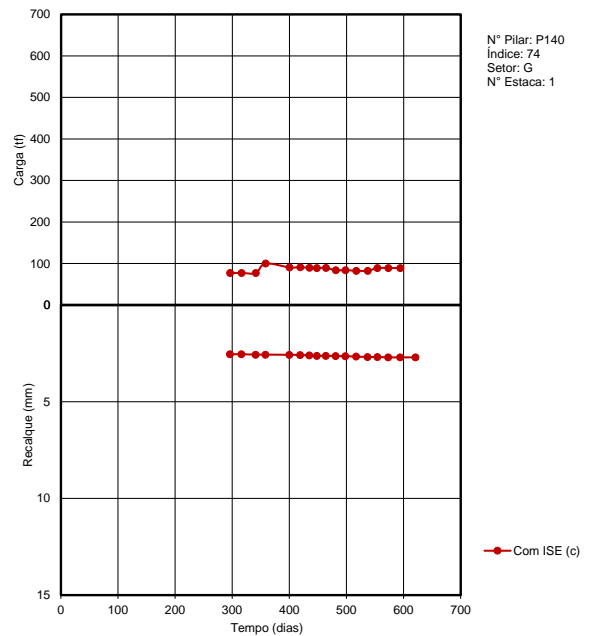
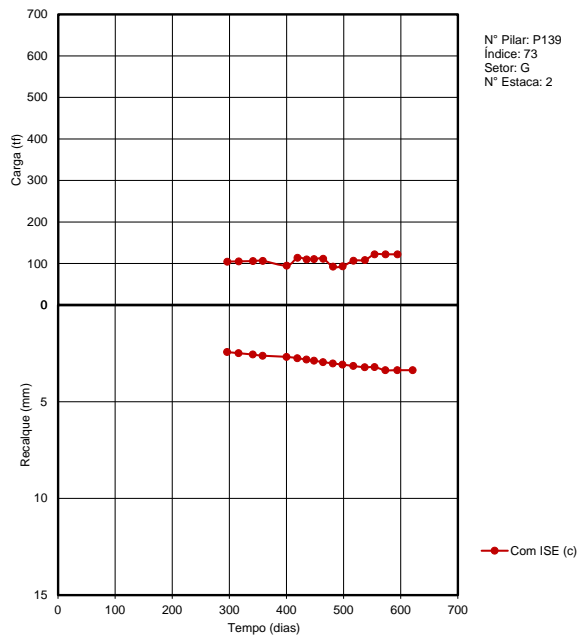
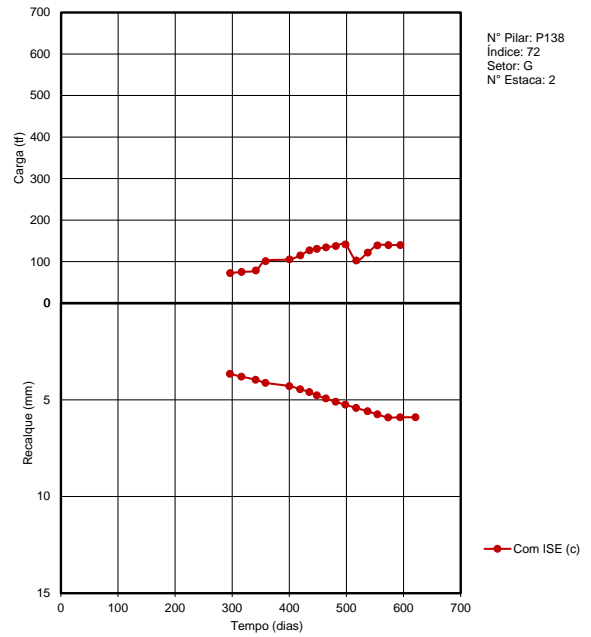
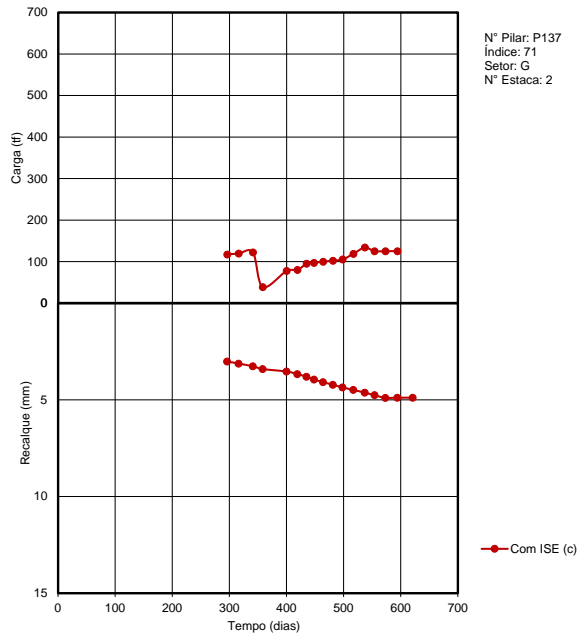
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

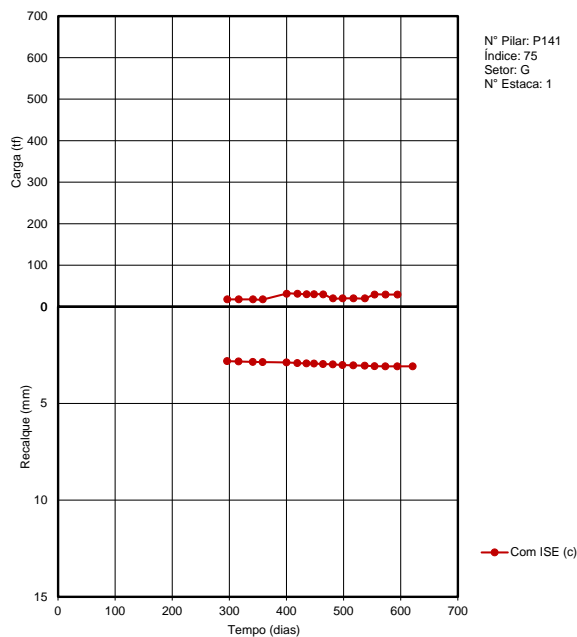
C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

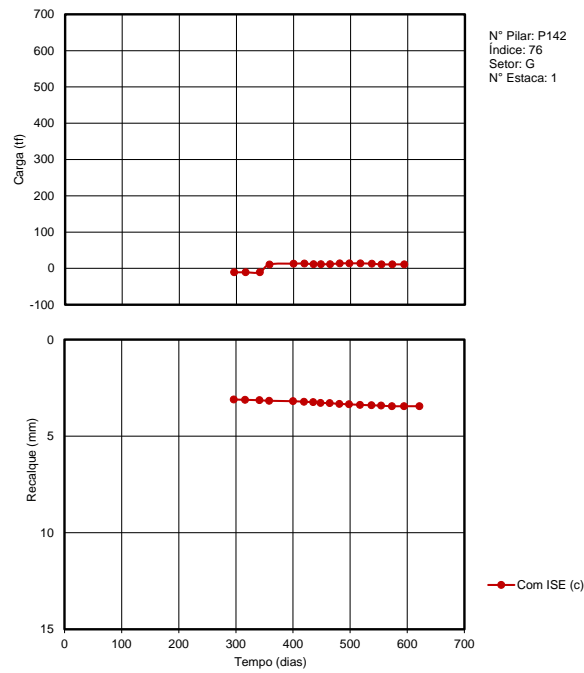
C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio





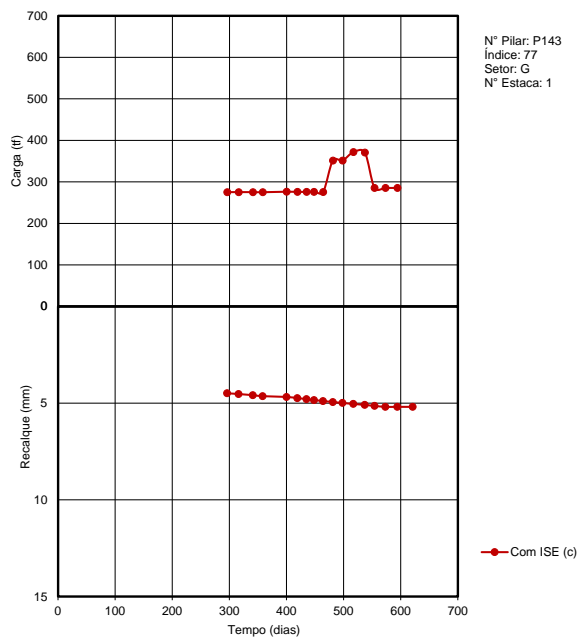
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



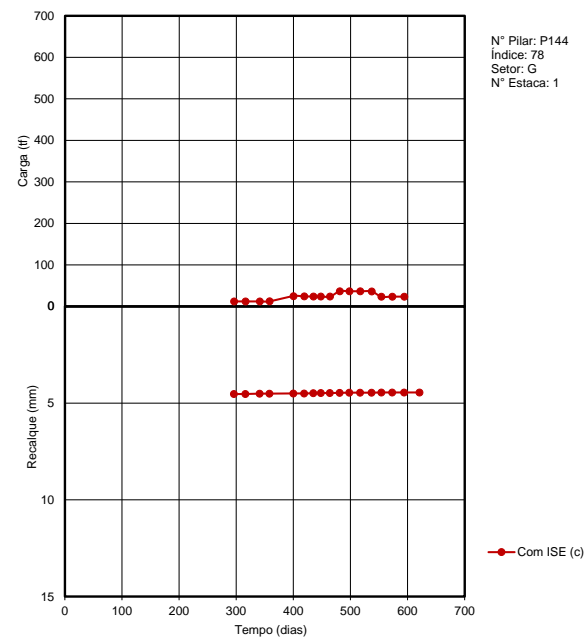
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



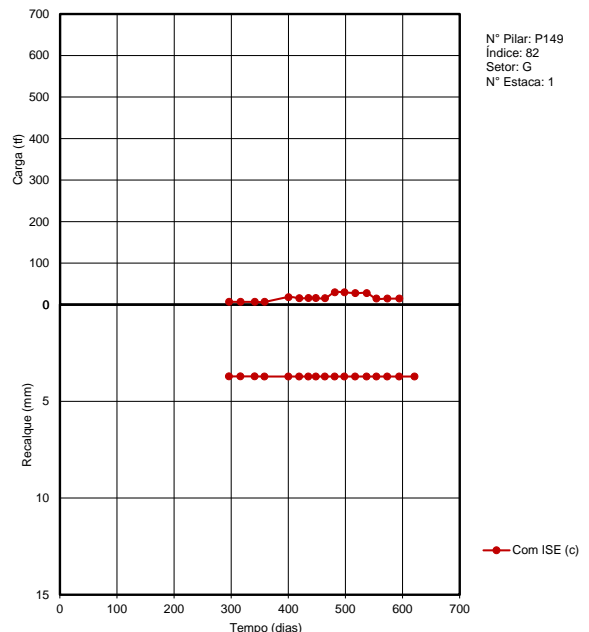
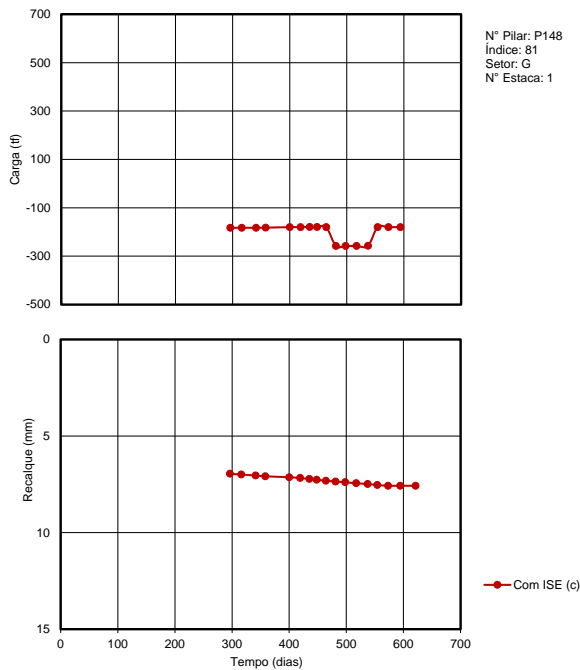
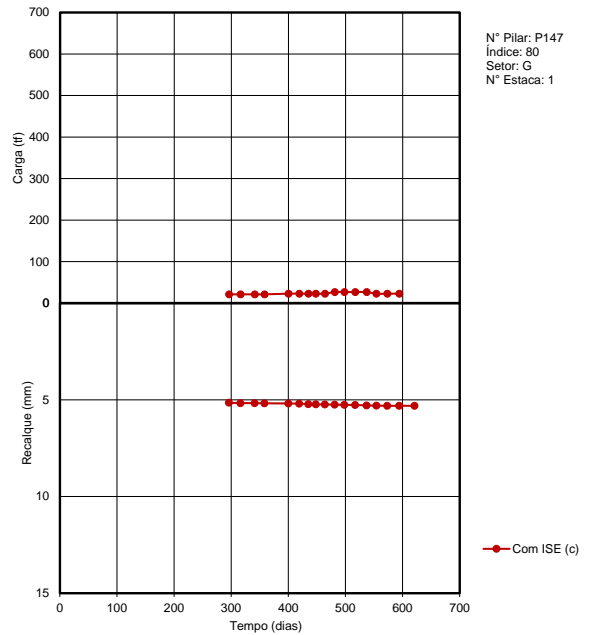
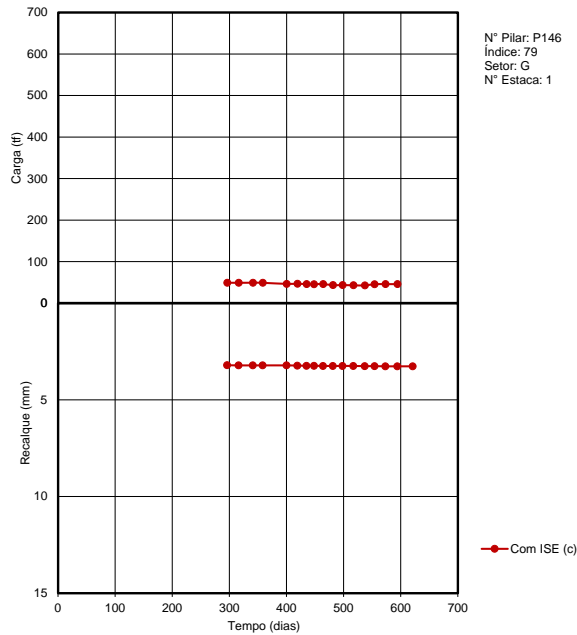
Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio

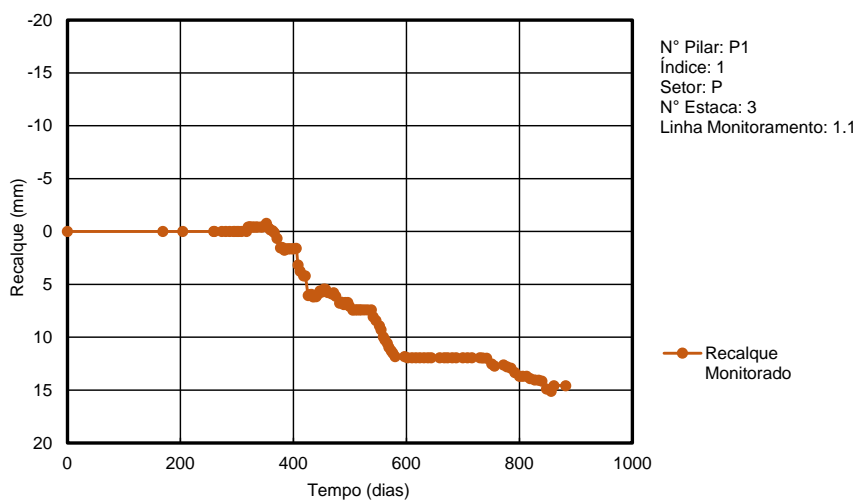


Com ISE (C) = carga/recalque do TQS apos recalque de Randolph validado

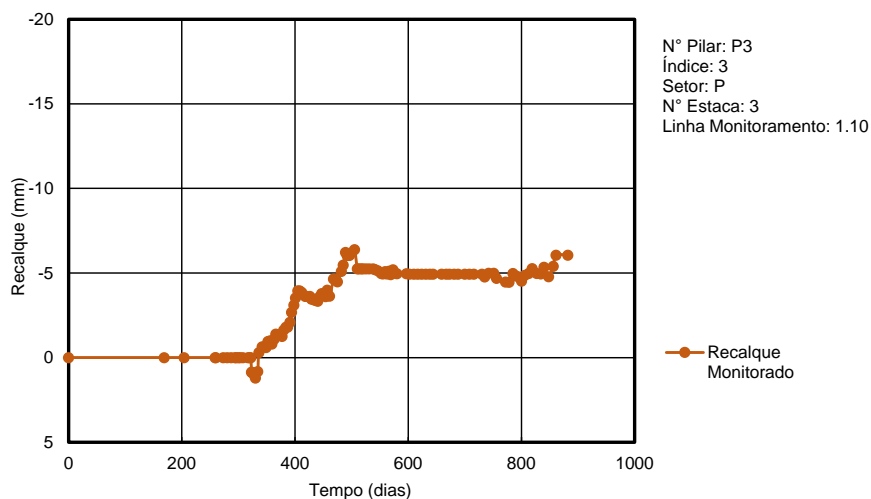
C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do corpo do prédio



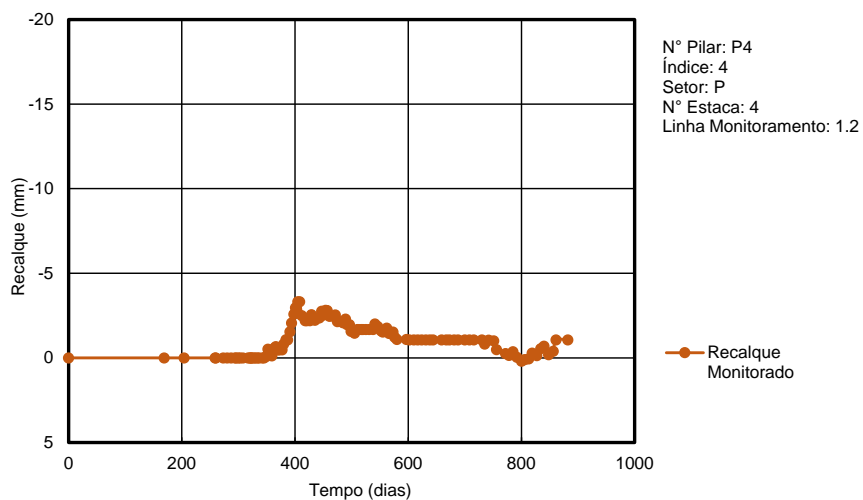
ANEXO D – MONITORAMENTO DE RECALQUE



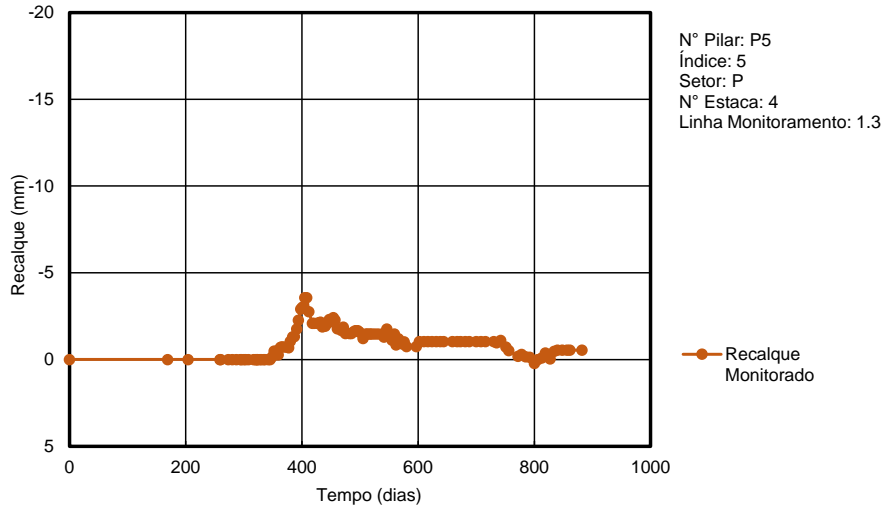
C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do



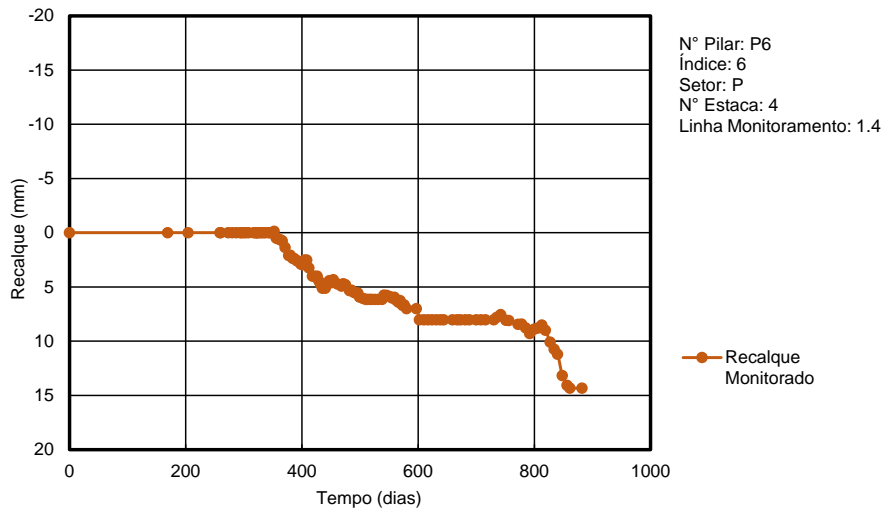
C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do



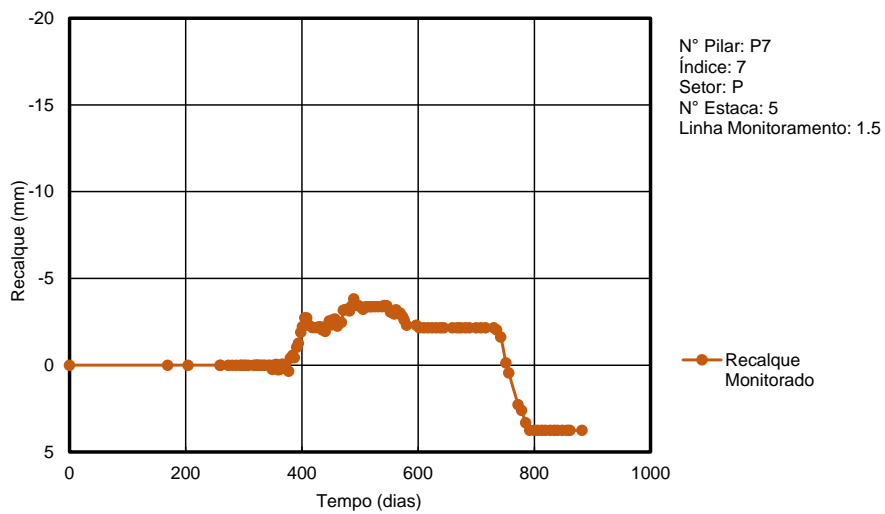
C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do



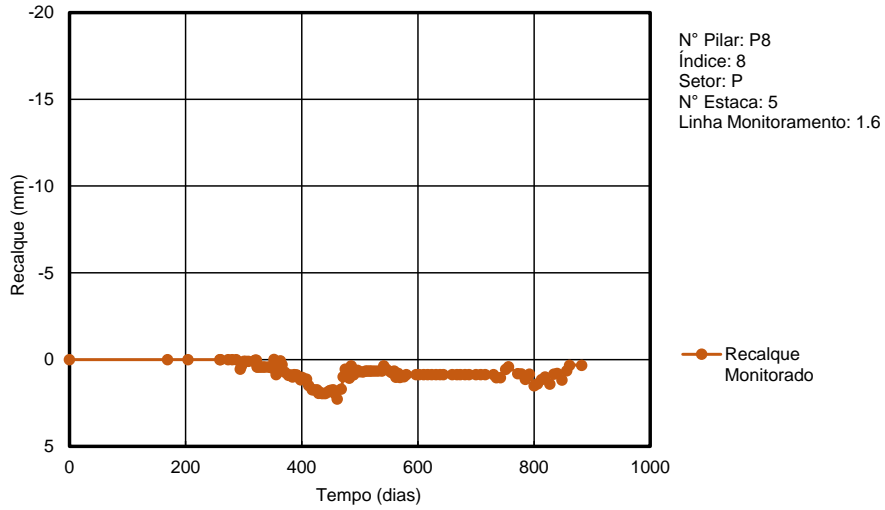
C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do



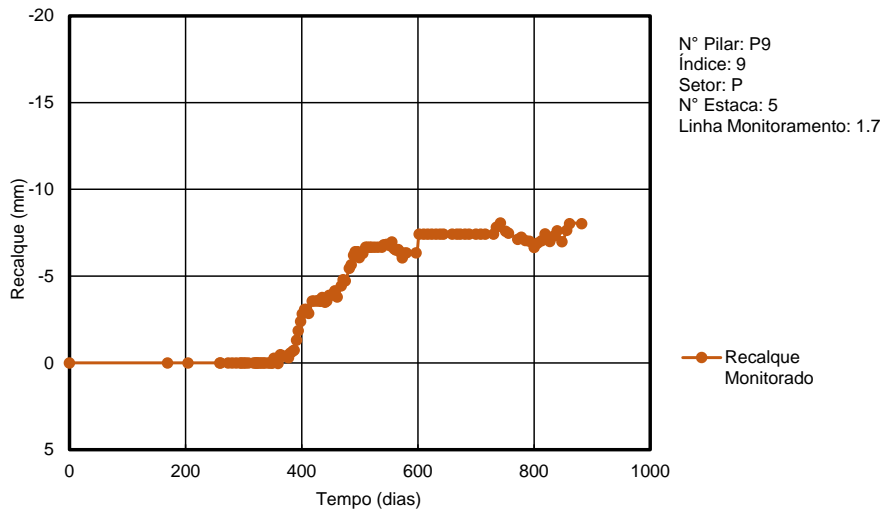
C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do



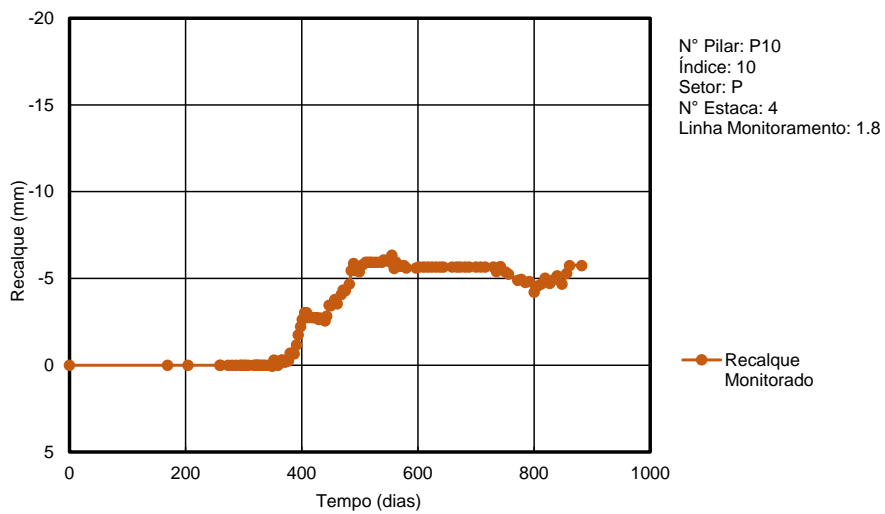
C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do



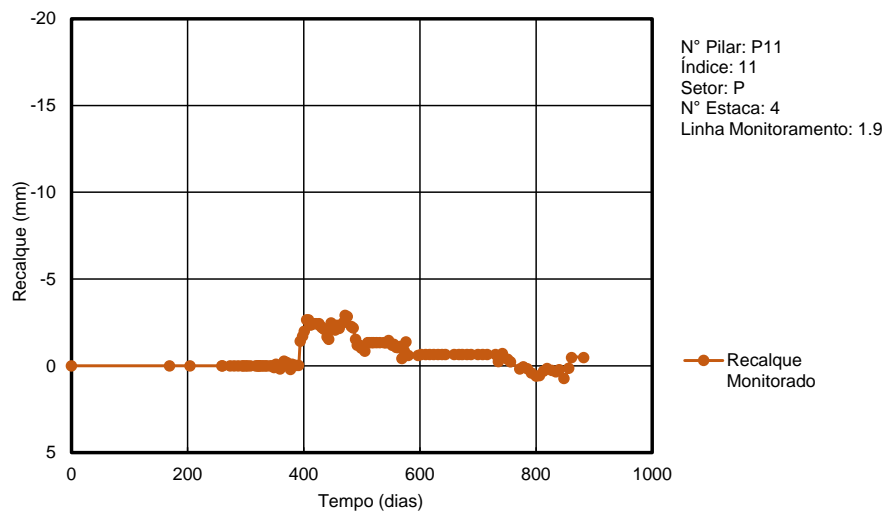
C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do



C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do



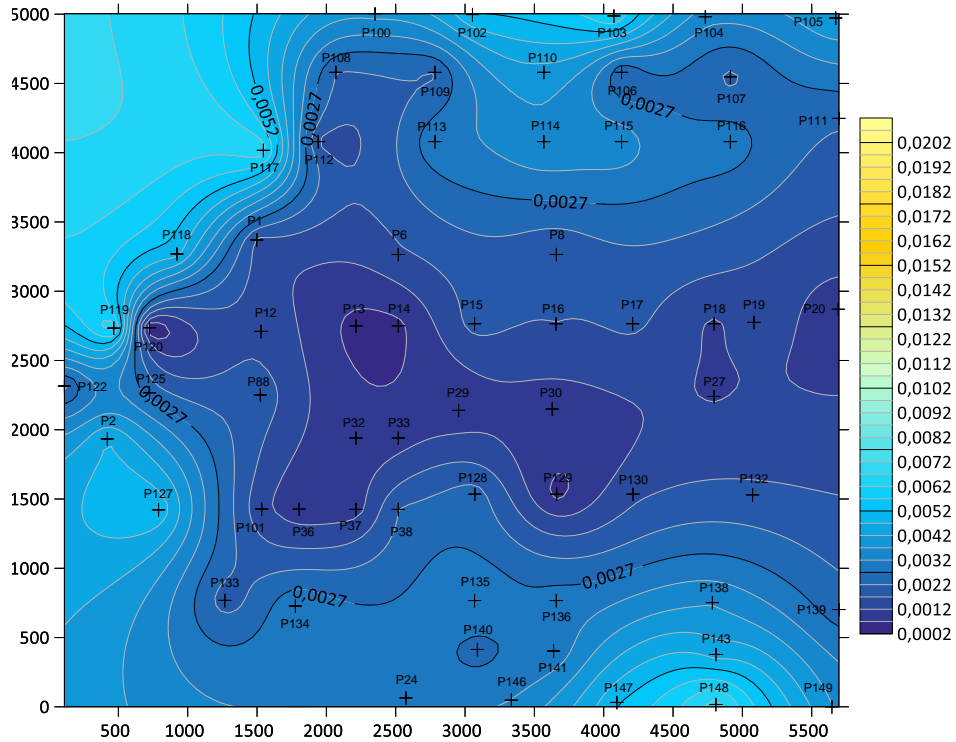
C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do



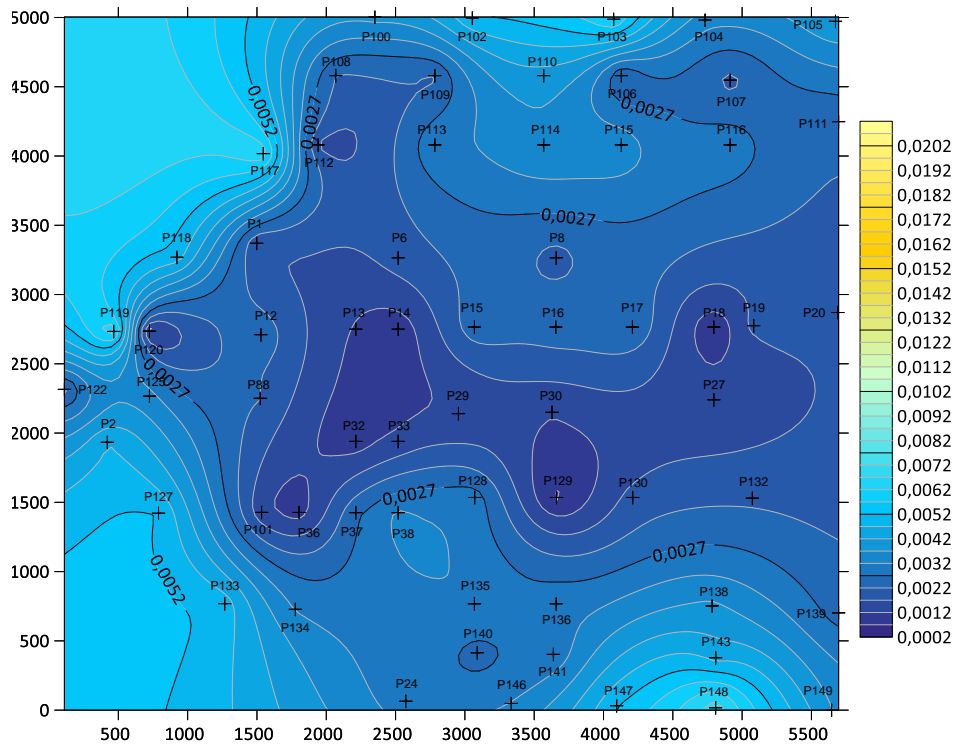
C = pilar central do corpo do prédio; P = pilar periférico do corpo do prédio; I = pilar intermediário do

ANEXO E – ISOCURVAS DOS DADOS E RESULTADOS

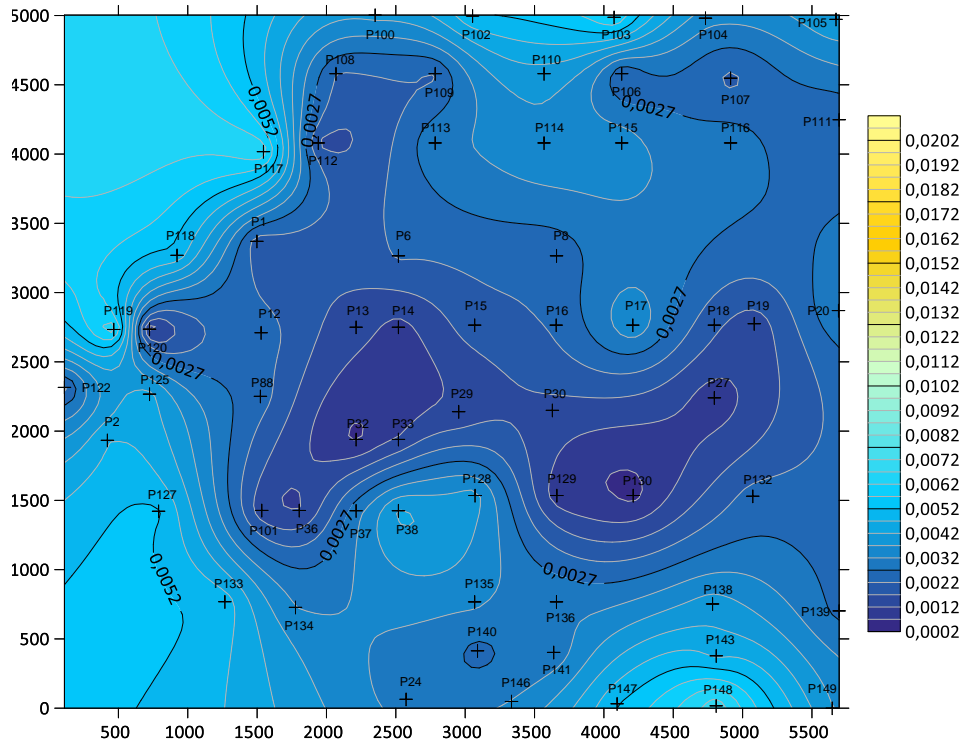
ANEXO E.1 – RECALQUE MONITORADO



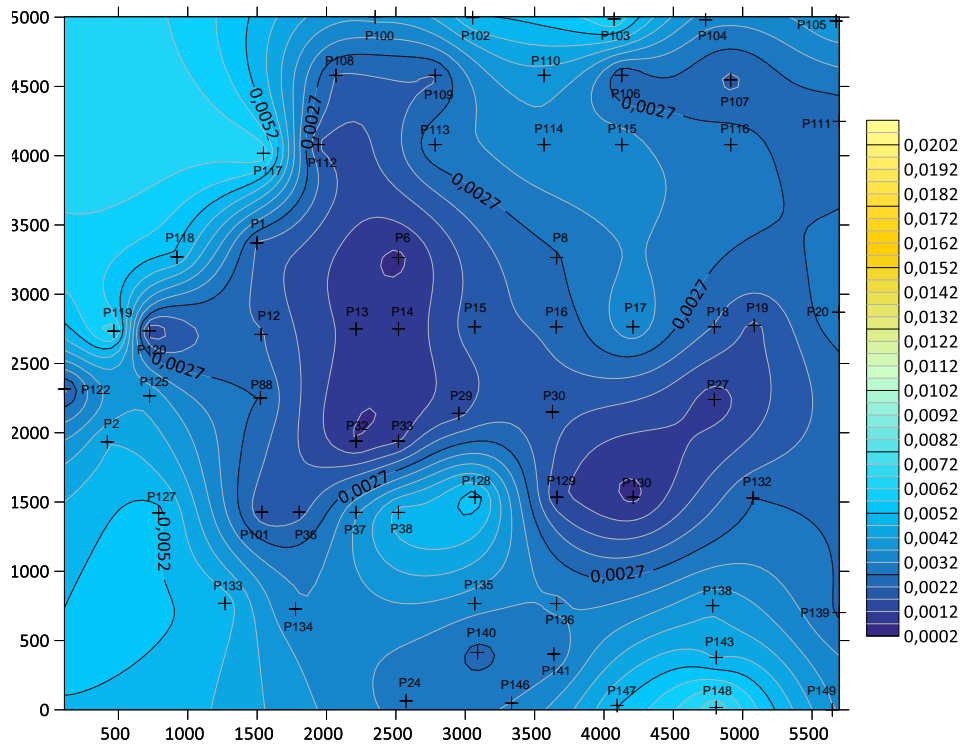
a) Tempo - 296 dias (4º pavimento)



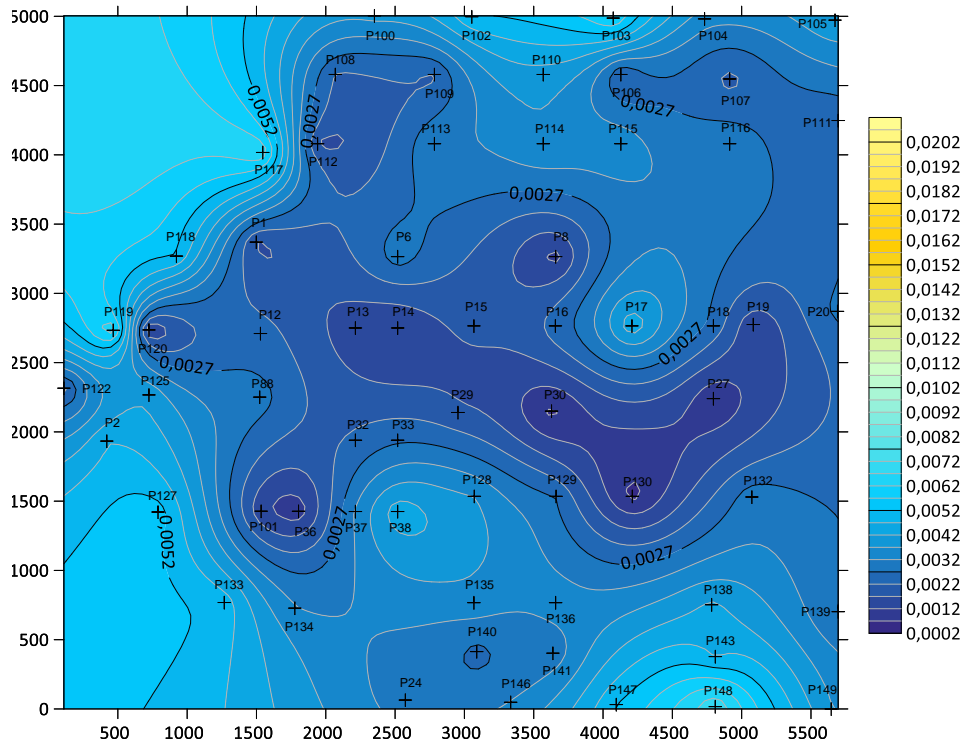
b) Tempo - 317 dias (5º pavimento)



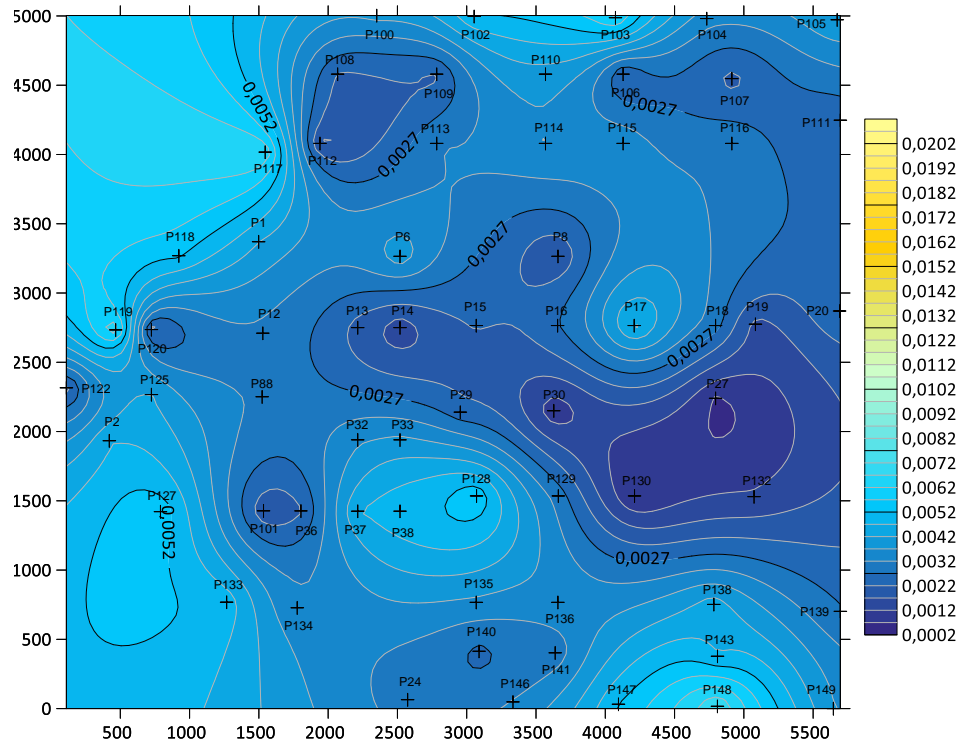
c) Tempo - 342 dias (6º pavimento)



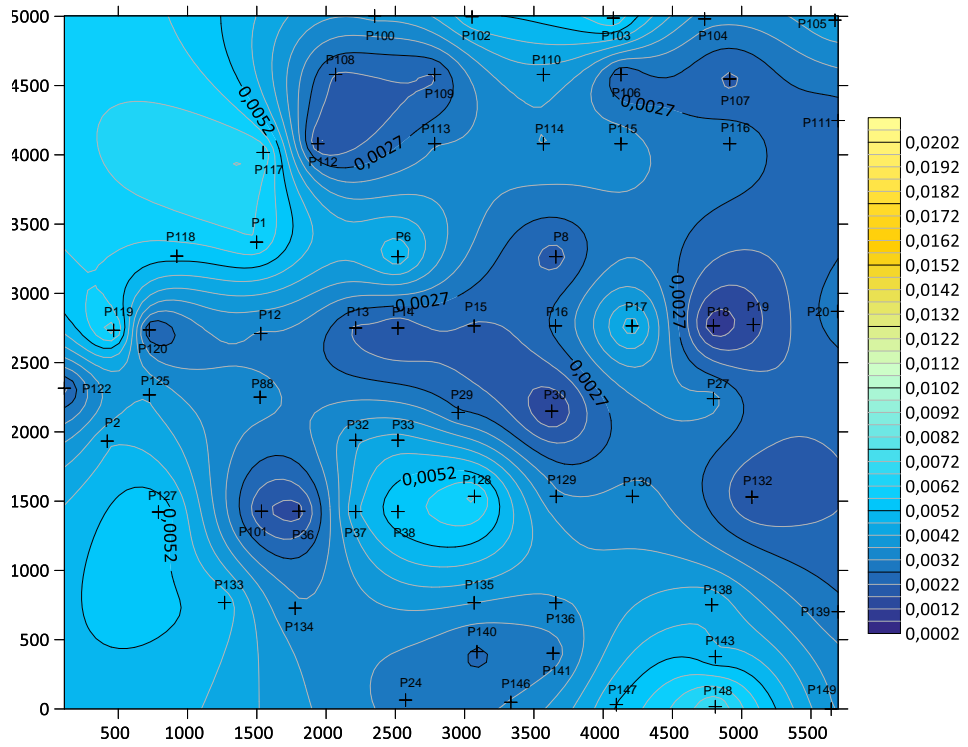
d) 359 dias (7º pavimento)



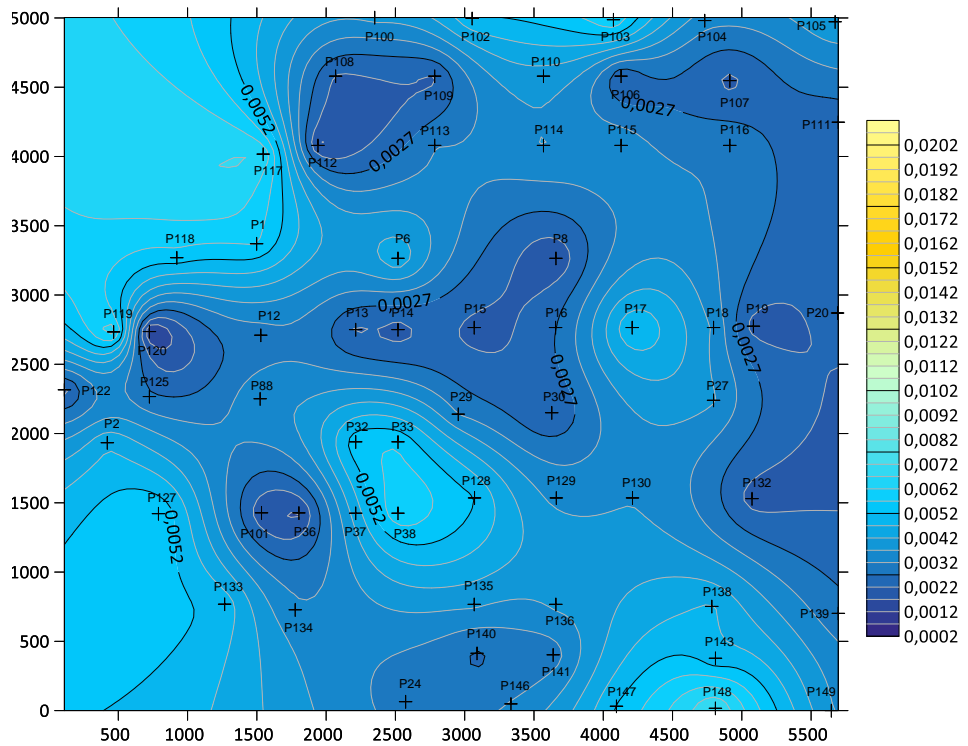
e) Tempo - 401 dias (8º pavimento)



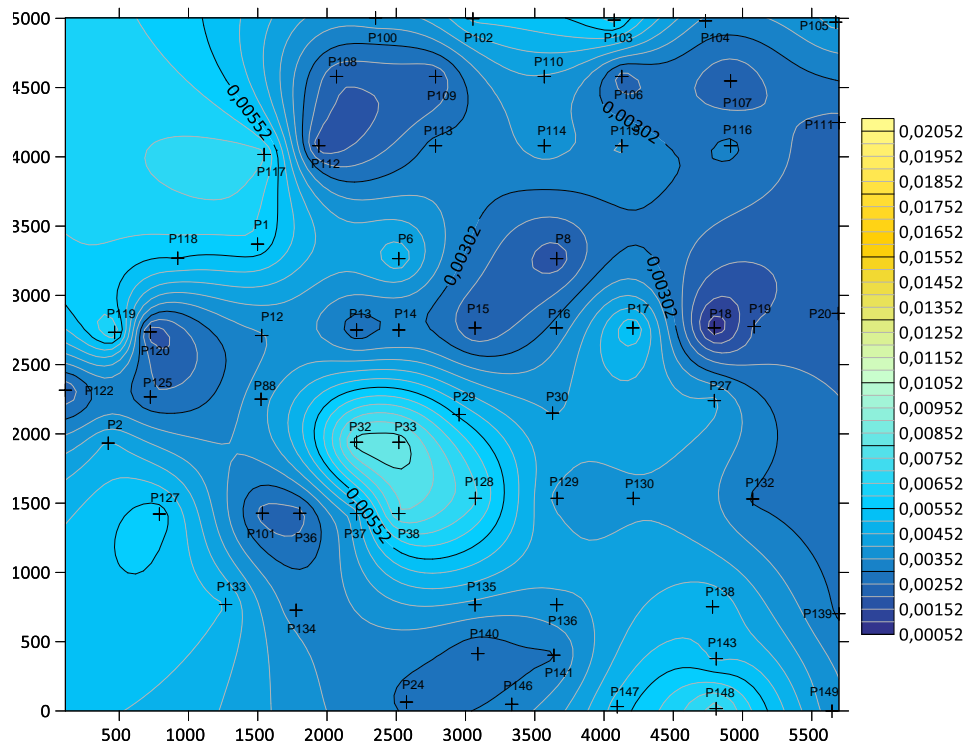
f) Tempo - 421 dias (9º pavimento)



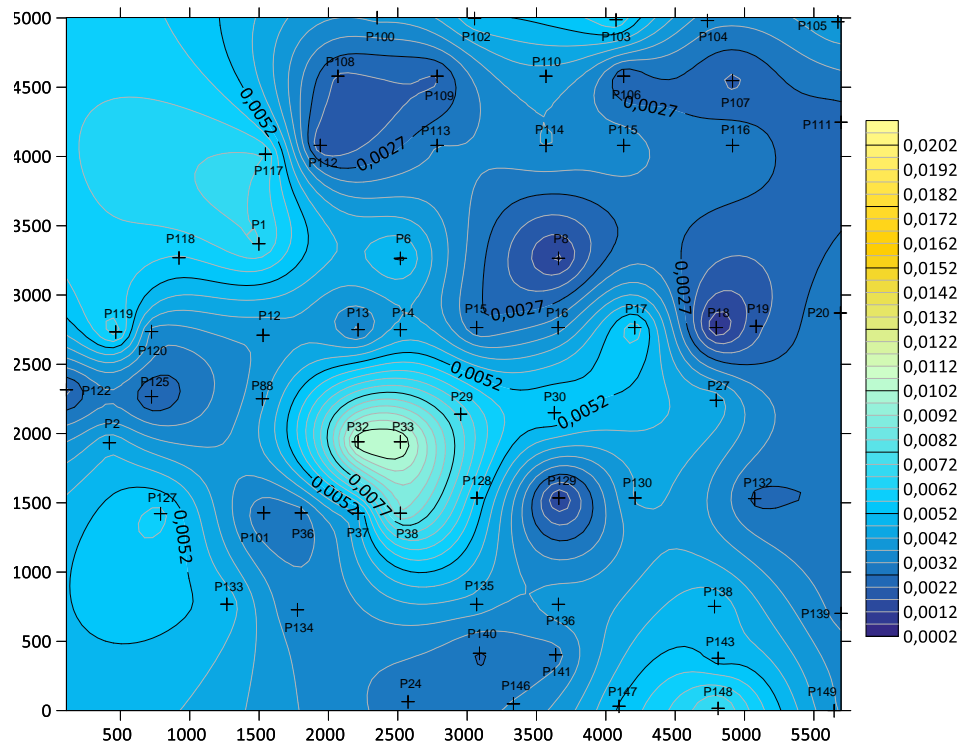
g) Tempo - 435 dias (10^o pavimento)



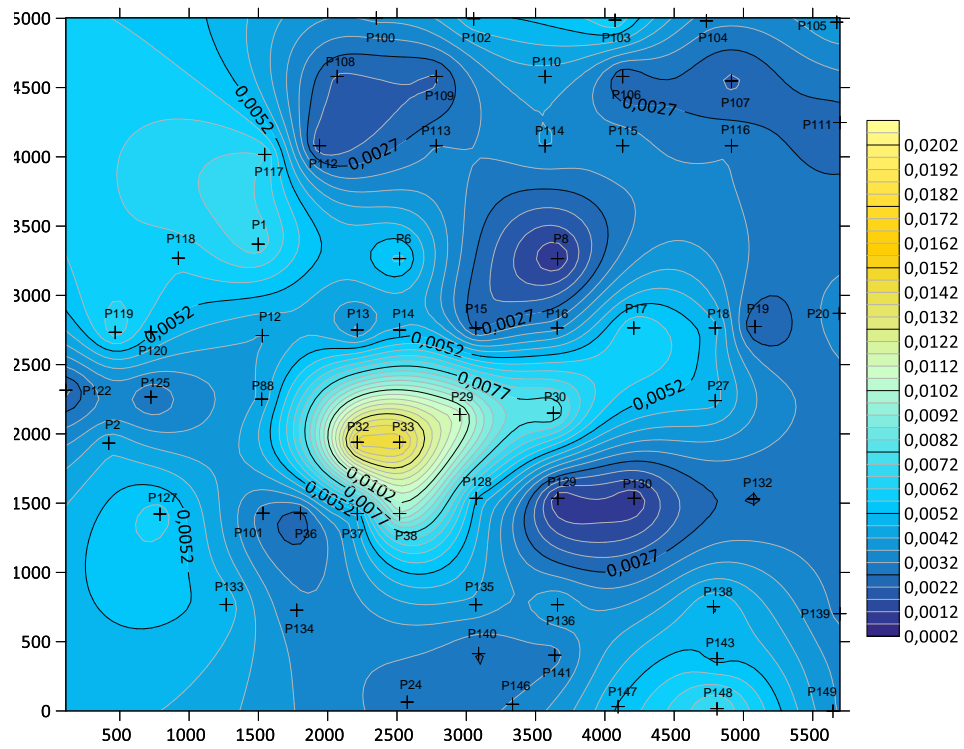
h) Tempo - 448 dias (11^o pavimento)



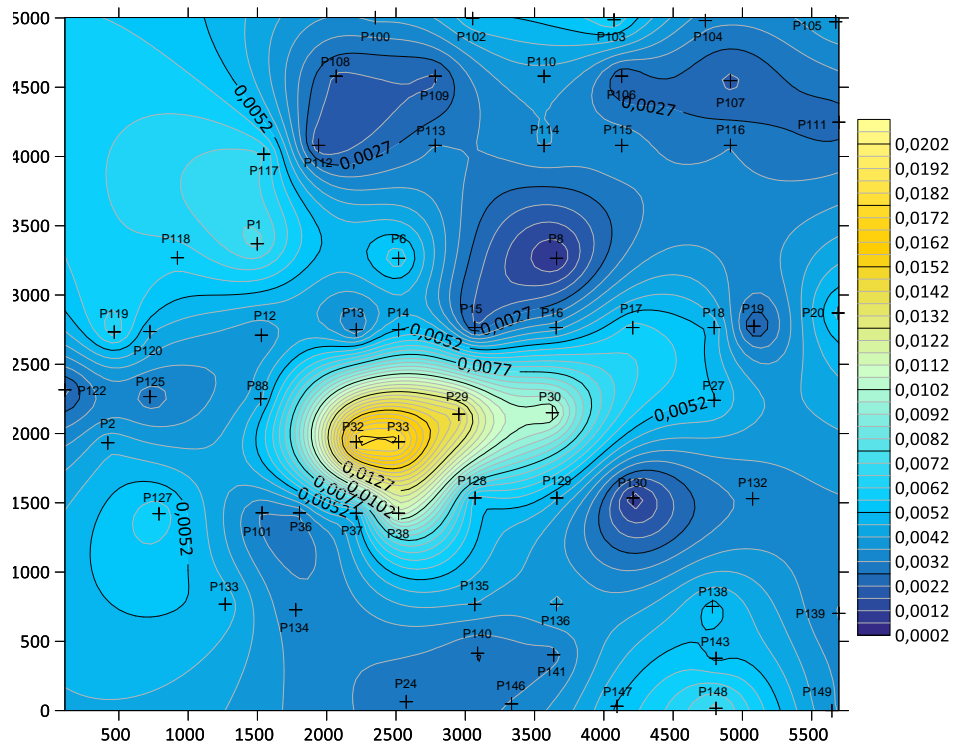
i) Tempo - 468 dias (12^o pavimento)



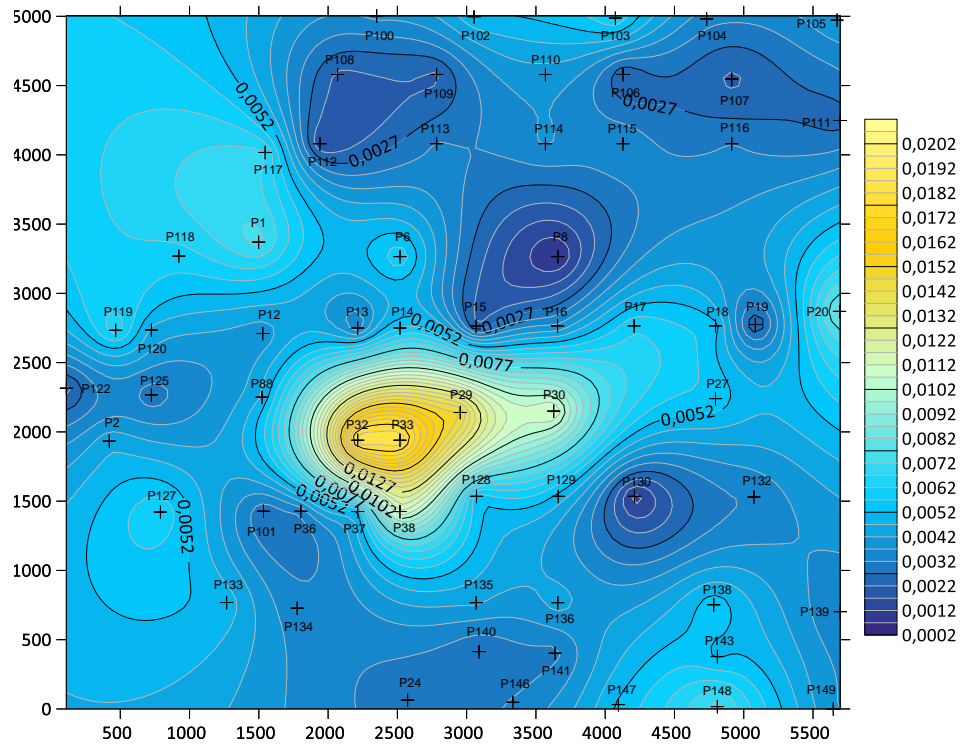
j) Tempo - 482 dias (13^o pavimento)



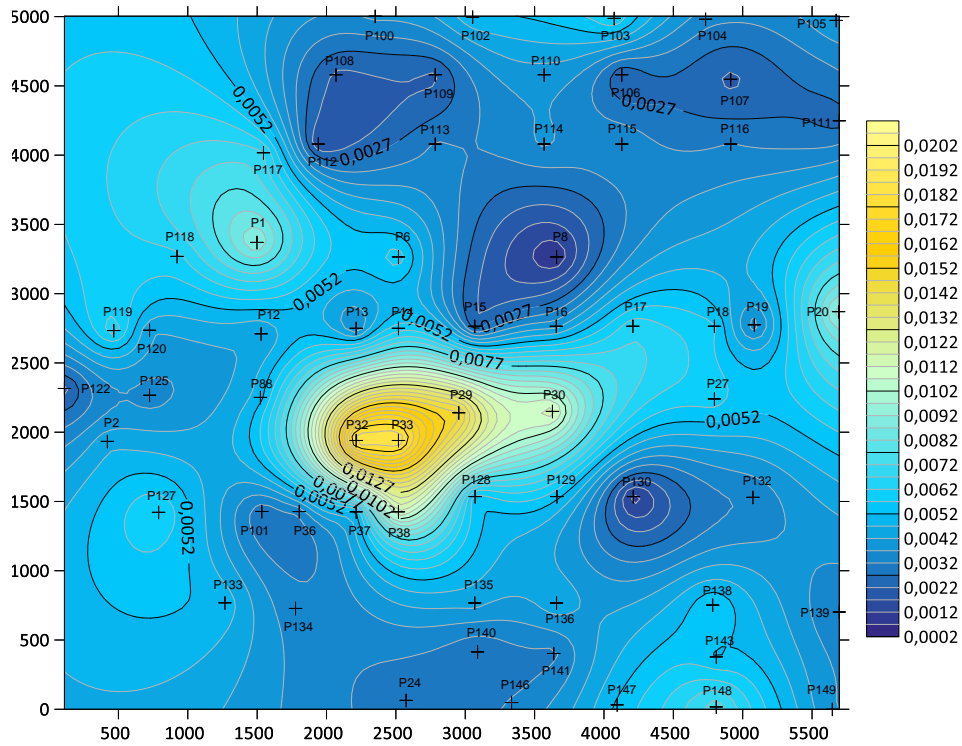
k) Tempo - 499 dias (14^o pavimento)



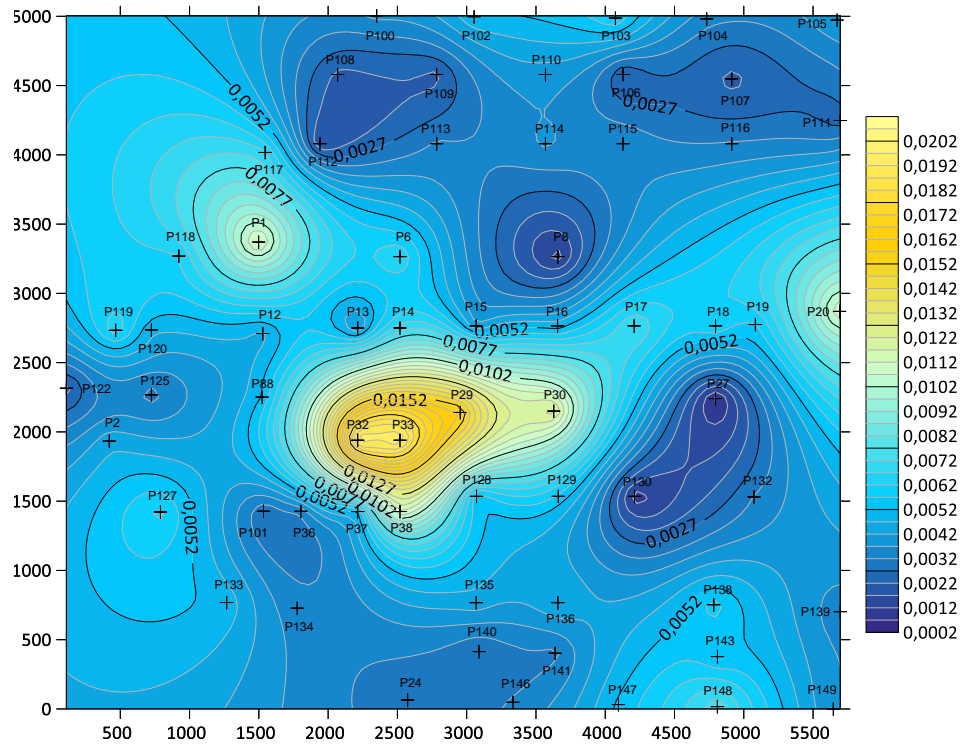
l) Tempo - 520 dias (15^o pavimento)



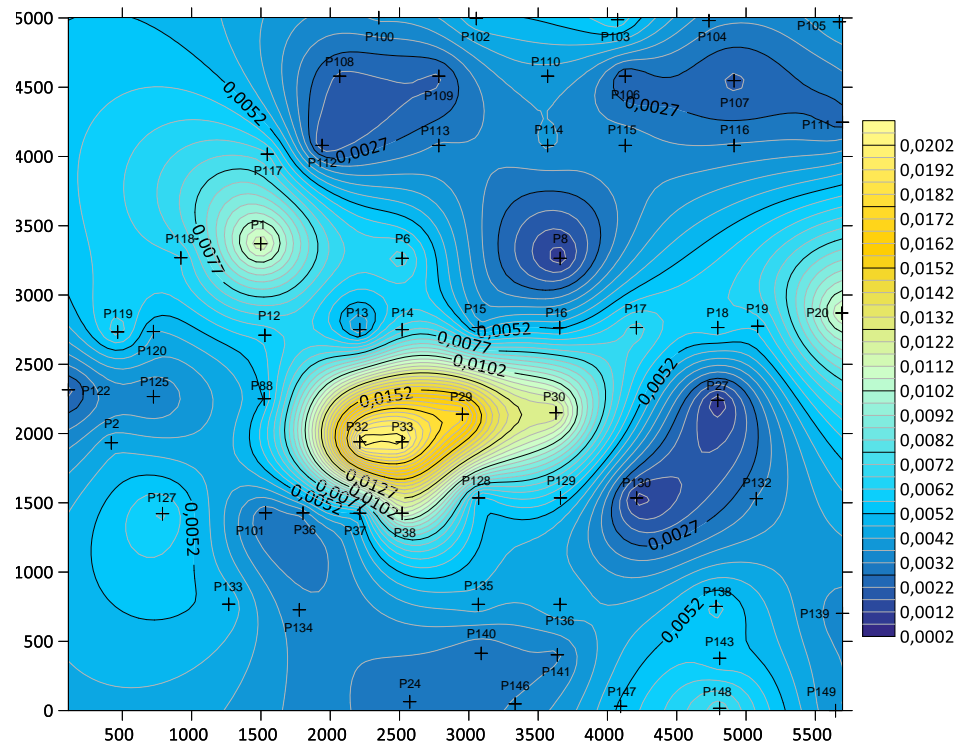
m) Tempo - 538 dias (16º pavimento)



n) Tempo - 555 dias (17º pavimento)

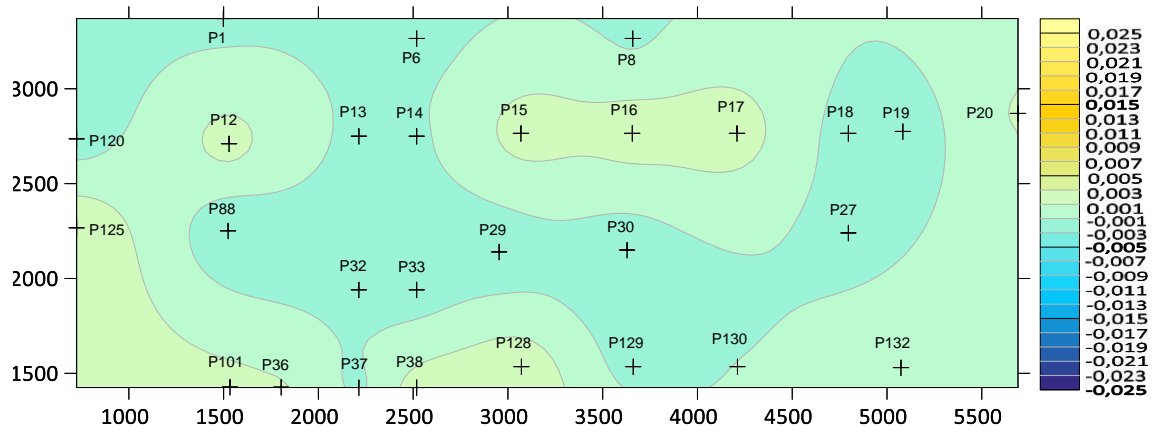


o) Tempo - 576 dias (18^o pavimento)

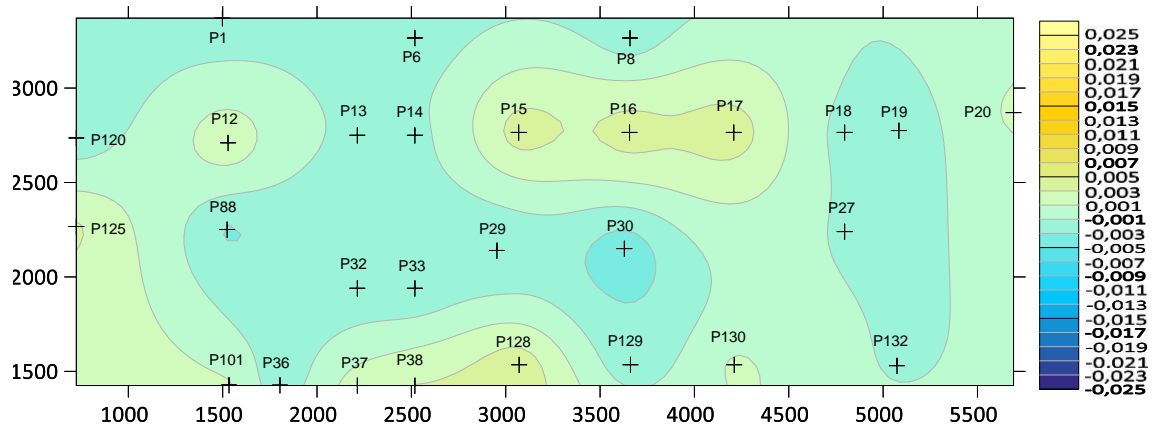


p) Tempo - 594 dias (19^o pavimento)

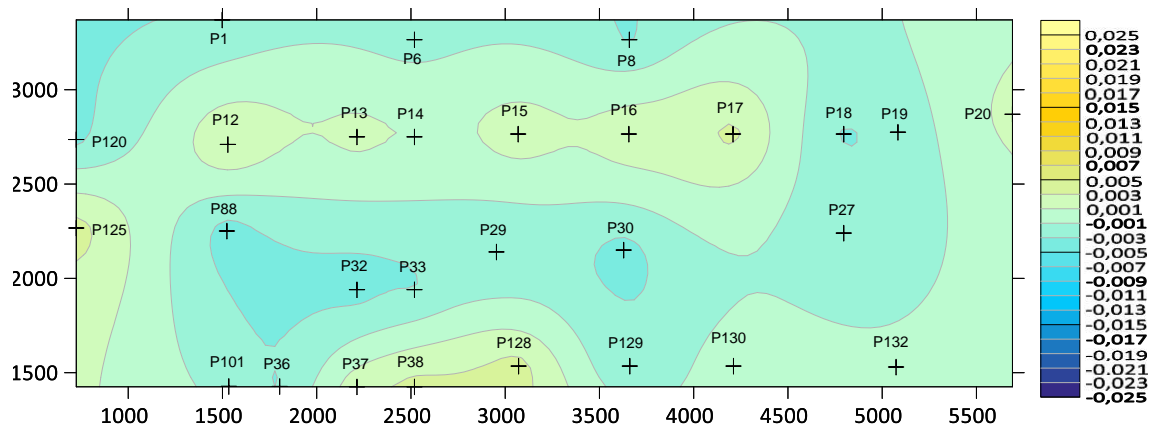
ANEXO E.2 – RECALQUE DIFERENCIAL



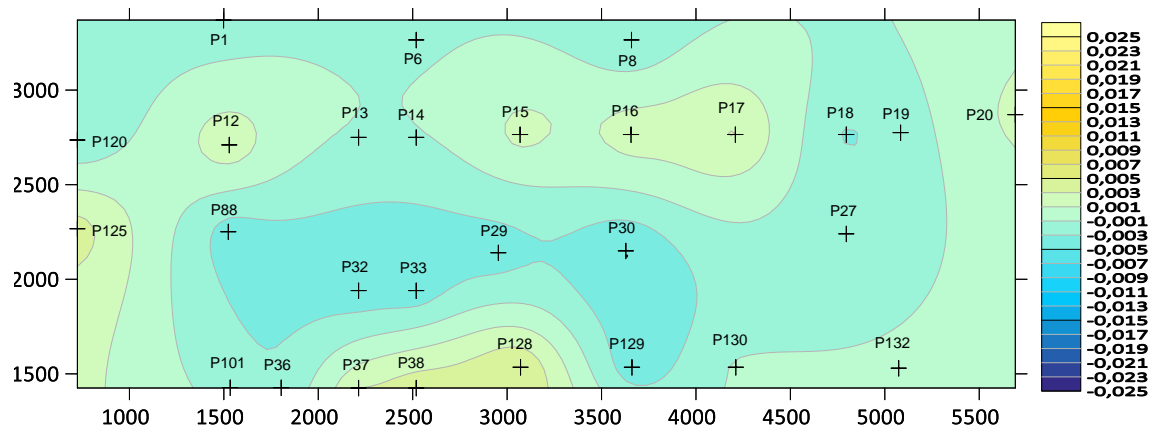
a) Tempo - 296 dias (4º pavimento)



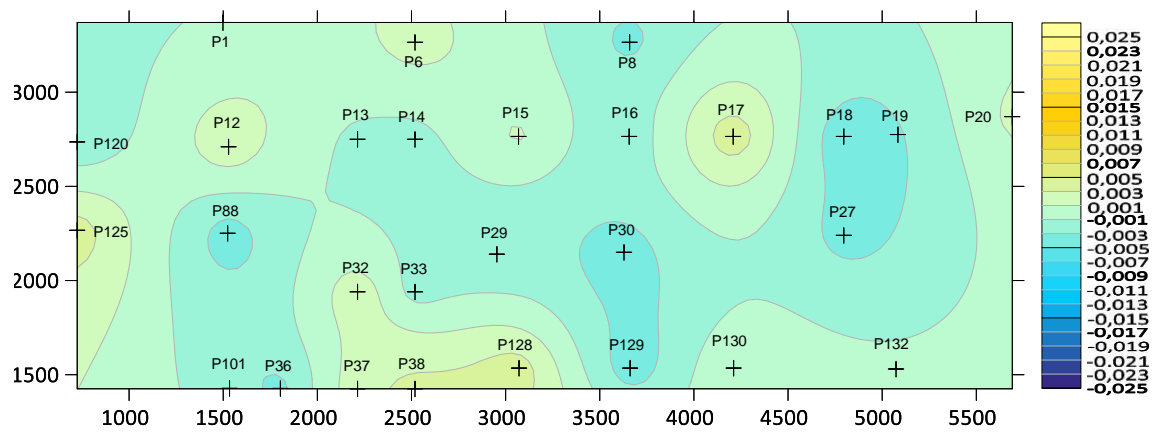
b) Tempo - 317 dias (5º pavimento)



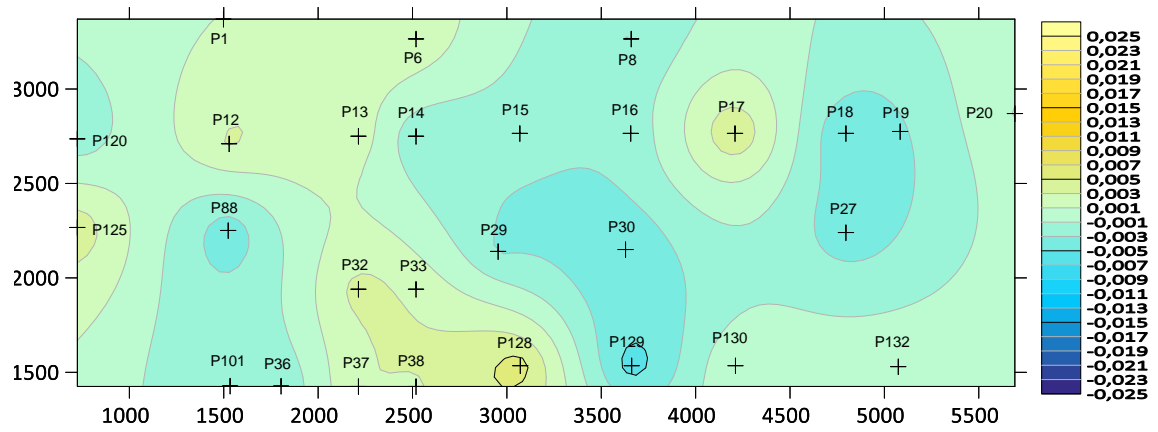
c) Tempo - 342 dias (6º pavimento)



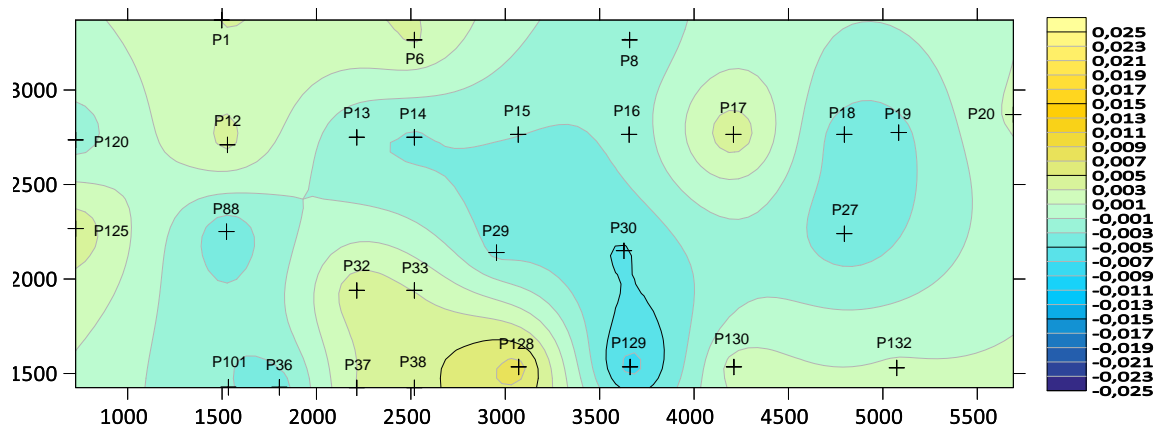
d) Tempo - 359 dias (7^o pavimento)



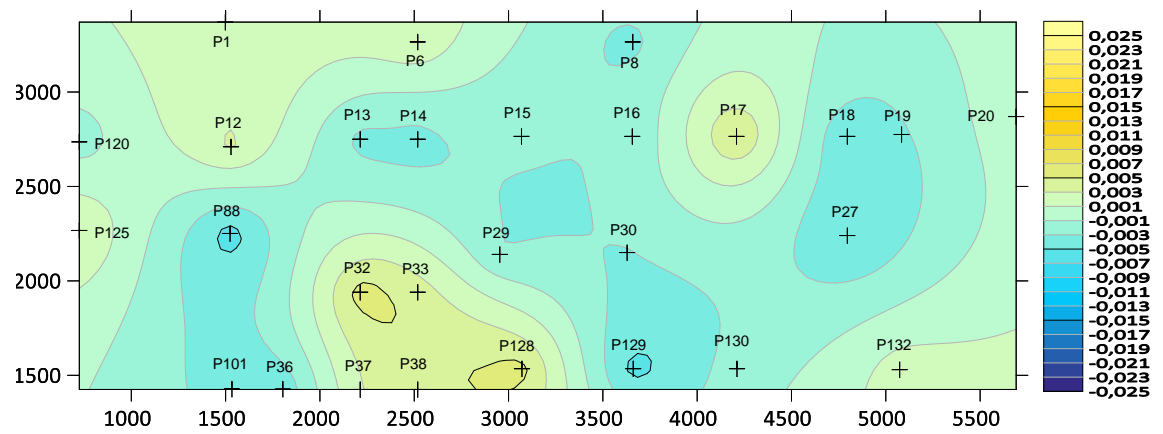
e) Tempo - 401 dias (8^o pavimento)



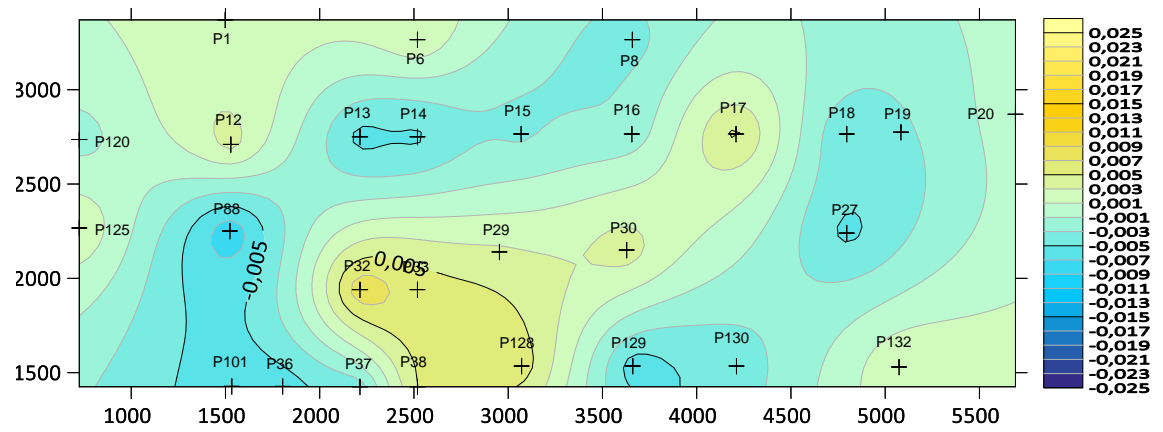
f) Tempo - 421 dias (9^o pavimento)



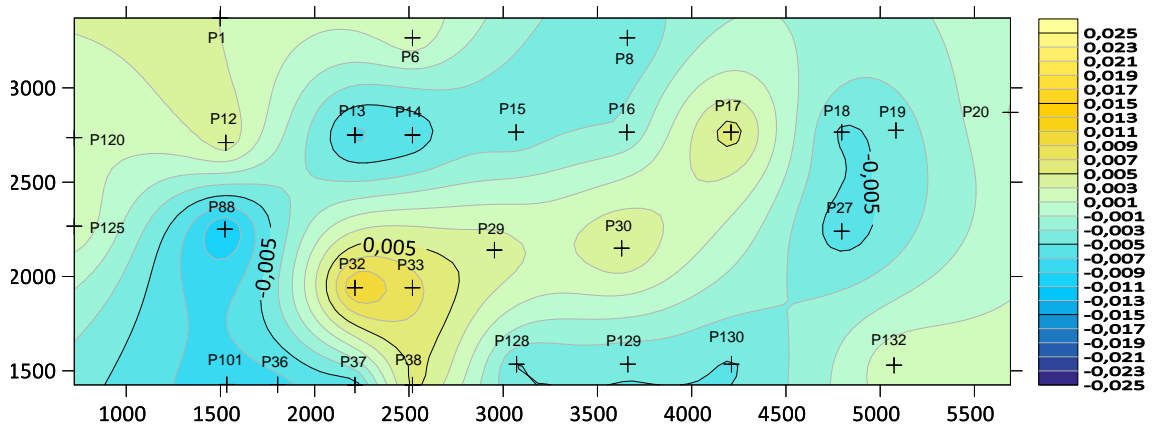
g) Tempo - 435 dias (10^o pavimento)



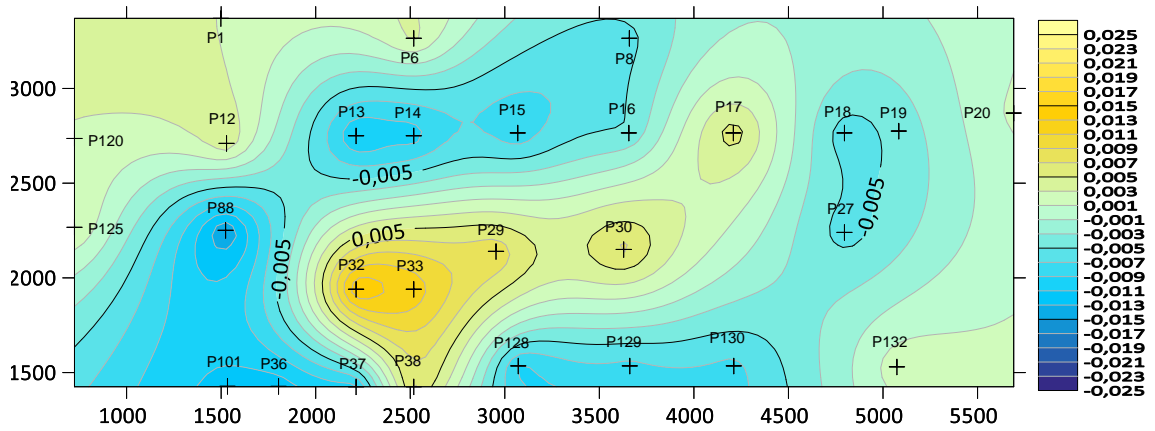
h) Tempo - 448 dias (11^o pavimento)



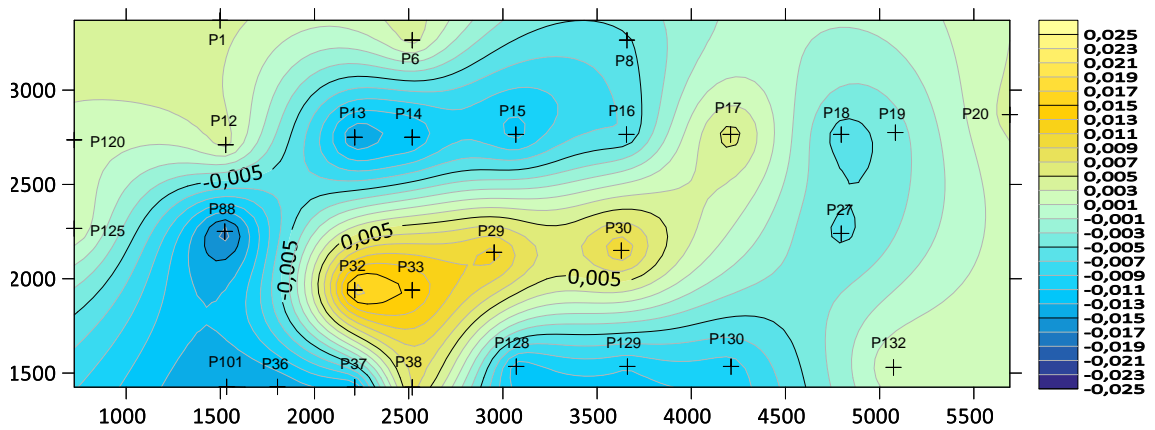
i) Tempo - 468 dias (12^o pavimento)



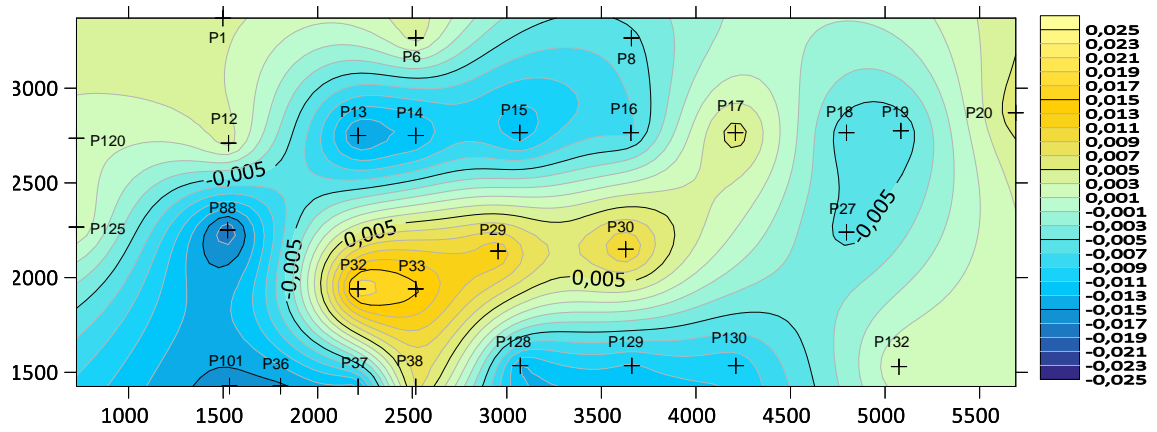
j) Tempo - 482 dias (13º pavimento)



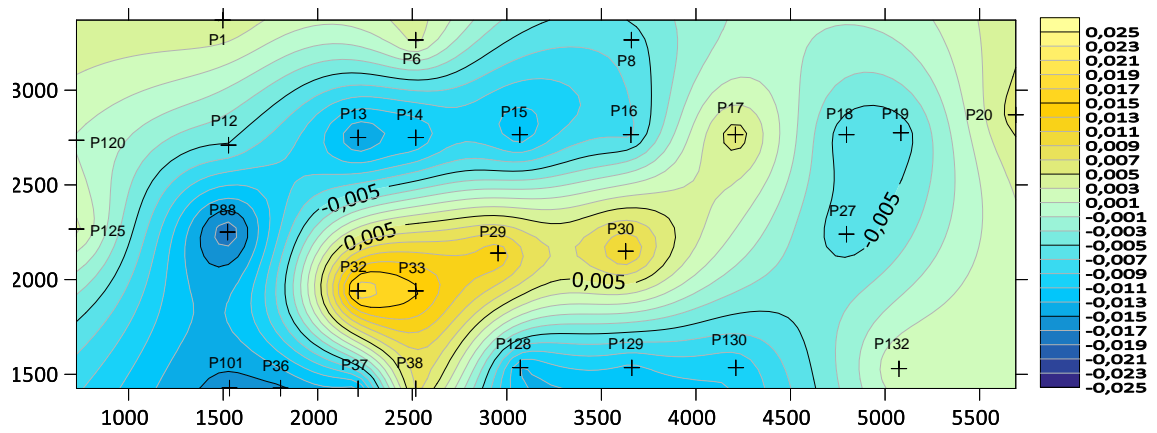
k) Tempo - 499 dias (14º pavimento)



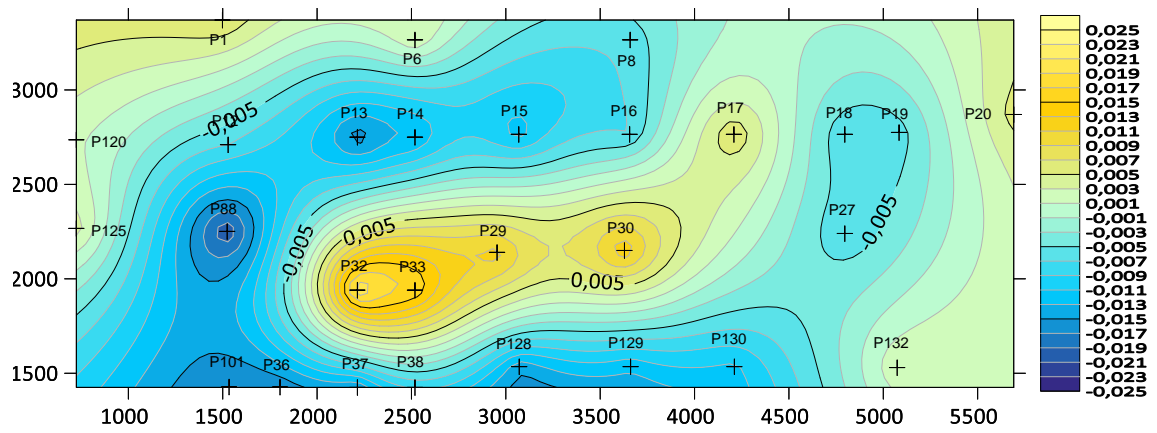
l) Tempo - 520 dias (15º pavimento)



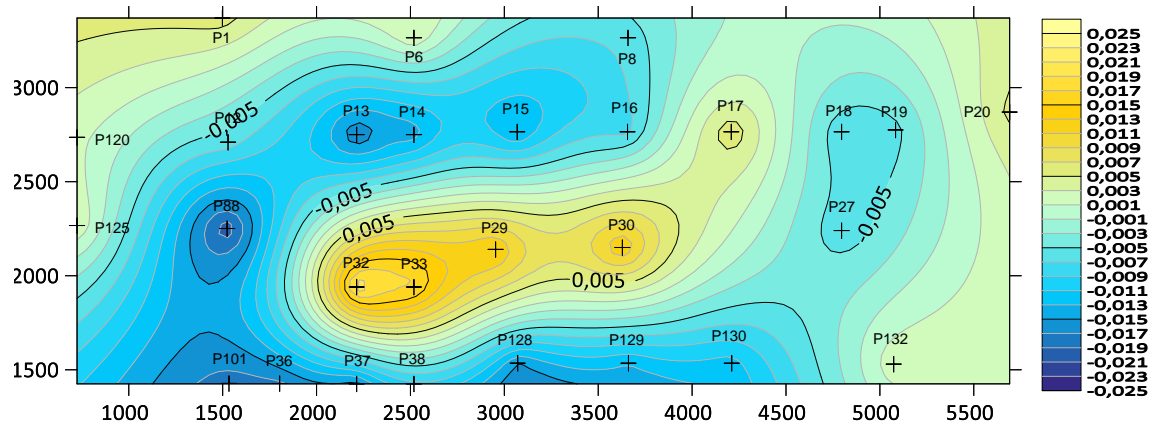
m) Tempo - 538 dias (16º pavimento)



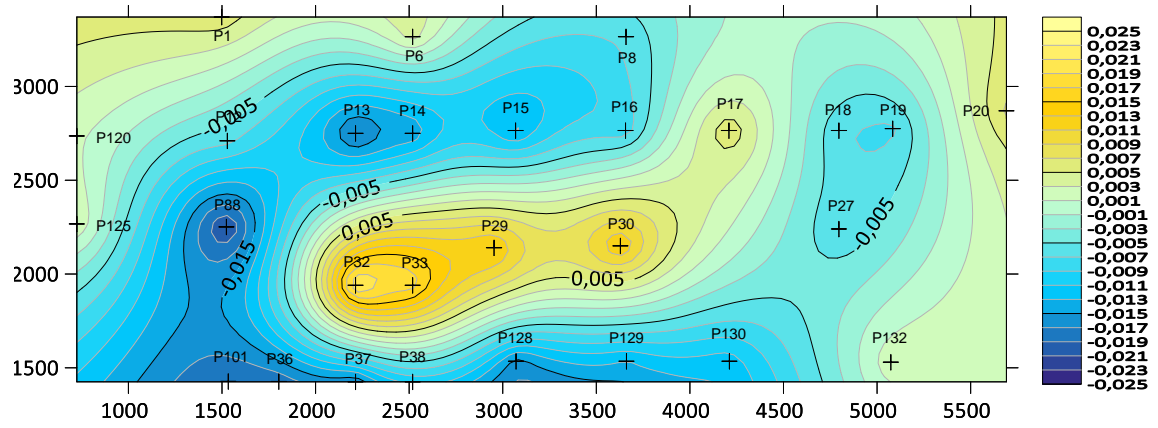
n) Tempo - 555 dias (17º pavimento)



o) Tempo - 576 dias (18º pavimento)

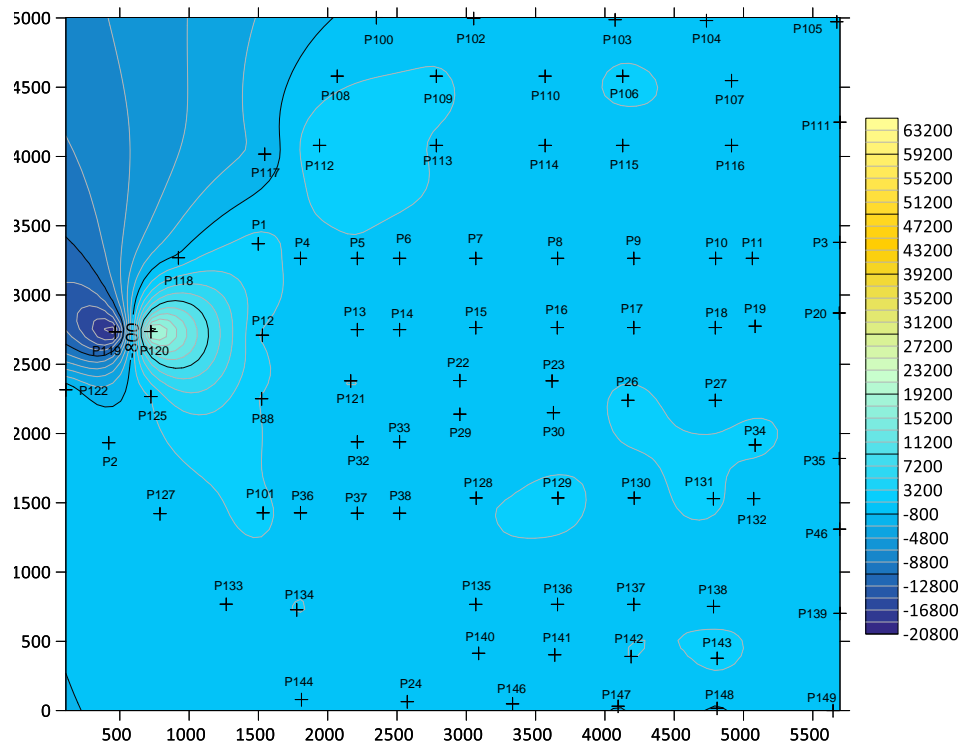


p) Tempo - 594 dias (19º pavimento)

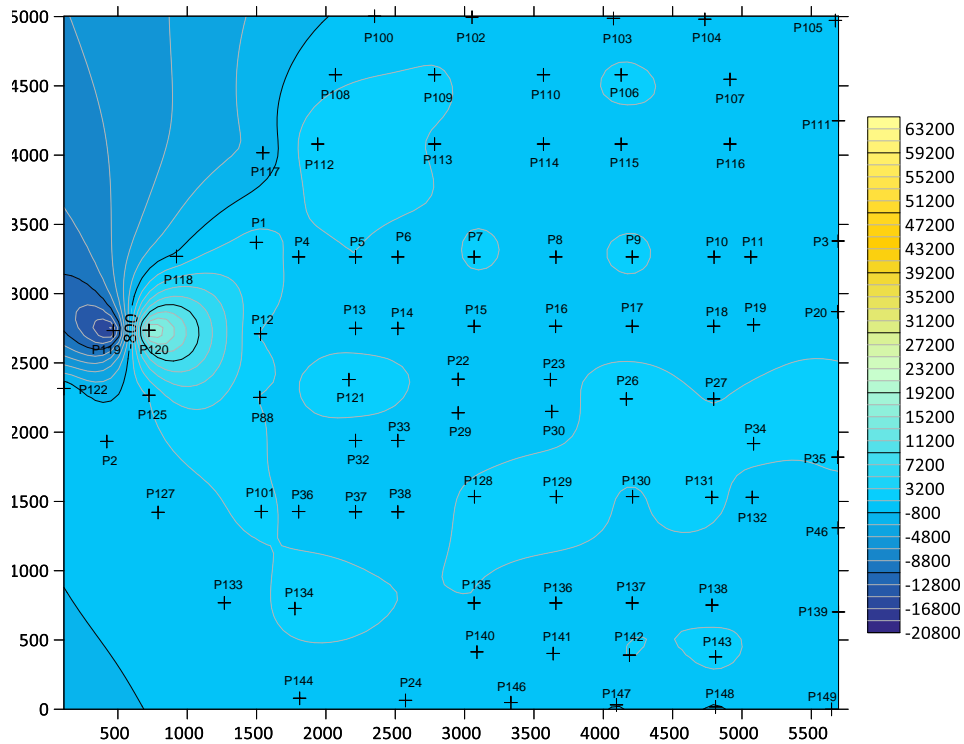


q) Tempo - 621 dias (20º pavimento)

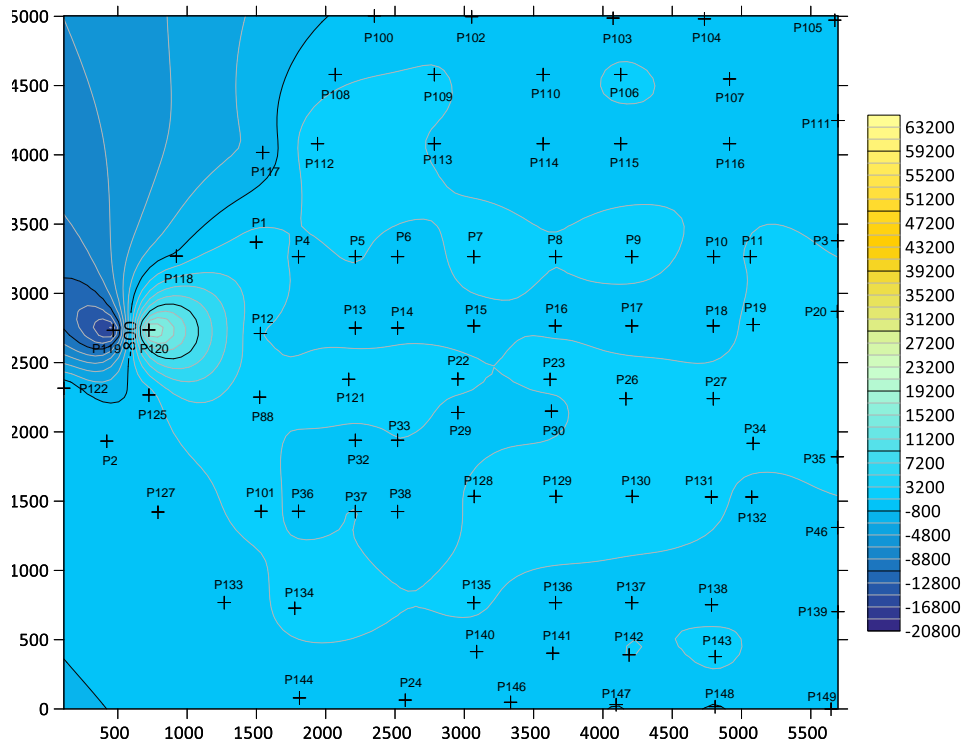
ANEXO E.3 – CARGA APÓS INDUZIR RECALQUE MONITORADO



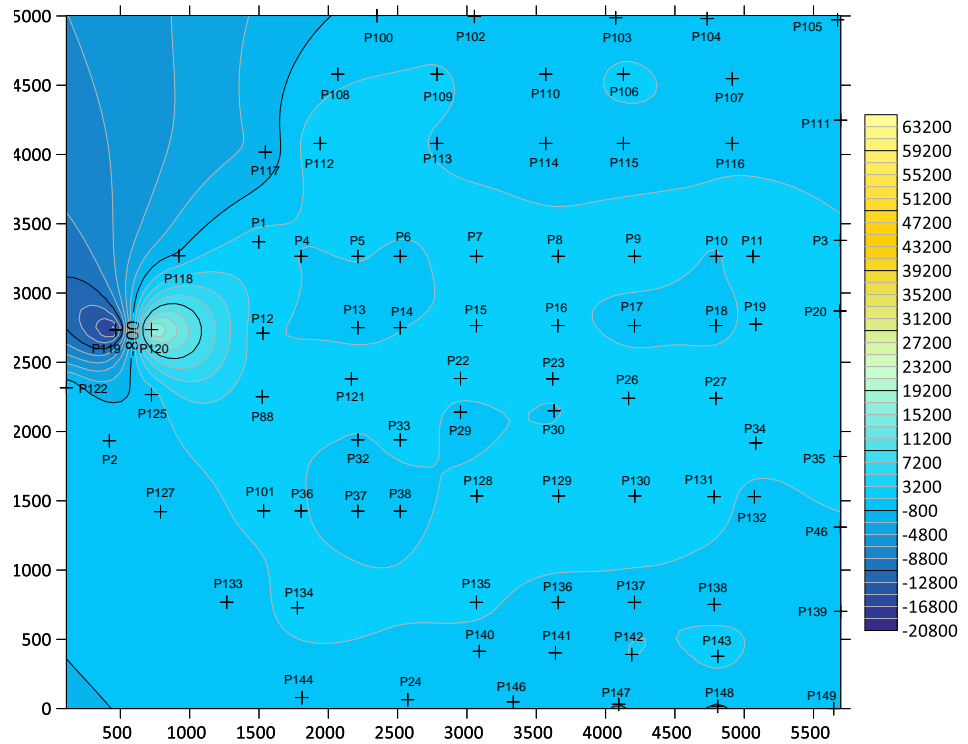
a) Tempo - 296 dias (4º pavimento)



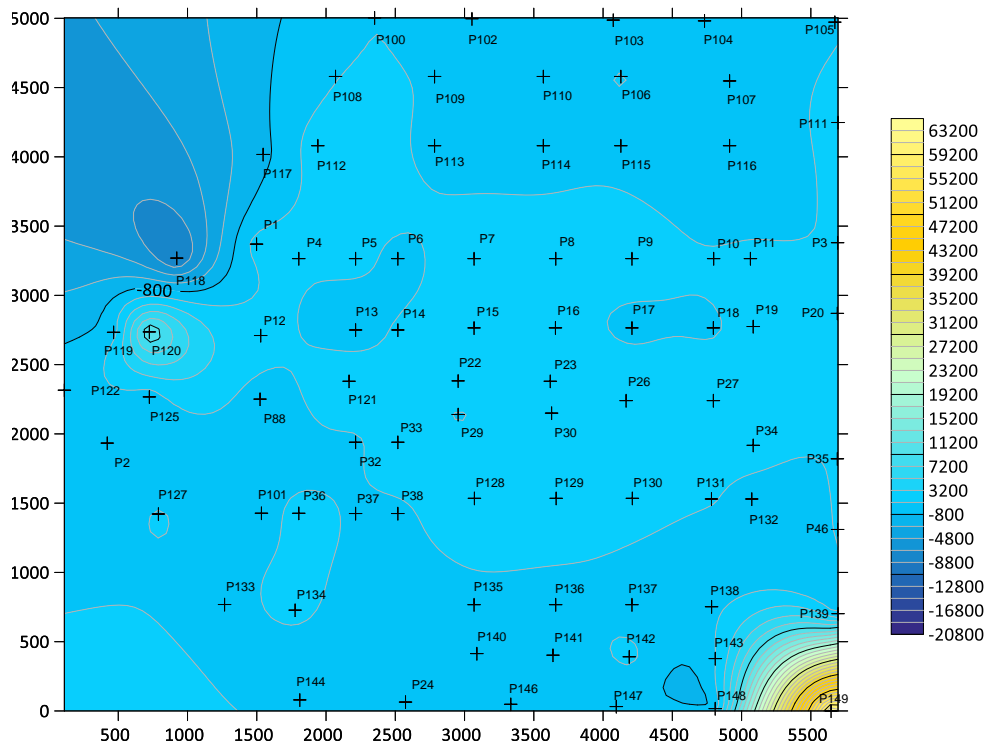
b) Tempo - 317 dias (5º pavimento)



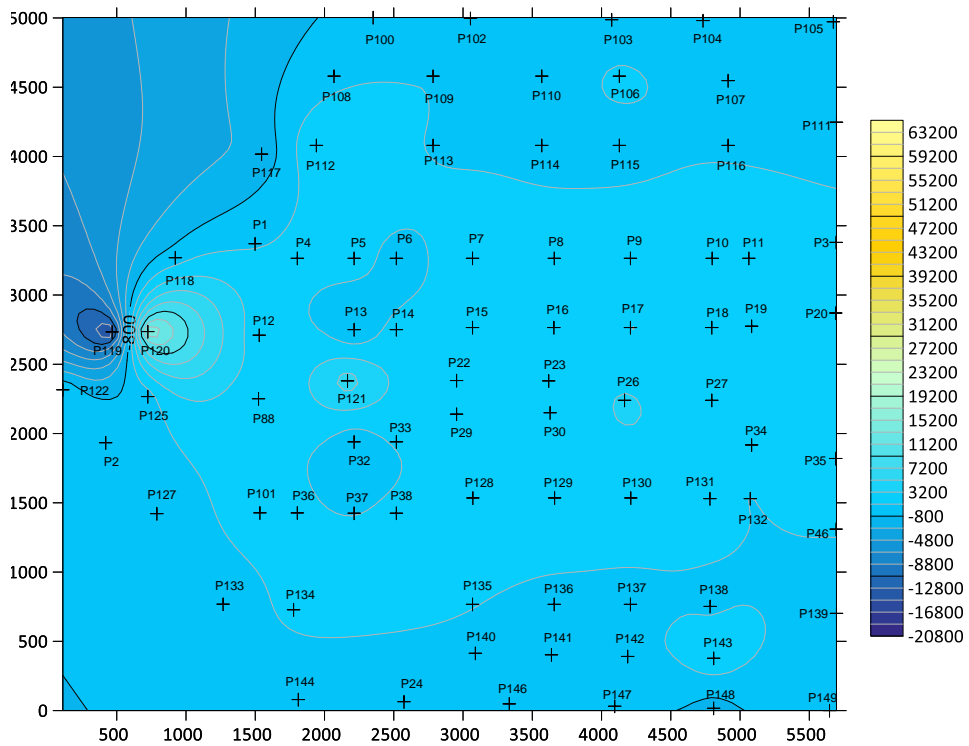
c) Tempo - 342 dias (6º pavimento)



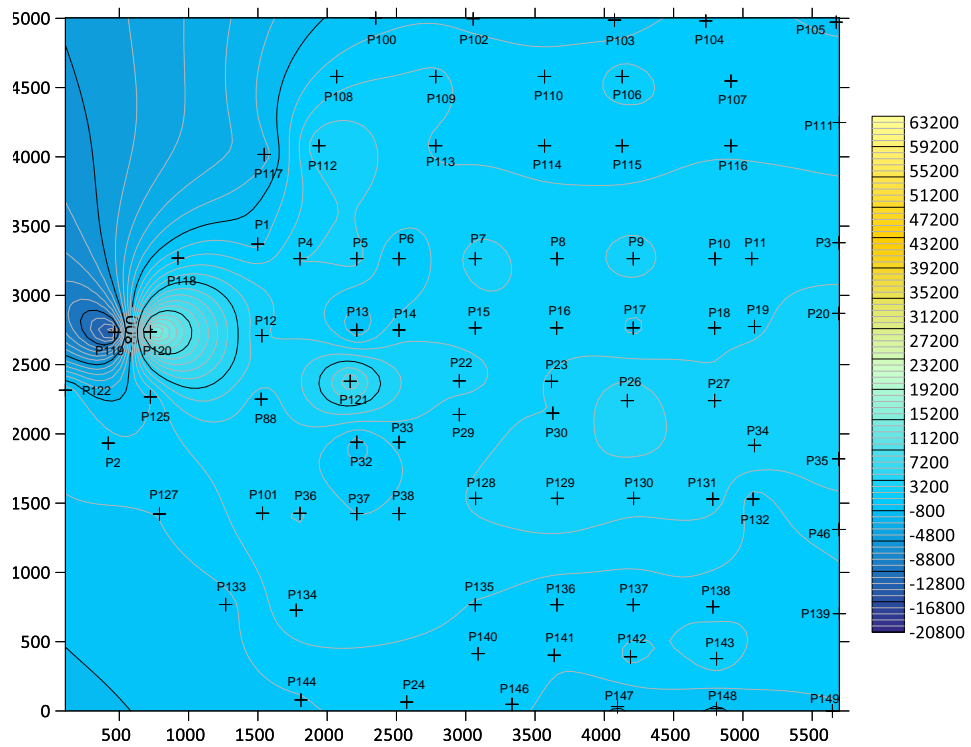
d) Tempo - 359 dias (7º pavimento)



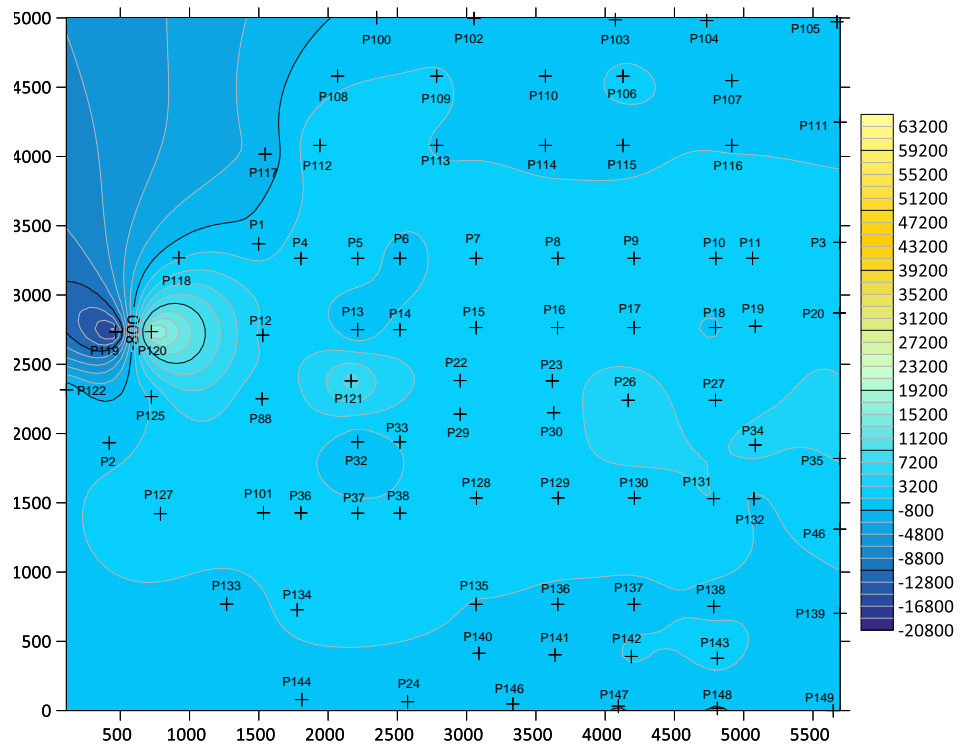
e) Tempo - 401 dias (8º pavimento)



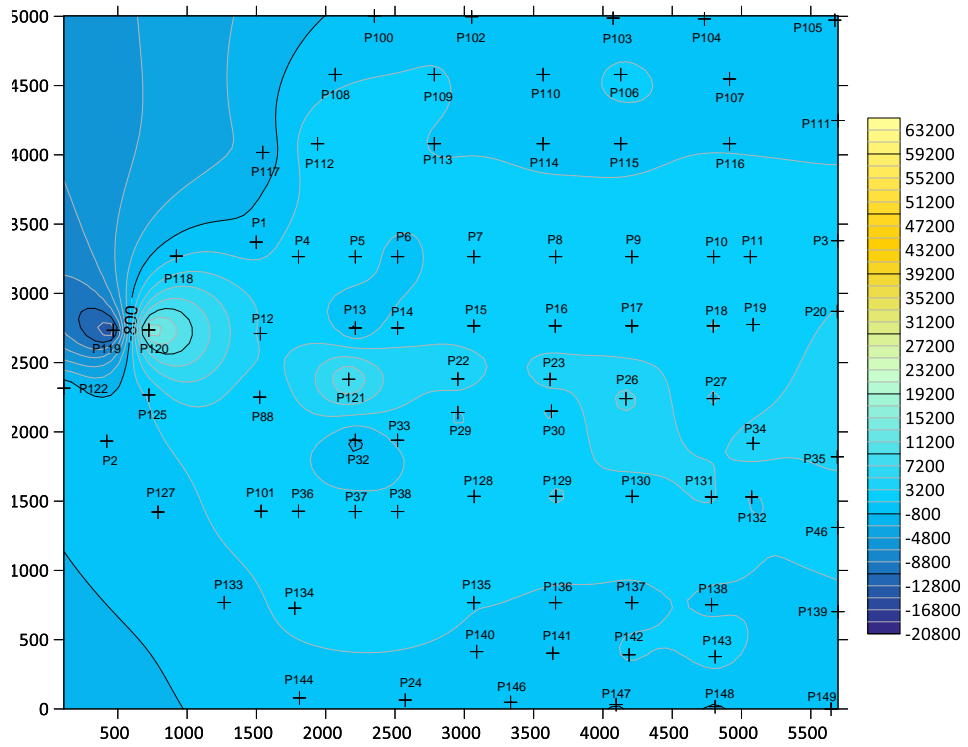
f) Tempo - 421 dias (9º pavimento)



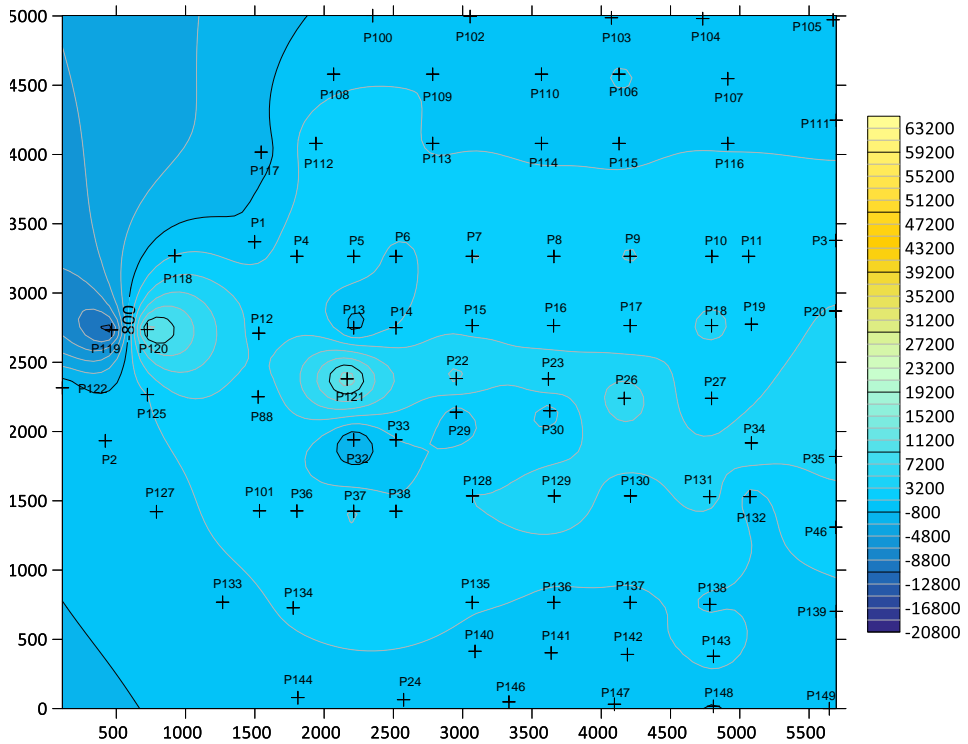
g) Tempo - 435 dias (10^o pavimento)



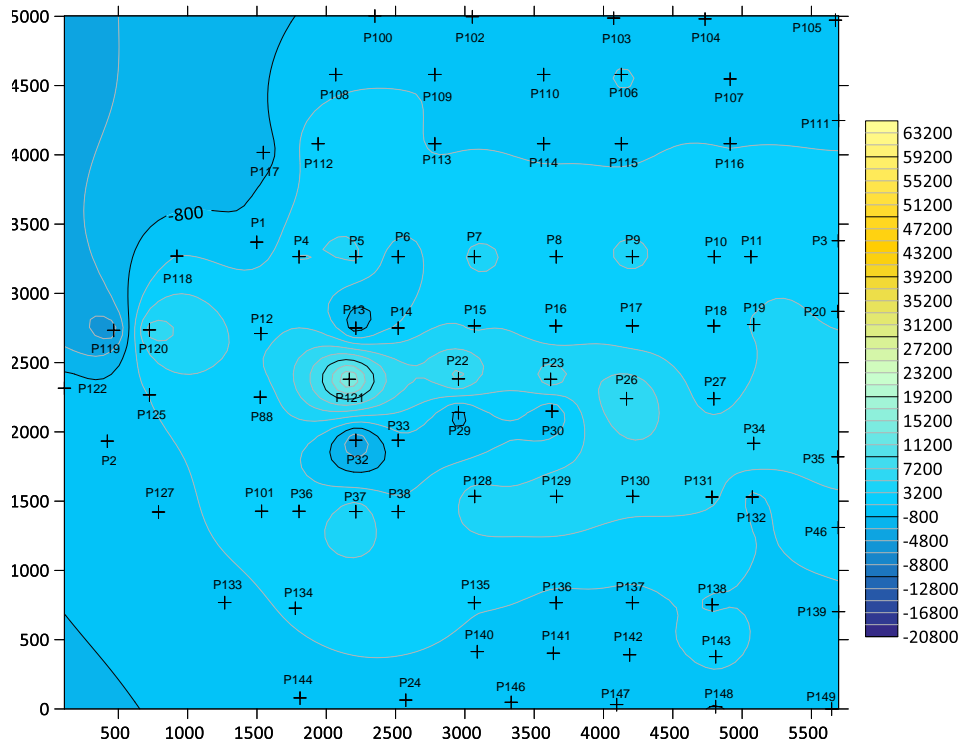
h) Tempo - 448 dias (11^o pavimento)



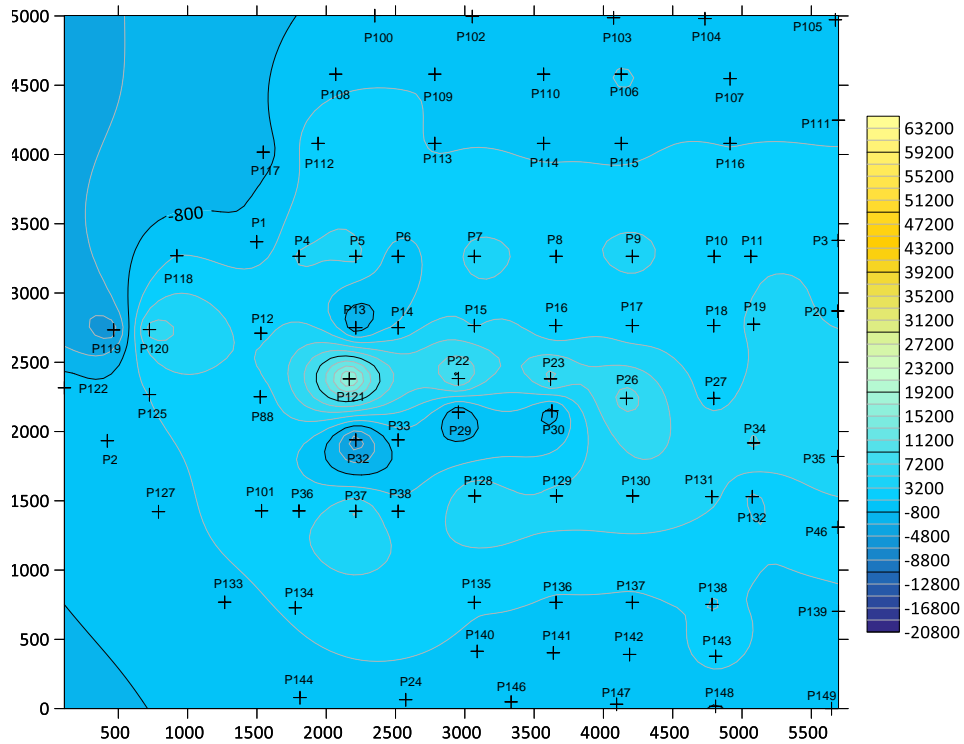
i) Tempo - 468 dias (12^o pavimento)



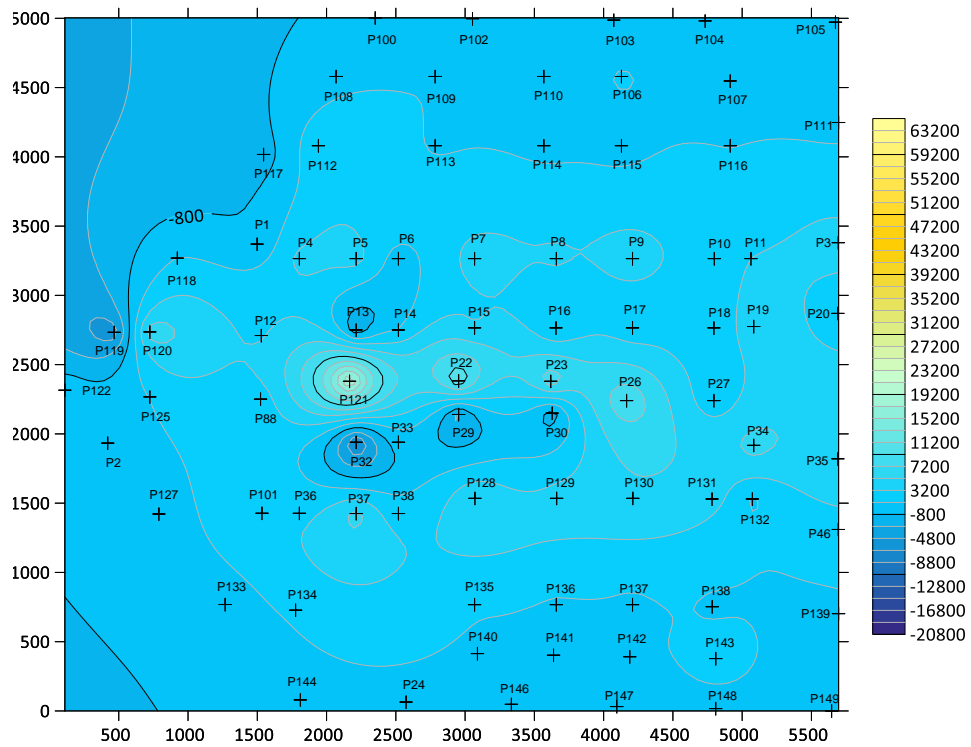
j) Tempo - 482 dias (13^o pavimento)



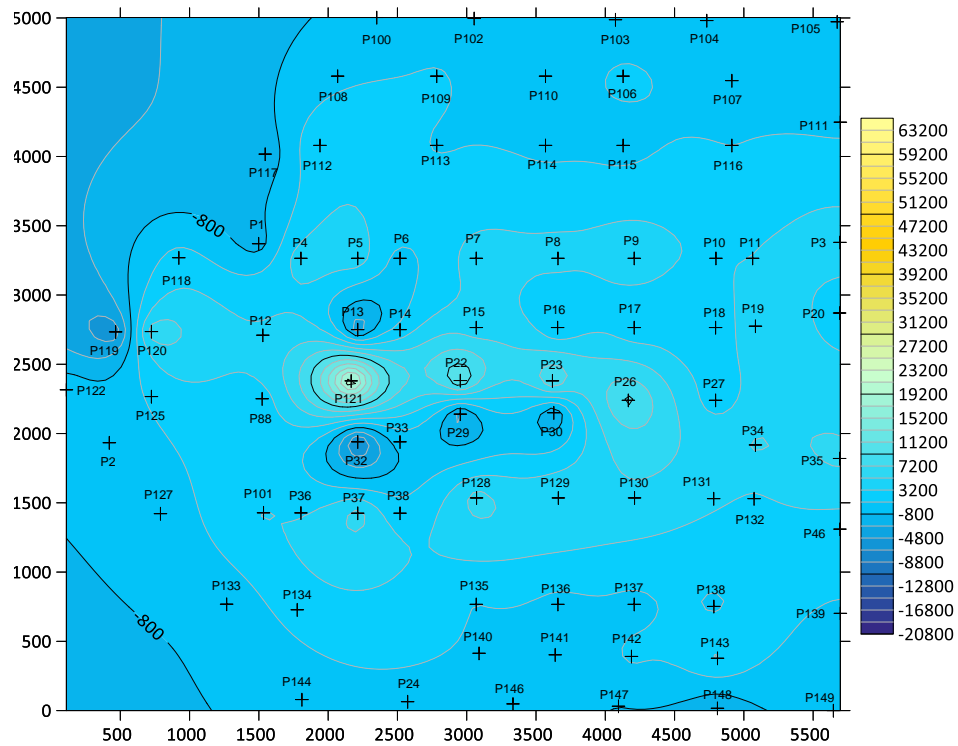
k) Tempo - 499 dias (14º pavimento)



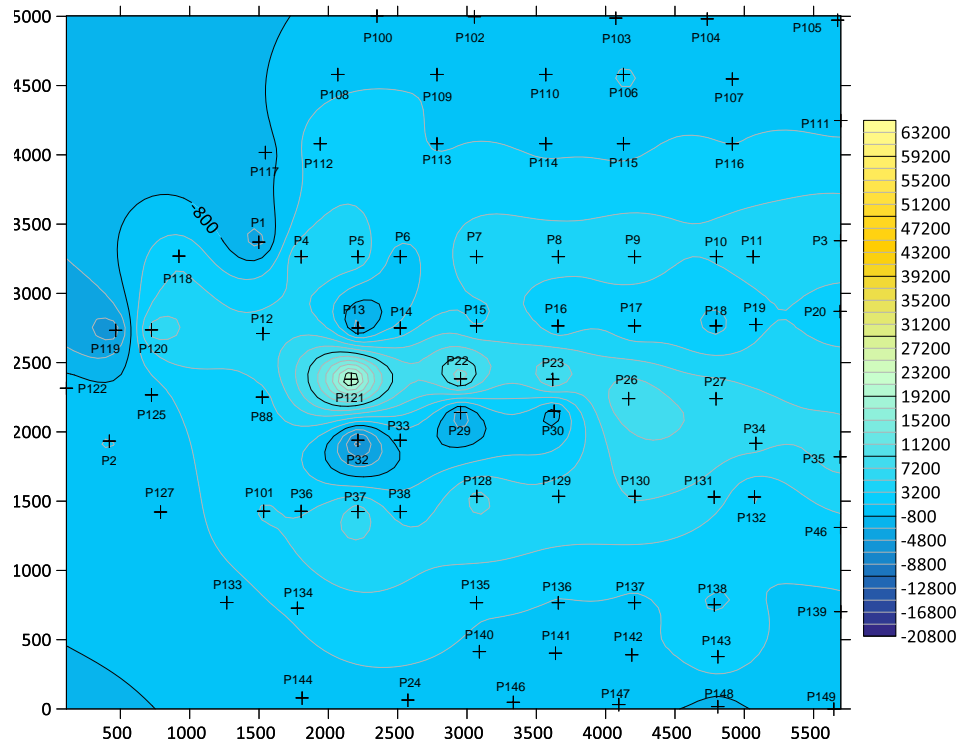
l) Tempo - 520 dias (15º pavimento)



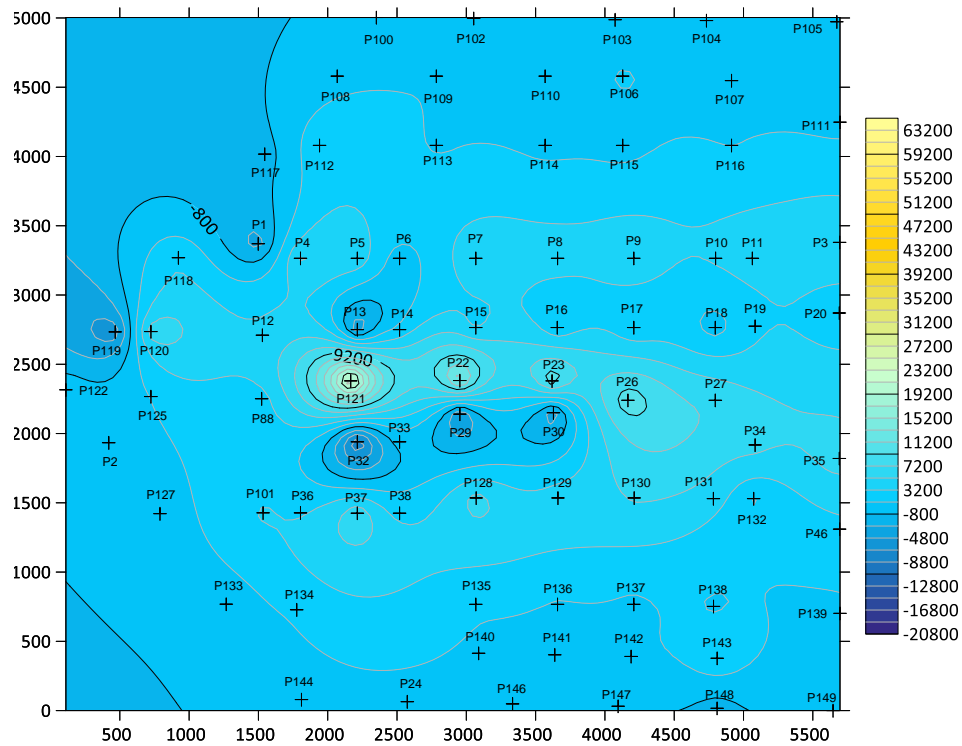
m) Tempo - 538 dias (16^o pavimento)



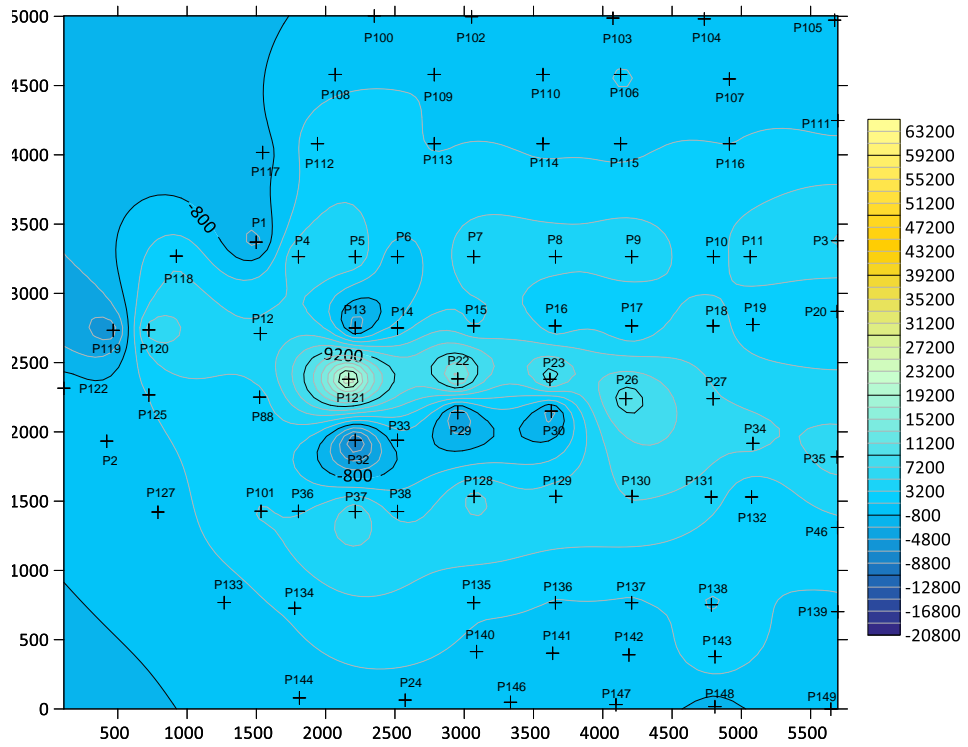
n) Tempo - 555 dias (17^o pavimento)



o) Tempo - 576 dias (18^o pavimento)

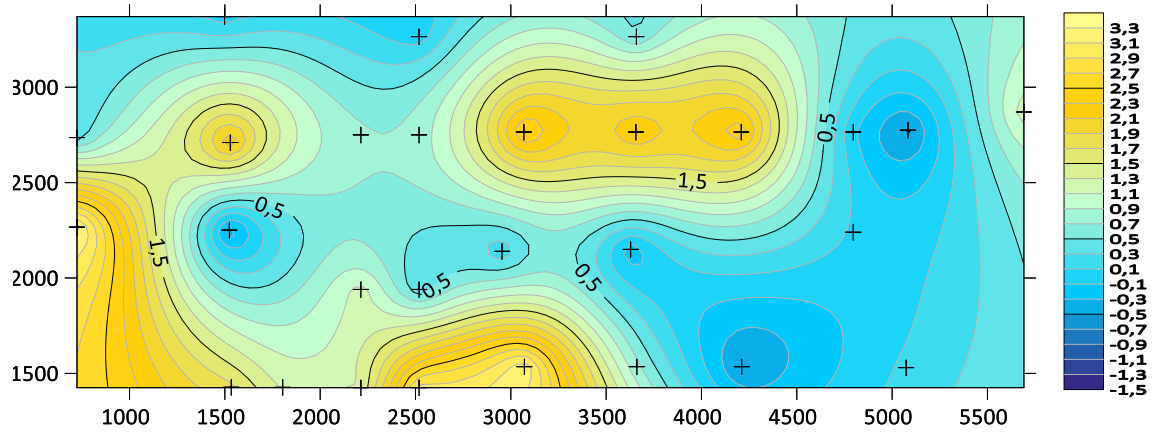


p) Tempo - 594 dias (19^o pavimento)

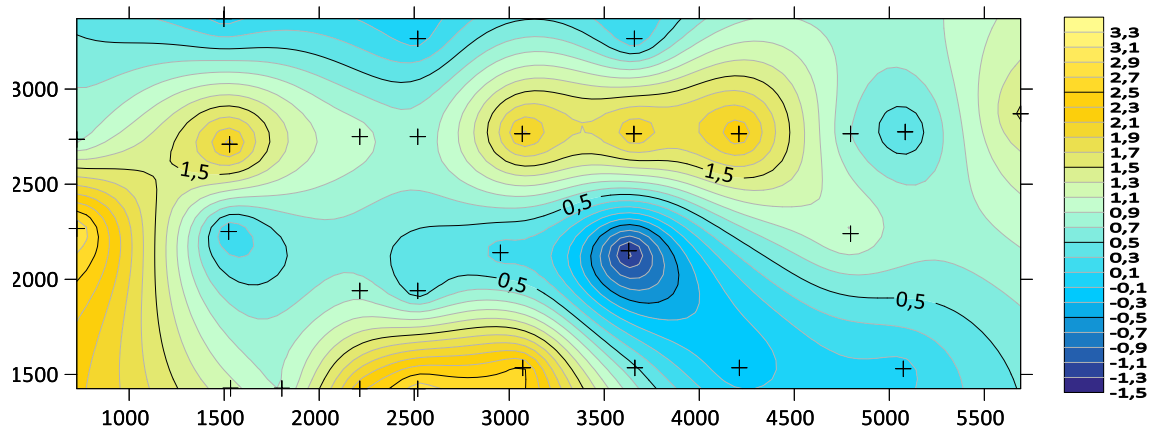


q) Tempo - 621 dias (20^o pavimento)

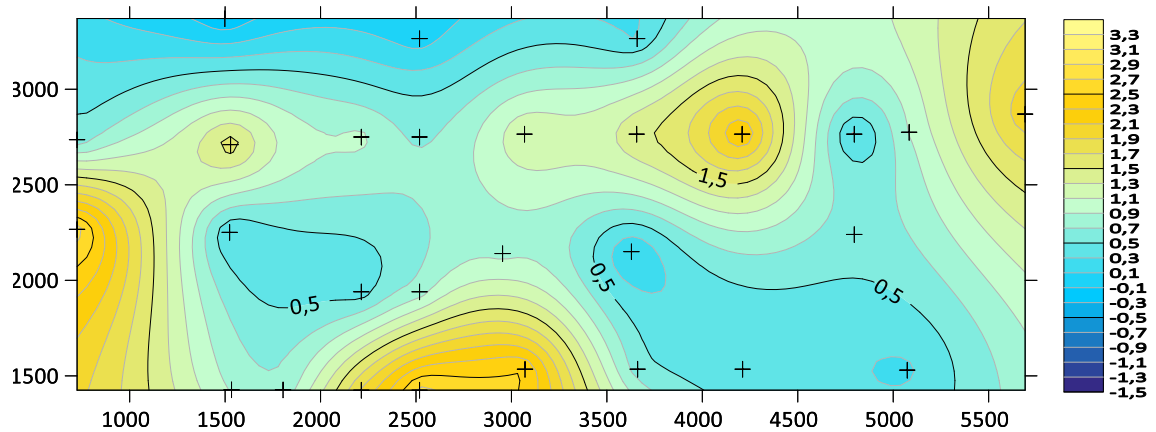
ANEXO E.4 – AR REAL



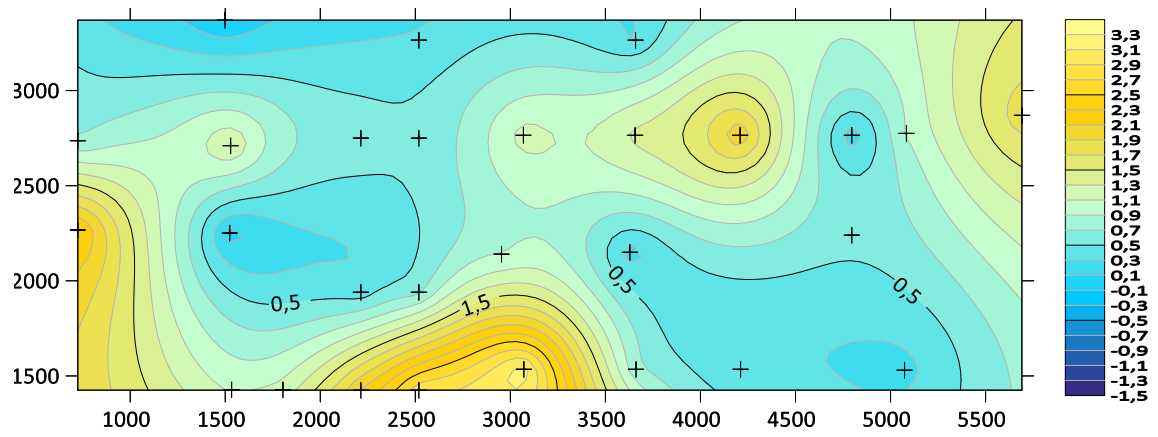
a) Tempo - 296 dias (4º pavimento)



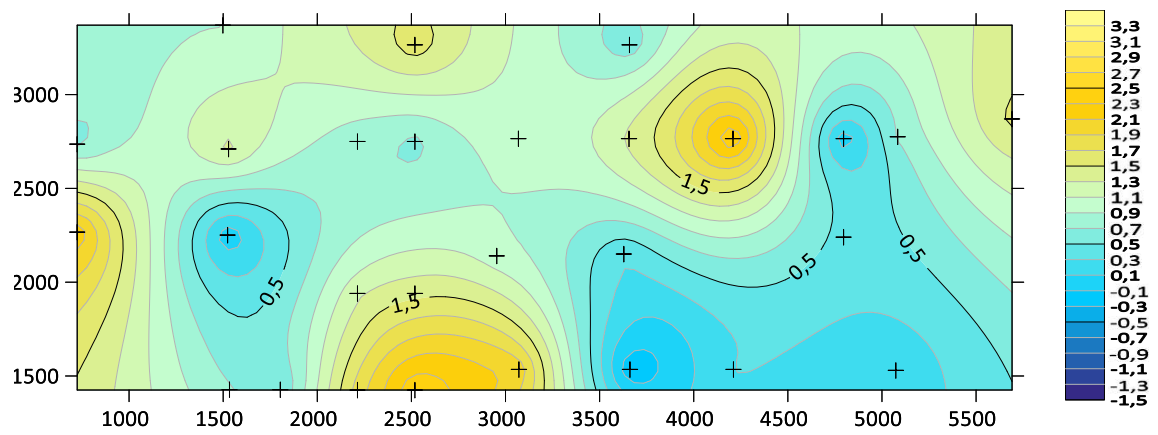
b) Tempo - 317 dias (5º pavimento)



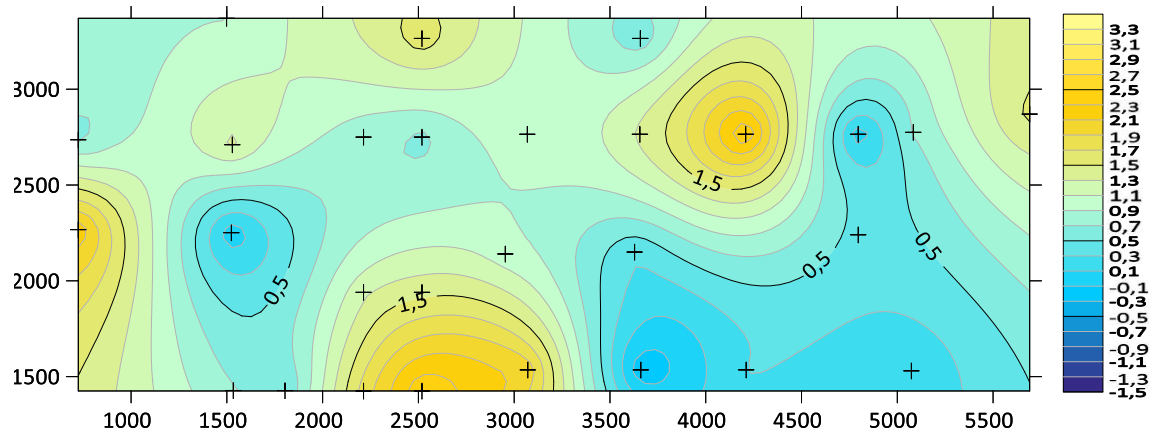
c) Tempo - 342 dias (6º pavimento)



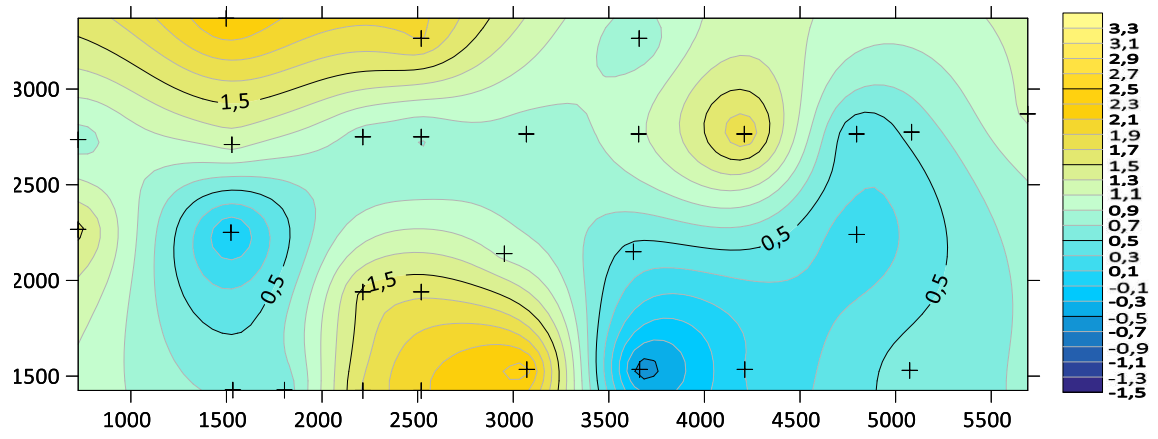
d) Tempo - 359 dias (7º pavimento)



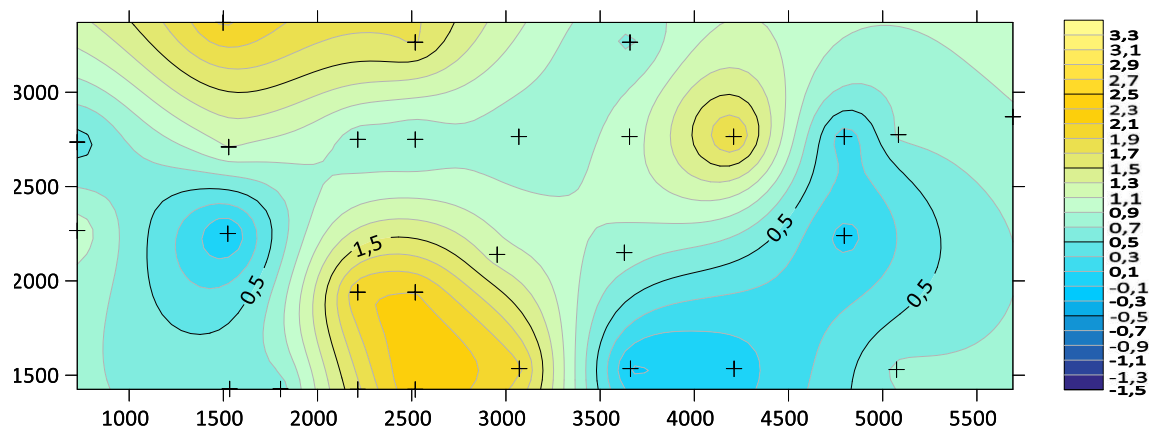
e) Tempo - 401 dias (8º pavimento)



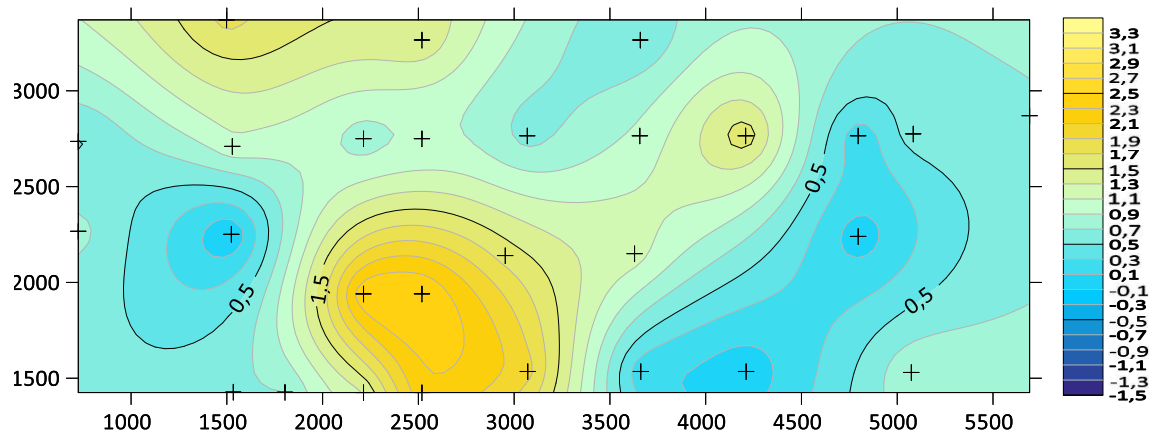
f) Tempo - 421 dias (9º pavimento)



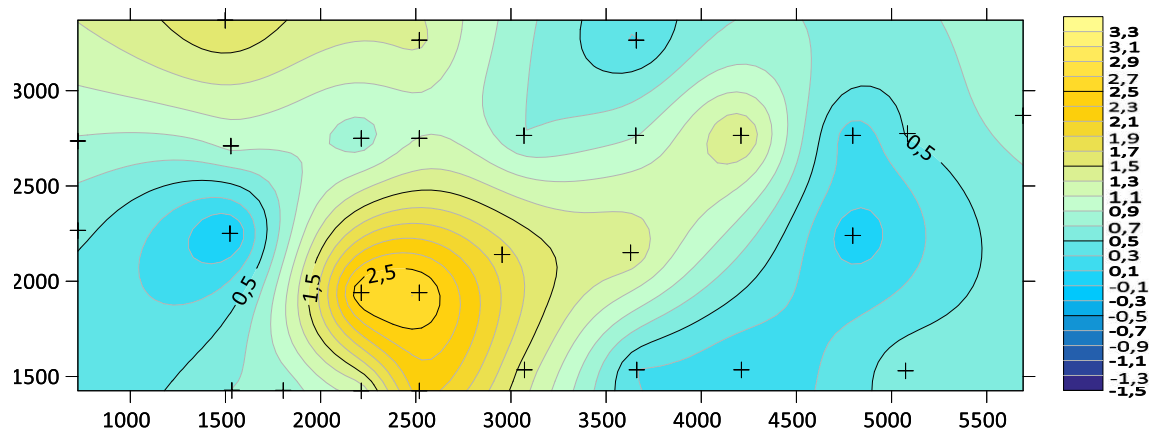
g) Tempo - 435 dias (10^o pavimento)



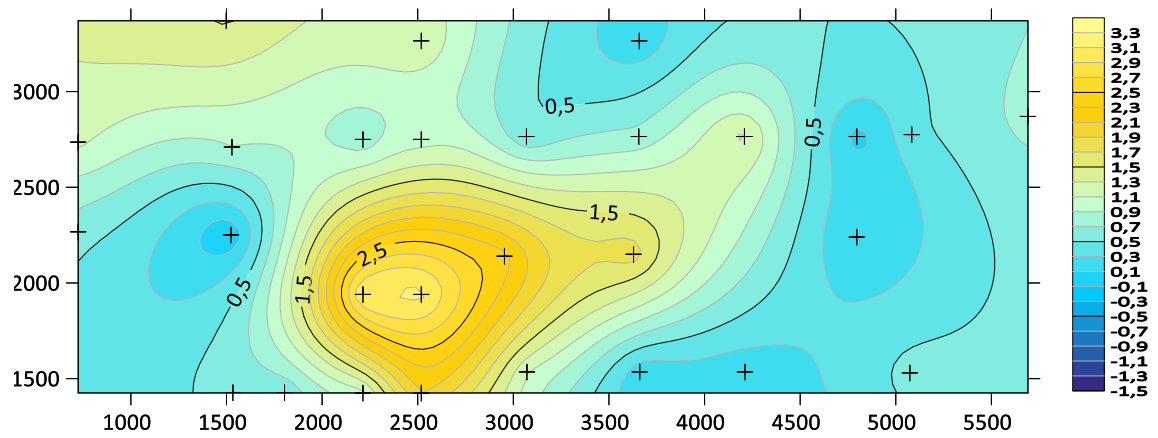
h) Tempo - 448 dias (11^o pavimento)



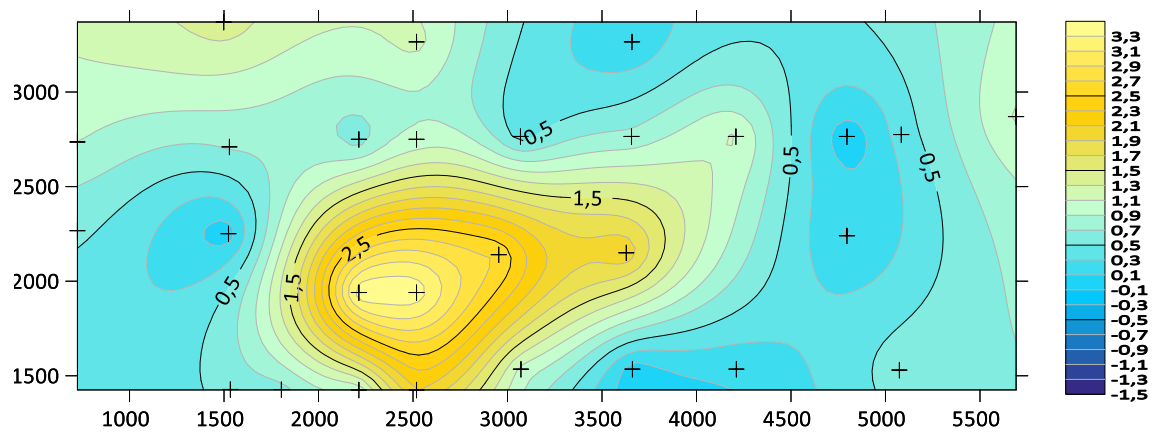
i) Tempo - 468 dias (12^o pavimento)



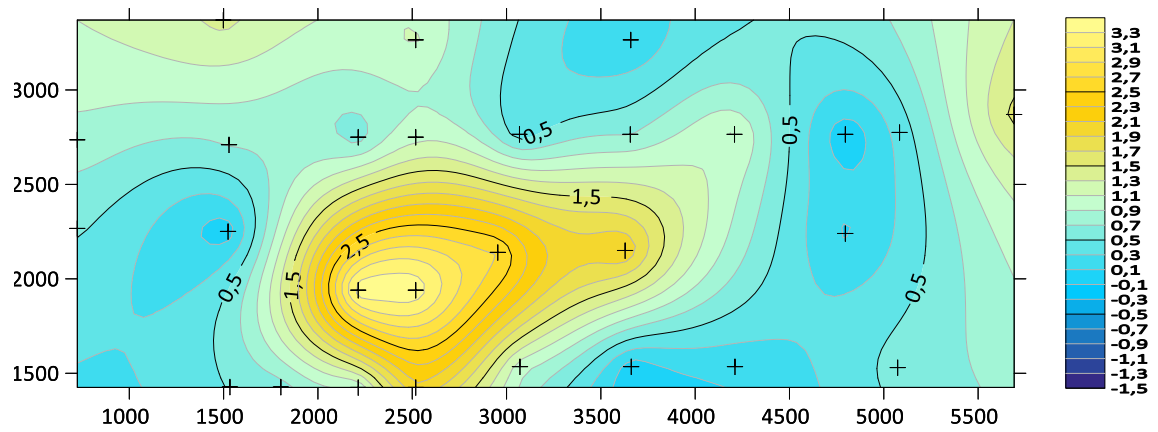
j) Tempo - 482 dias (13^o pavimento)



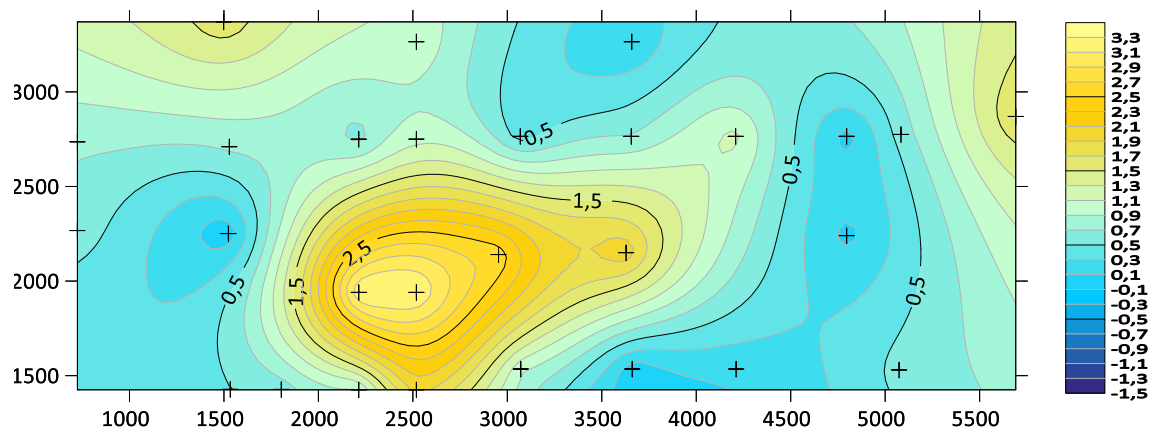
k) Tempo - 499 dias (14^o pavimento)



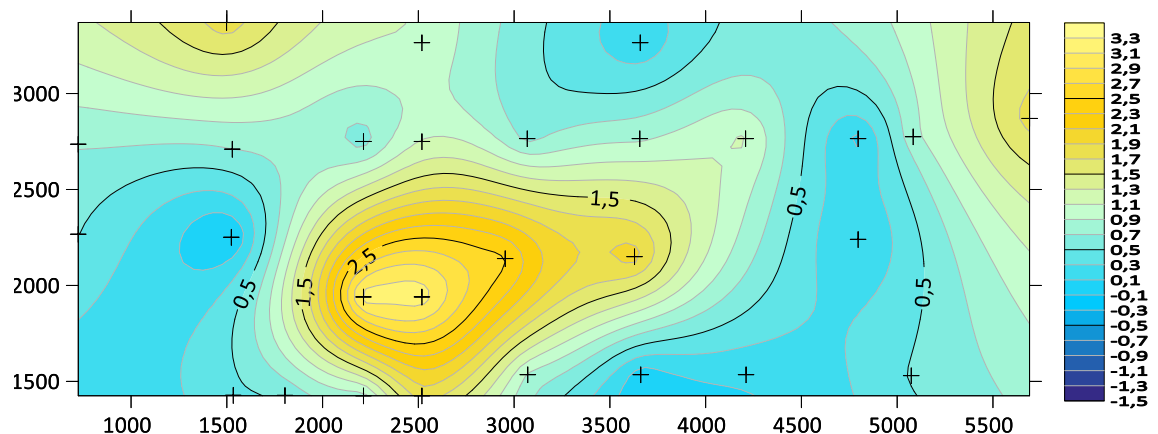
l) Tempo - 520 dias (15^o pavimento)



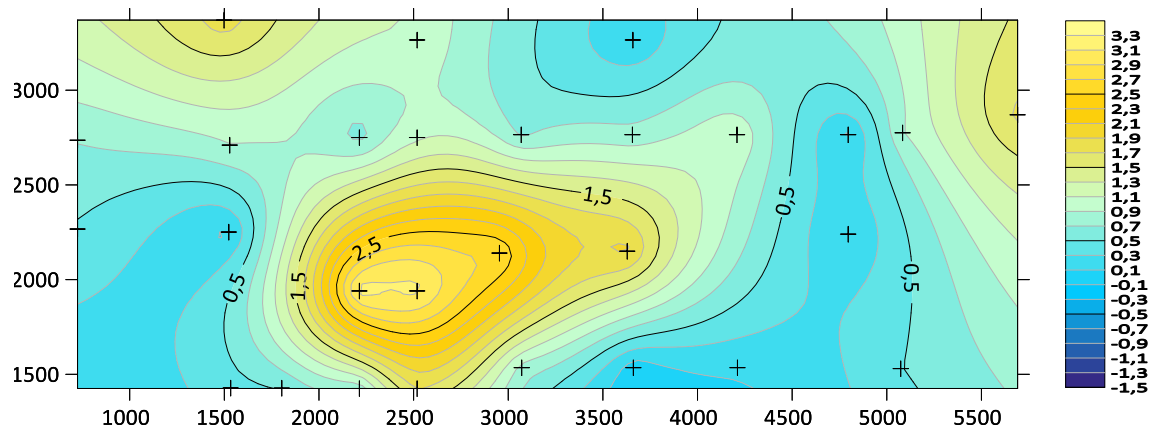
m) Tempo - 538 dias (16º pavimento)



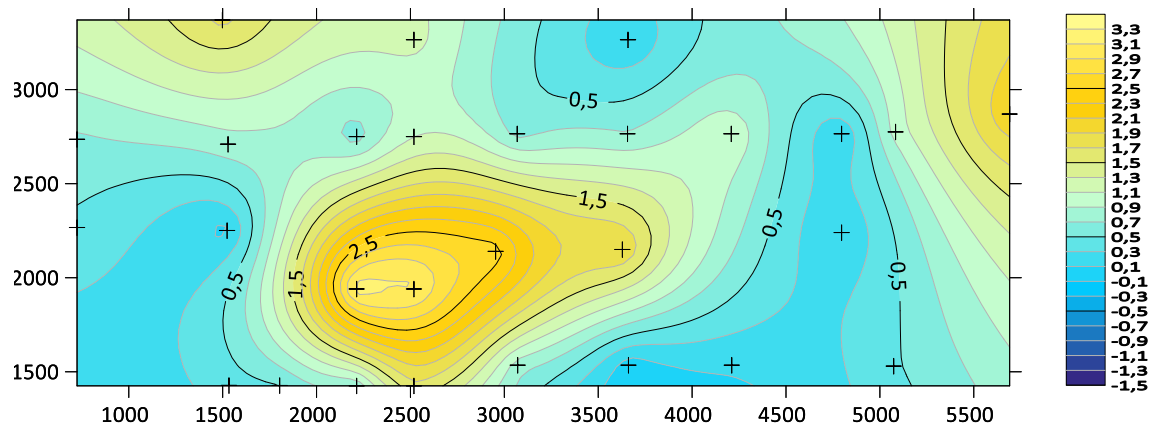
n) Tempo - 555 dias (17º pavimento)



o) Tempo - 576 dias (18º pavimento)

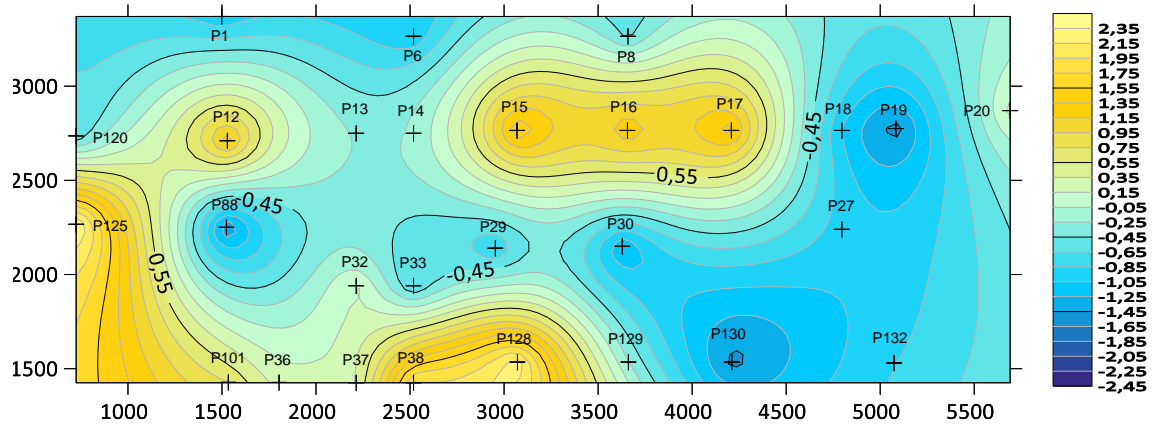


p) Tempo - 594 dias (19º pavimento)

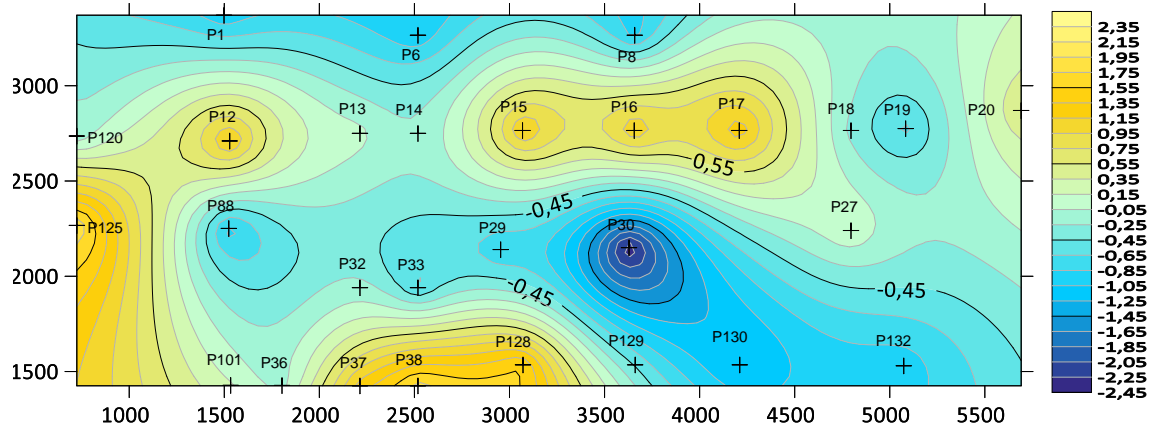


q) Tempo - 621 dias (20º pavimento)

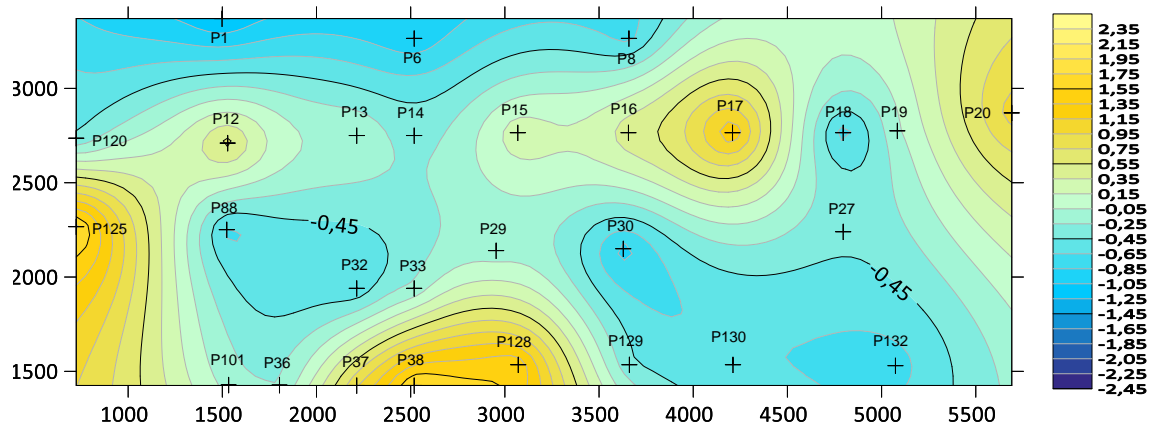
ANEXO E.5 – DR REAL



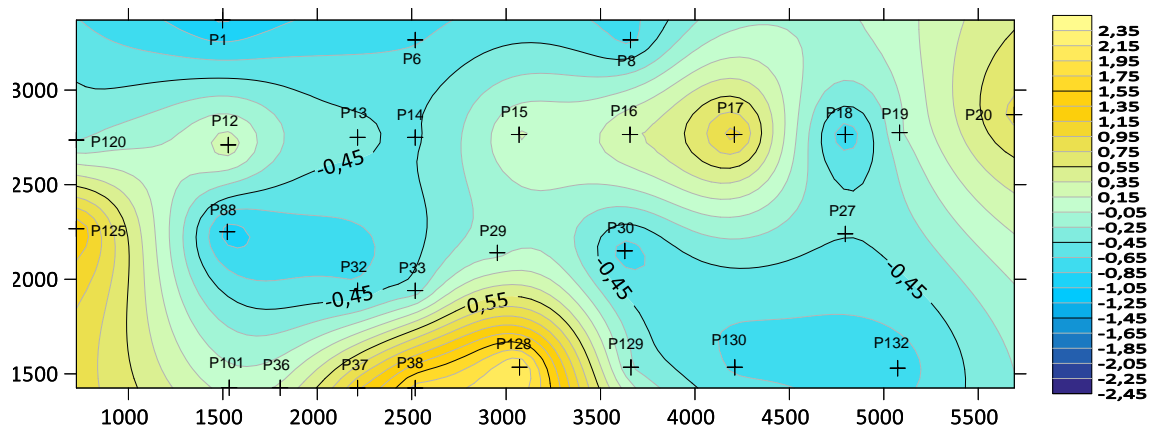
a) Tempo - 296 dias (4º pavimento)



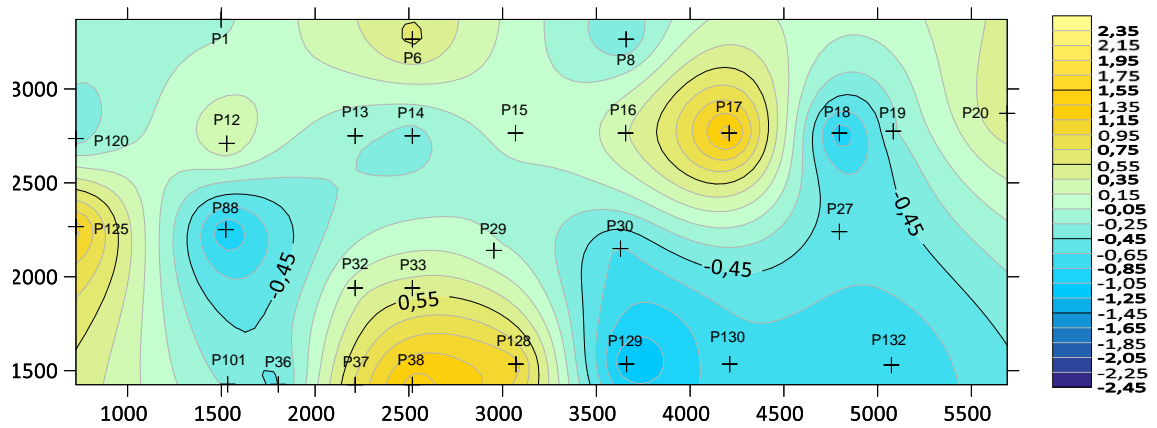
b) Tempo - 317 dias (5º pavimento)



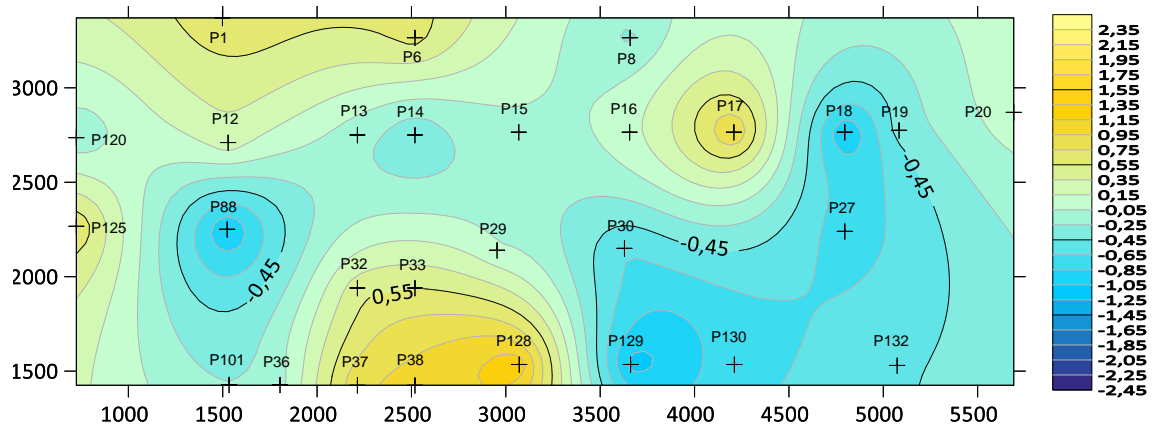
c) Tempo - 342 dias (6º pavimento)



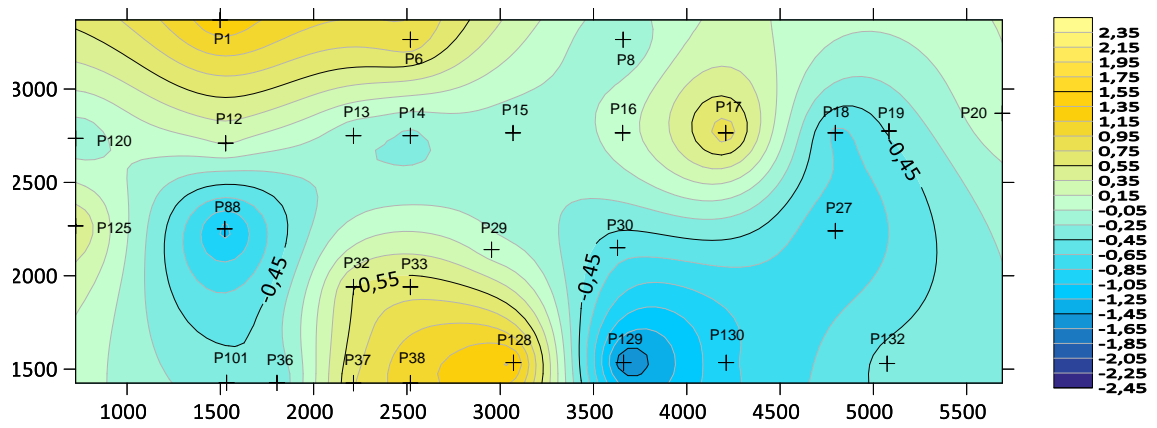
d) Tempo - 359 dias (7º pavimento)



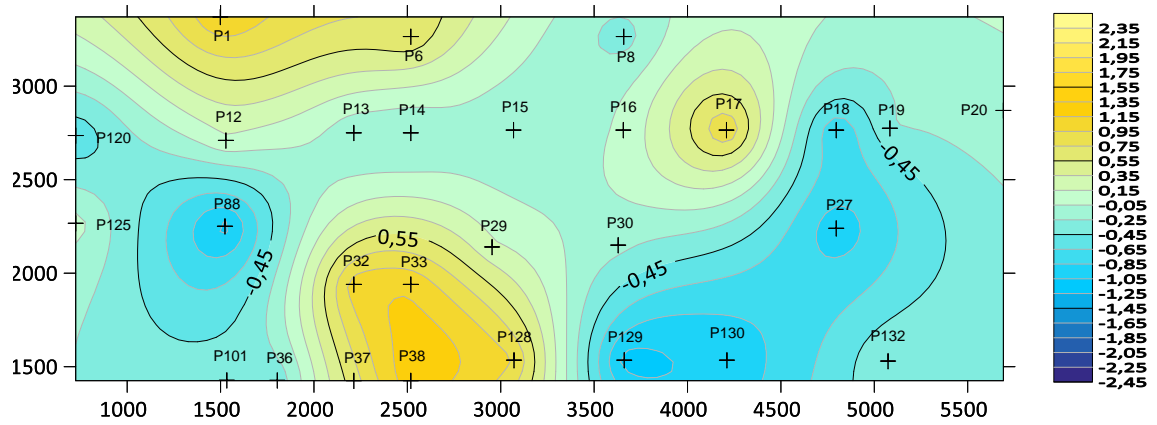
e) Tempo - 401 dias (8º pavimento)



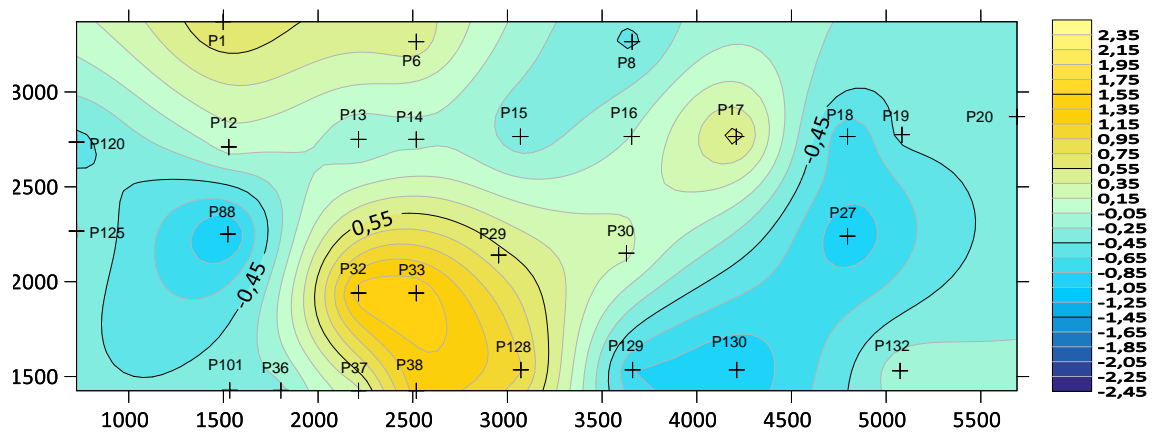
f) Tempo - 421 dias (9º pavimento)



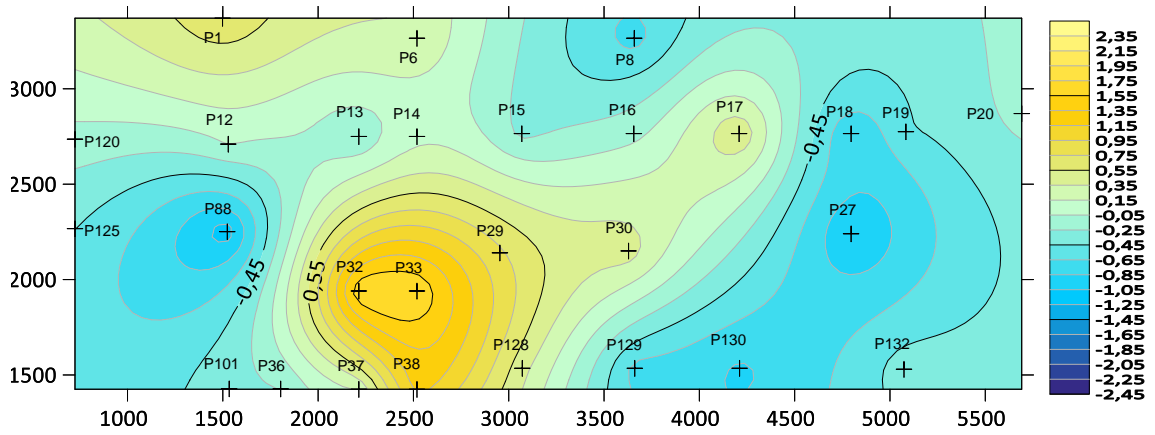
g) Tempo - 435 dias (10^o pavimento)



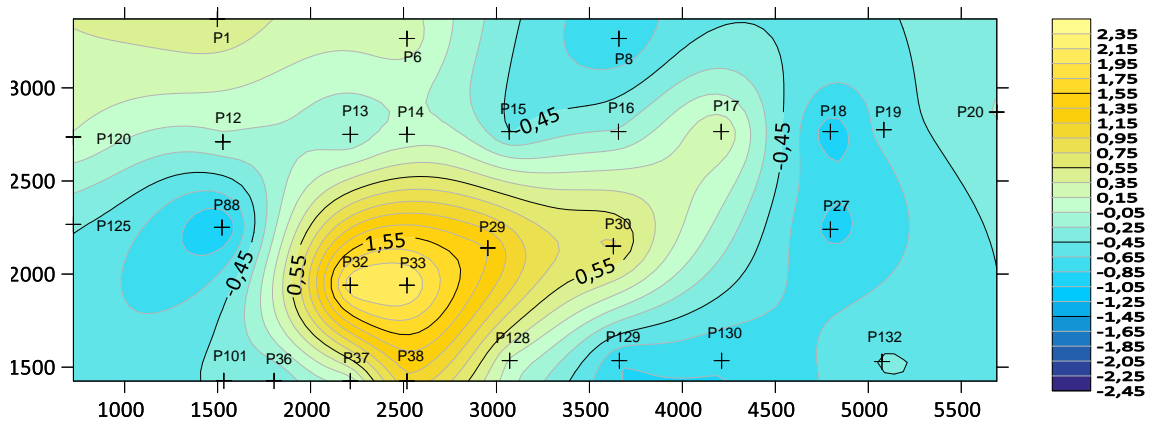
h) Tempo - 448 dias (11^o pavimento)



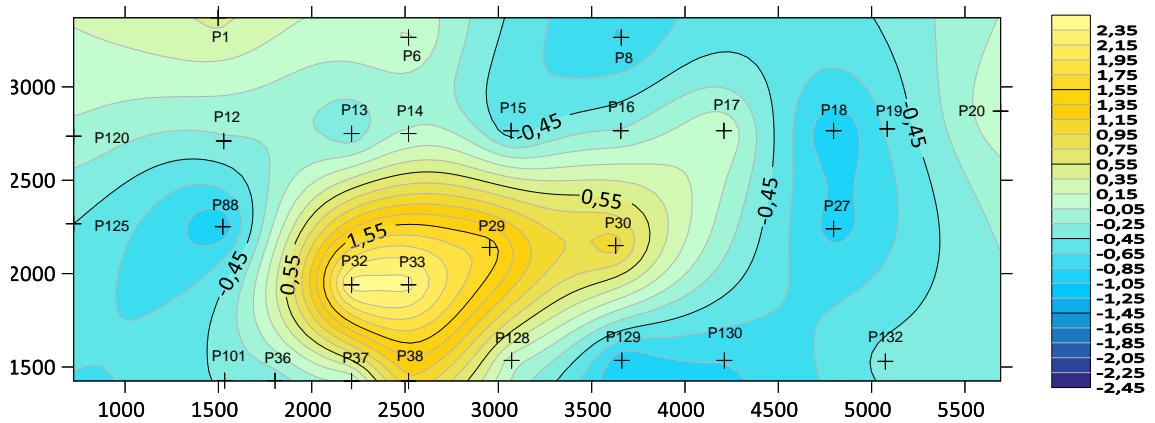
i) Tempo - 468 dias (12^o pavimento)



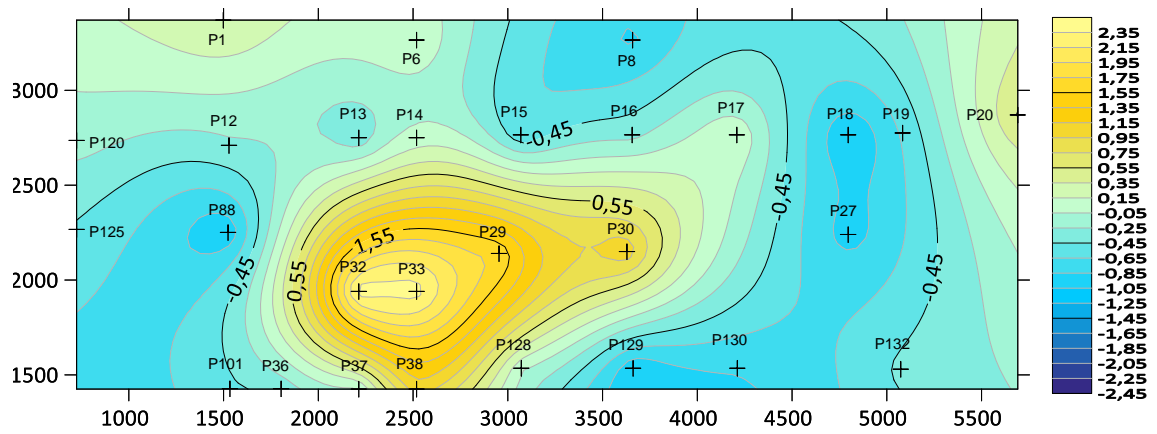
j) Tempo - 482 dias (13º pavimento)



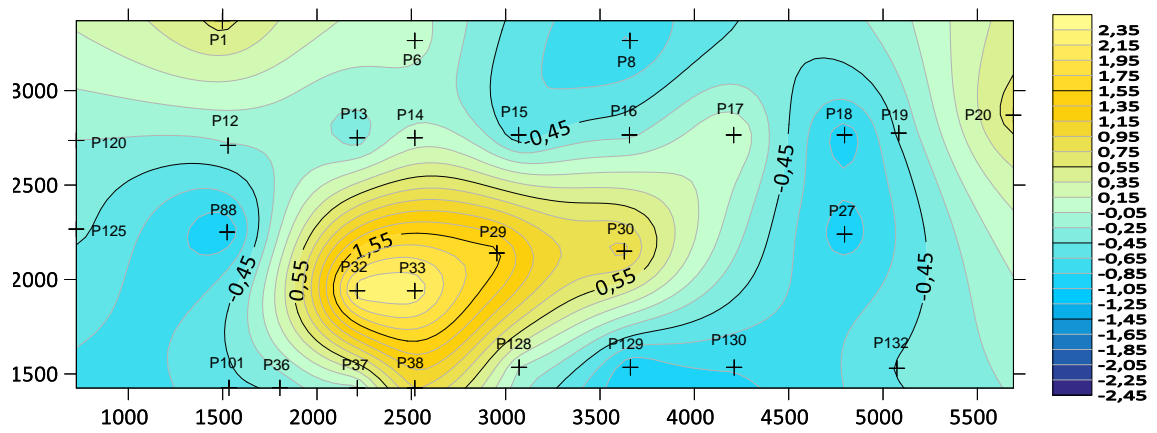
k) Tempo - 499 dias (14º pavimento)



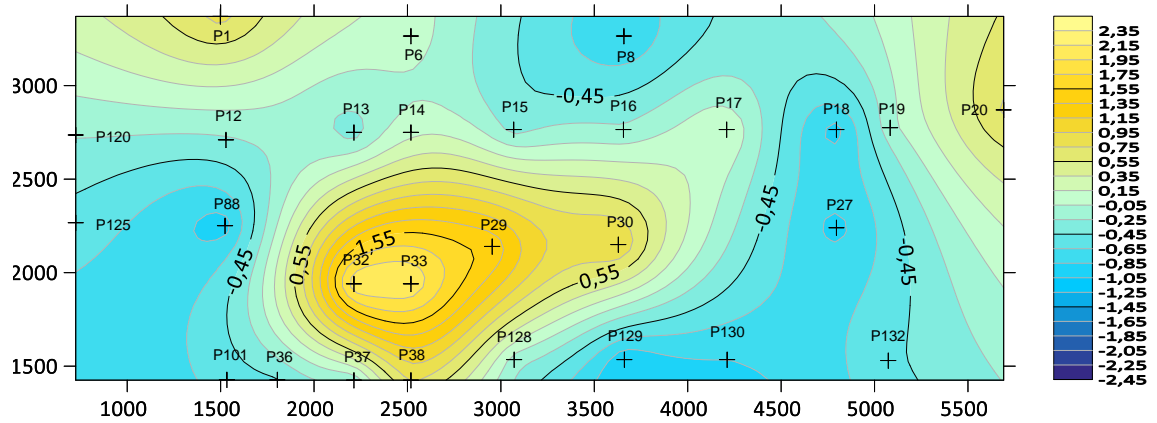
l) Tempo - 520 dias (15º pavimento)



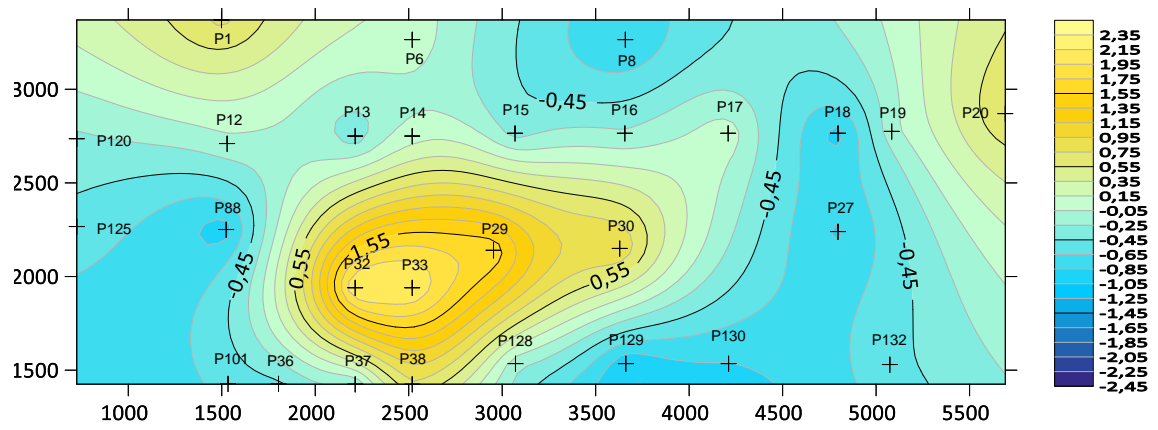
m) Tempo - 438 dias (16^o pavimento)



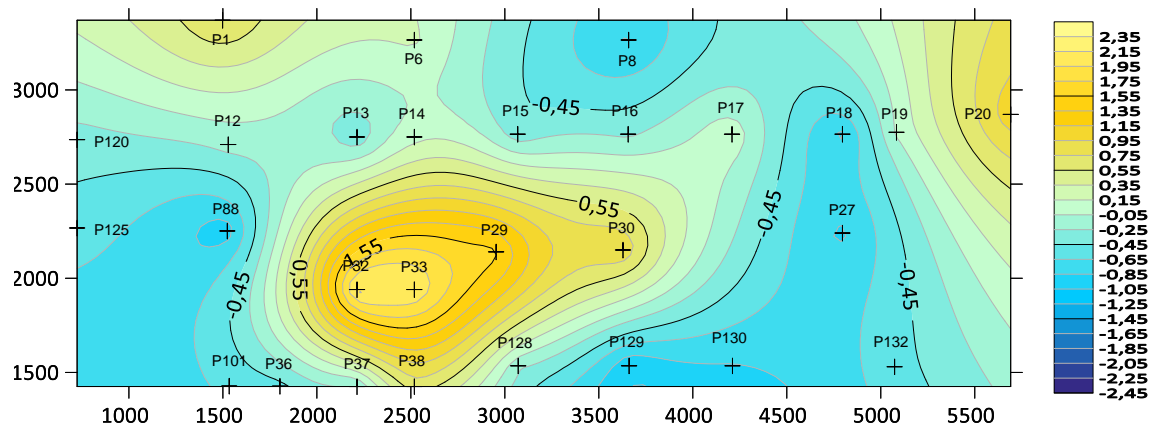
n) Tempo - 555 dias (17^o pavimento)



o) Tempo - 576 dias (18^o pavimento)

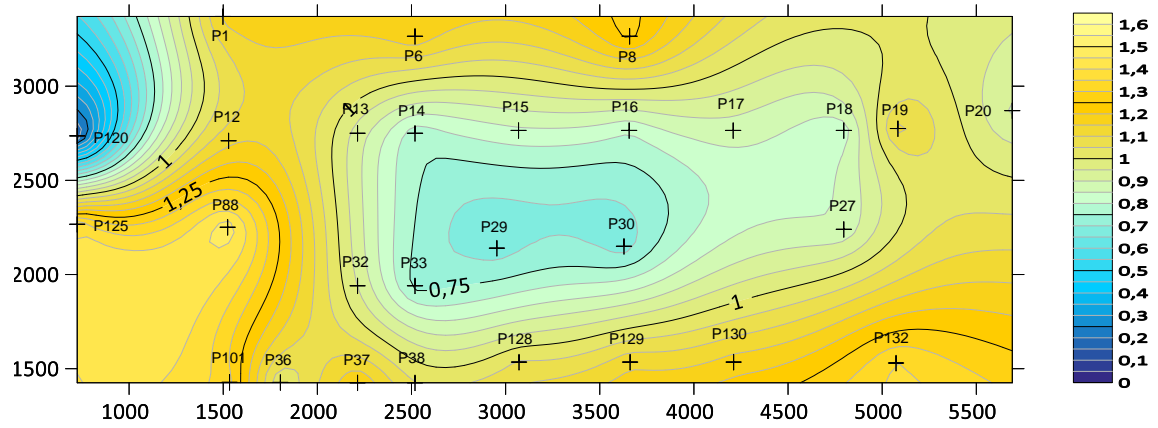


p) Tempo - 594 dias (19º pavimento)

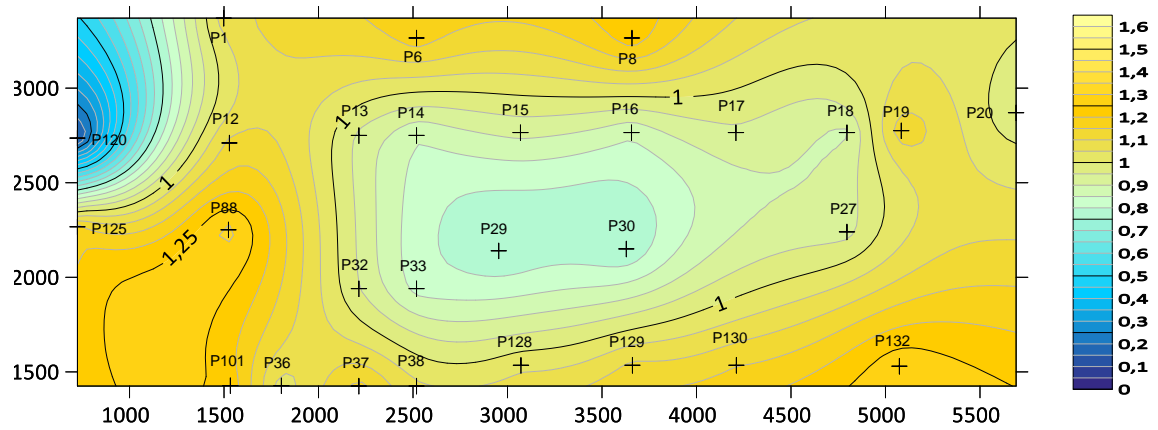


q) Tempo - 621 dias (20º pavimento)

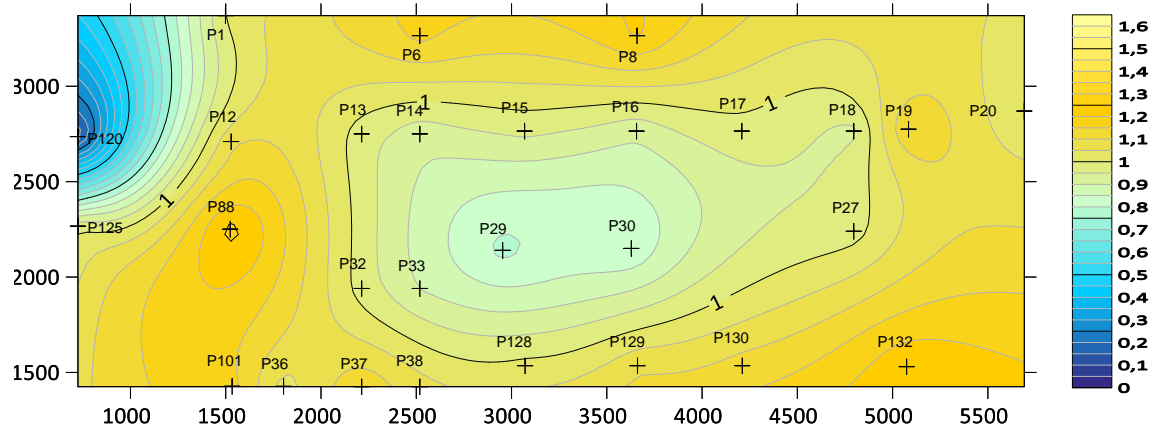
ANEXO E.6 – AR TEÓRICO



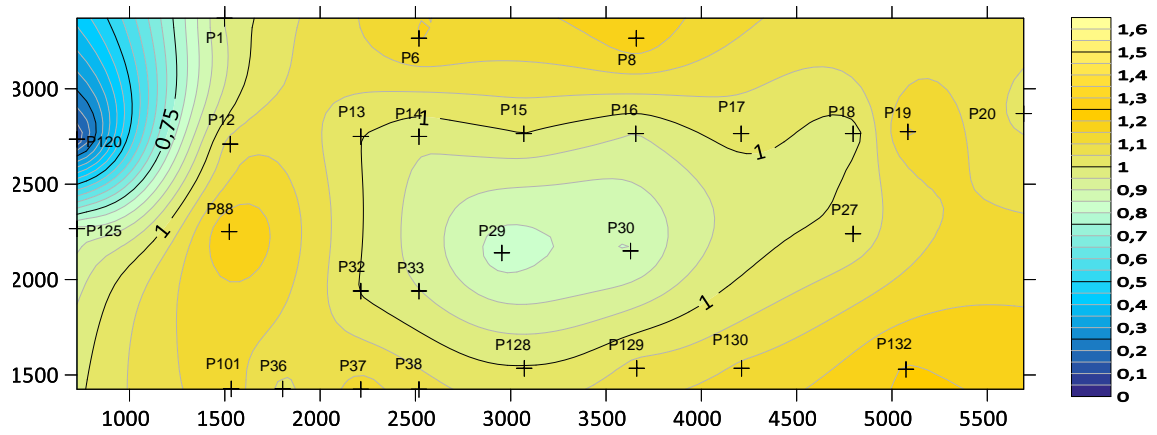
a) Tempo - 296 dias (4º pavimento)



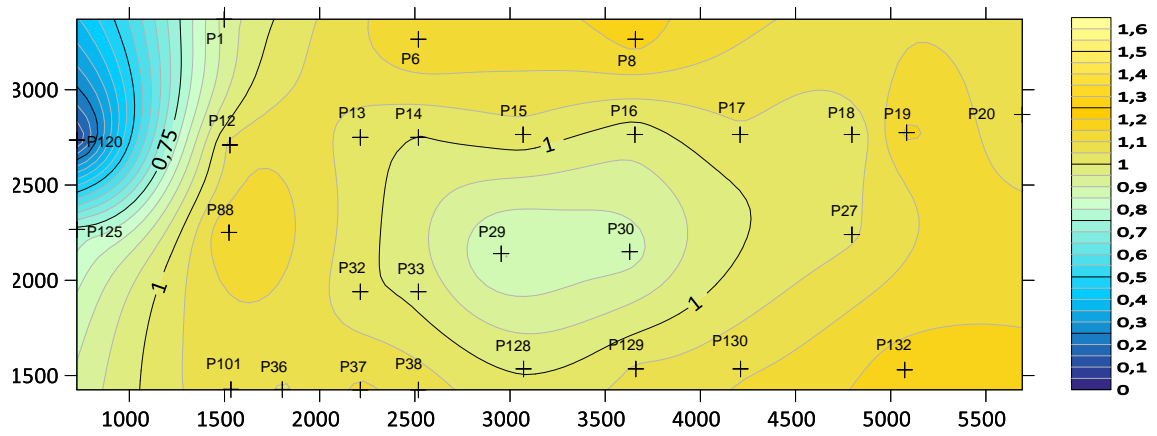
b) Tempo - 317 dias (5º pavimento)



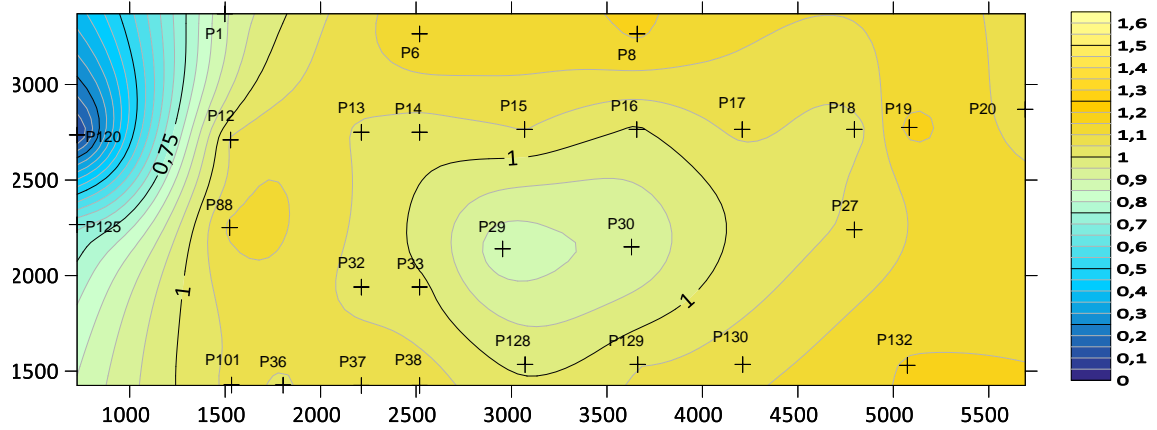
c) Tempo - 342 dias (6º pavimento)



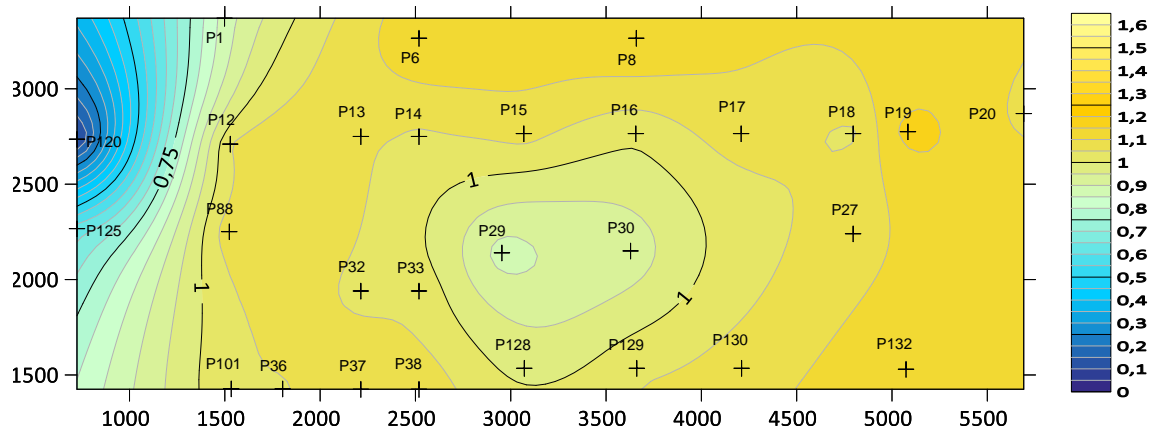
d) Tempo - 359 dias (7º pavimento)



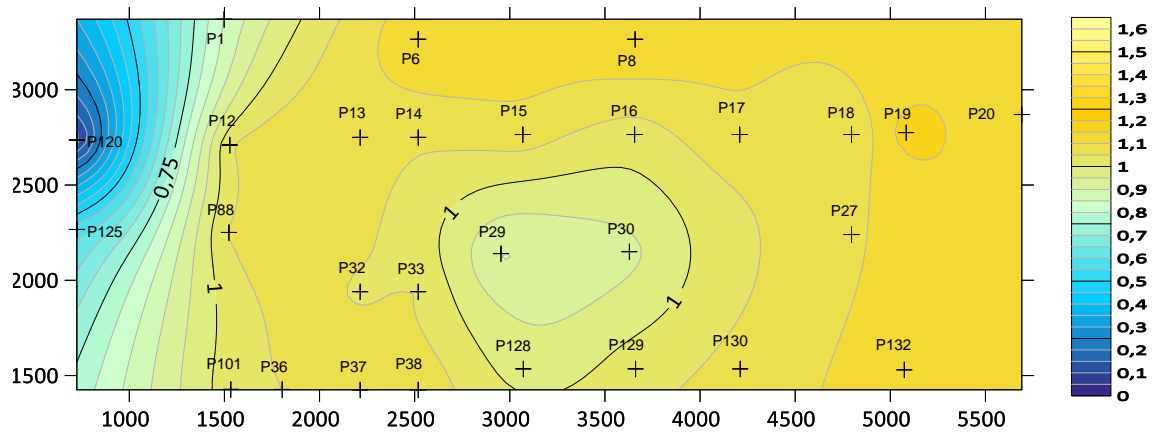
e) Tempo - 401 dias (8º pavimento)



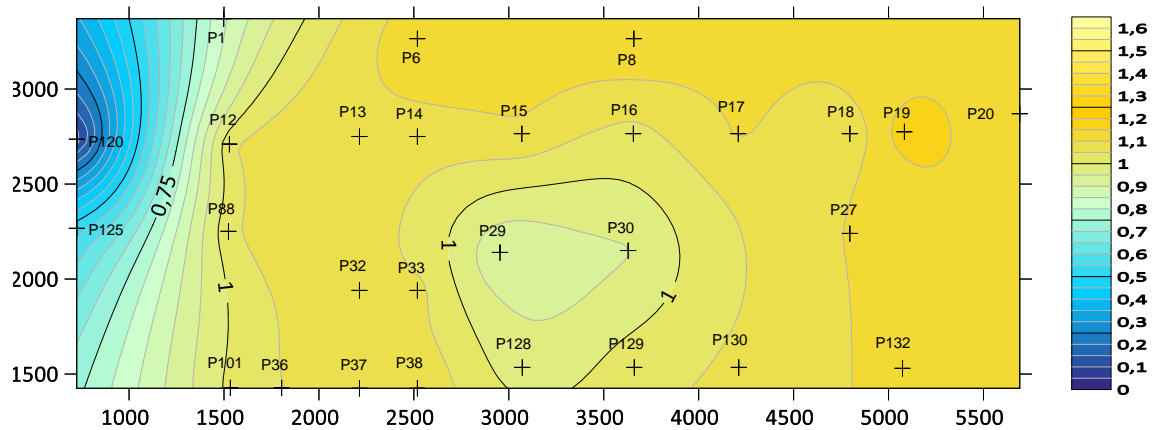
f) Tempo - 421 dias (9º pavimento)



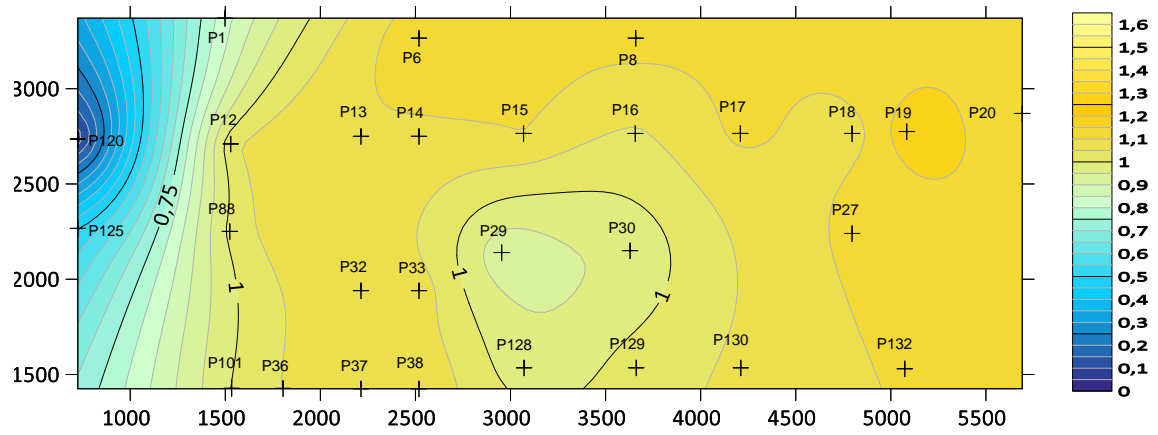
g) Tempo - 435 dias (10^o pavimento)



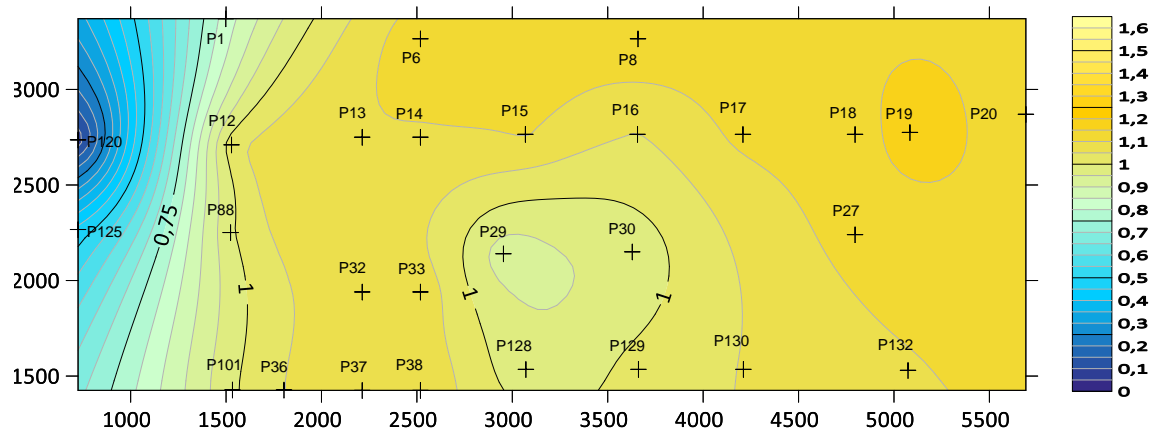
h) Tempo - 448 dias (11^o pavimento)



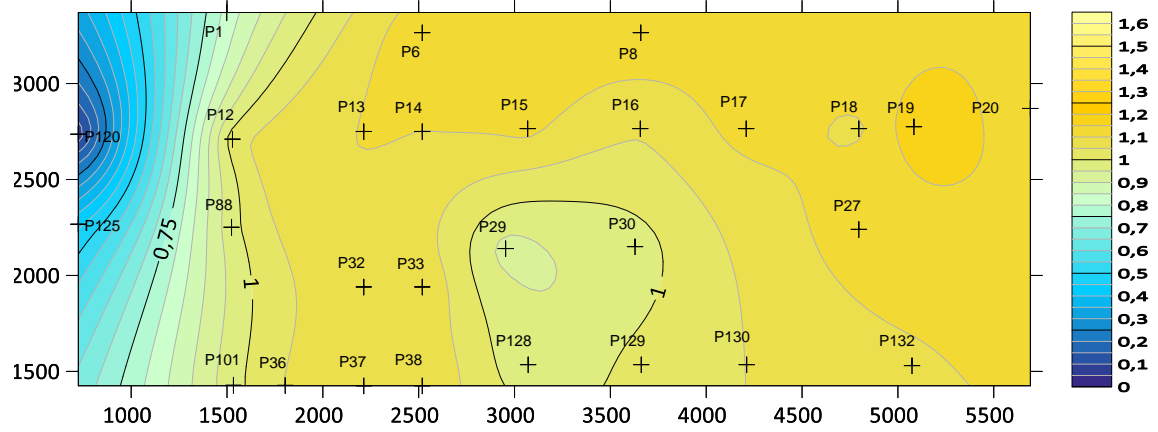
i) Tempo - 468 dias (12^o pavimento)



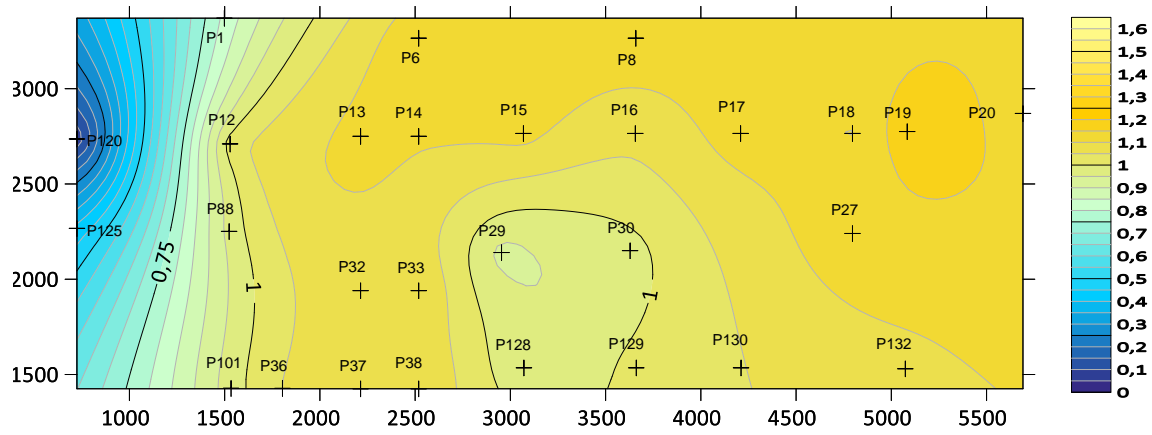
j) Tempo - 482 dias (13^o pavimento)



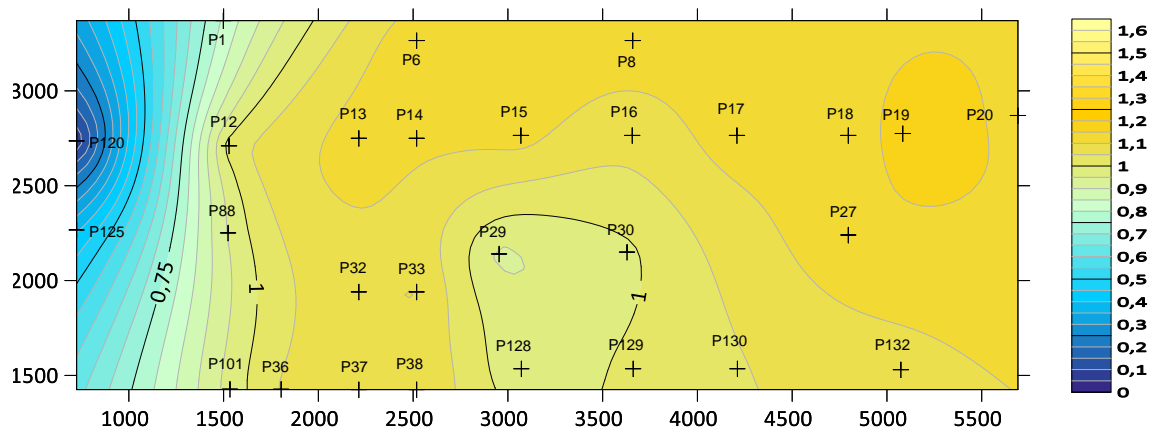
k) Tempo - 499 dias (14^o pavimento)



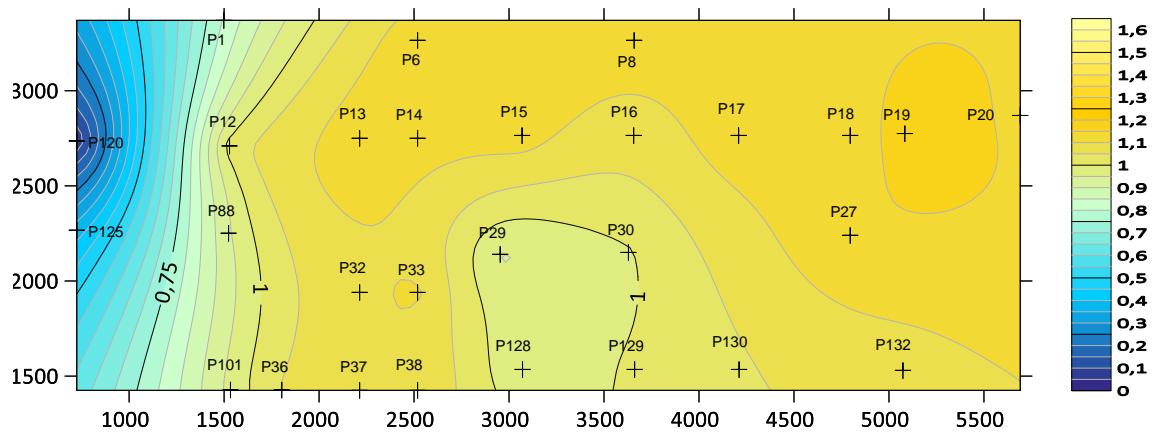
l) Tempo - 520 dias (15^o pavimento)



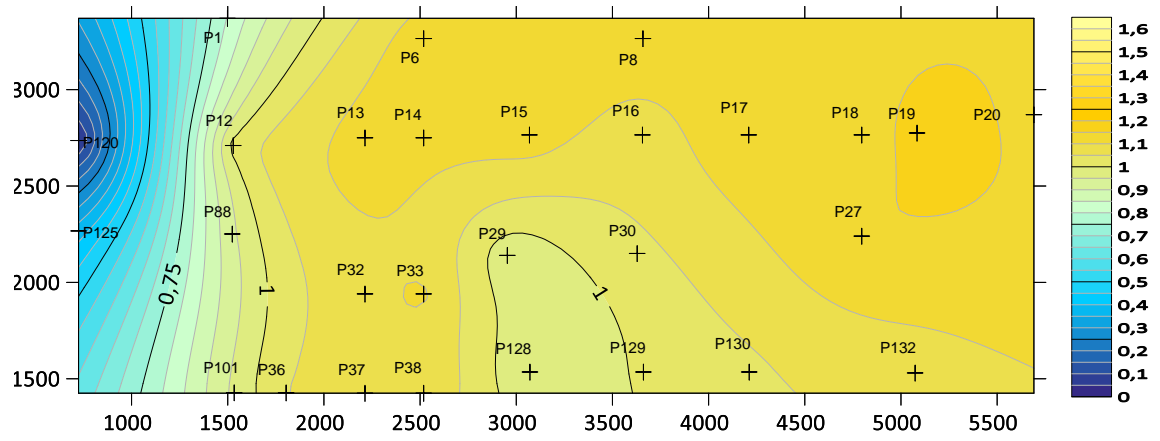
m) Tempo - 538 dias (16^o pavimento)



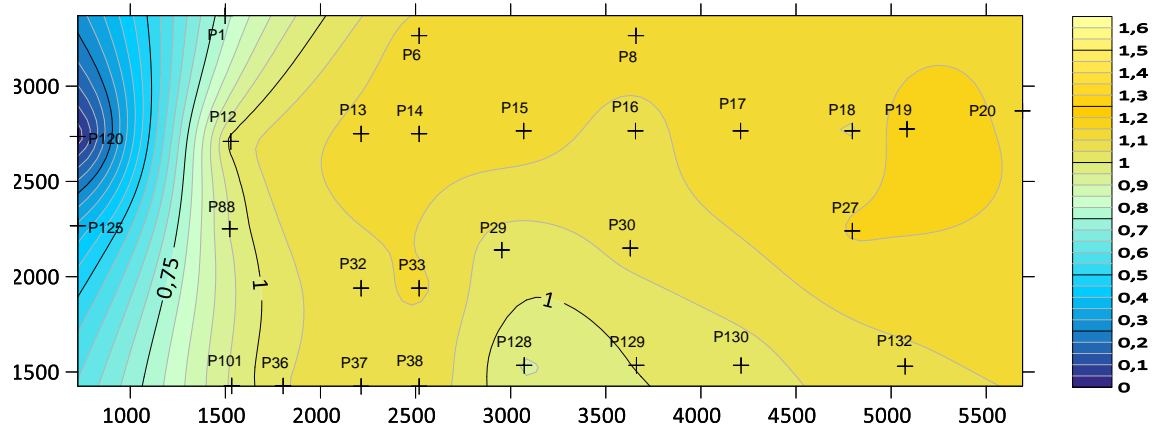
n) Tempo - 555 dias (17^o pavimento)



o) Tempo - 576 dias (18^o pavimento)

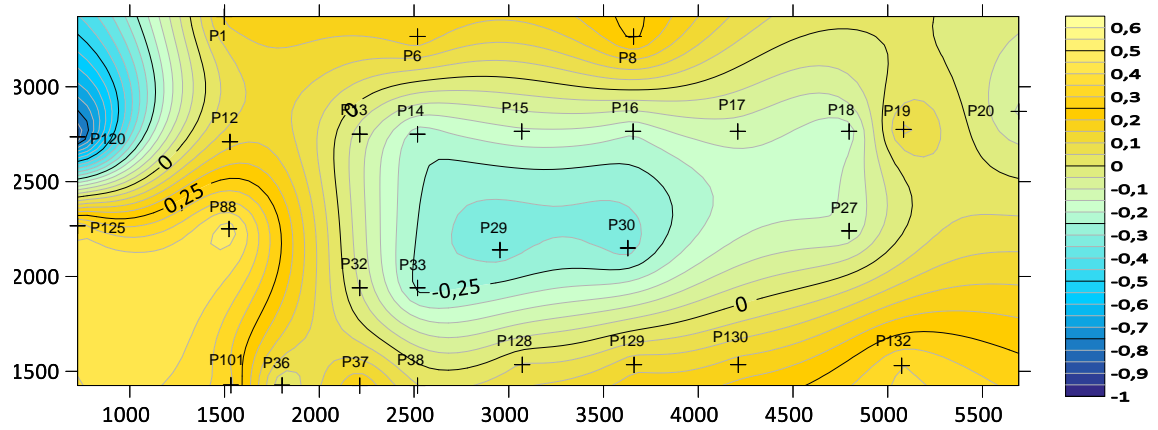


p) Tempo - 594 dias (19º pavimento)

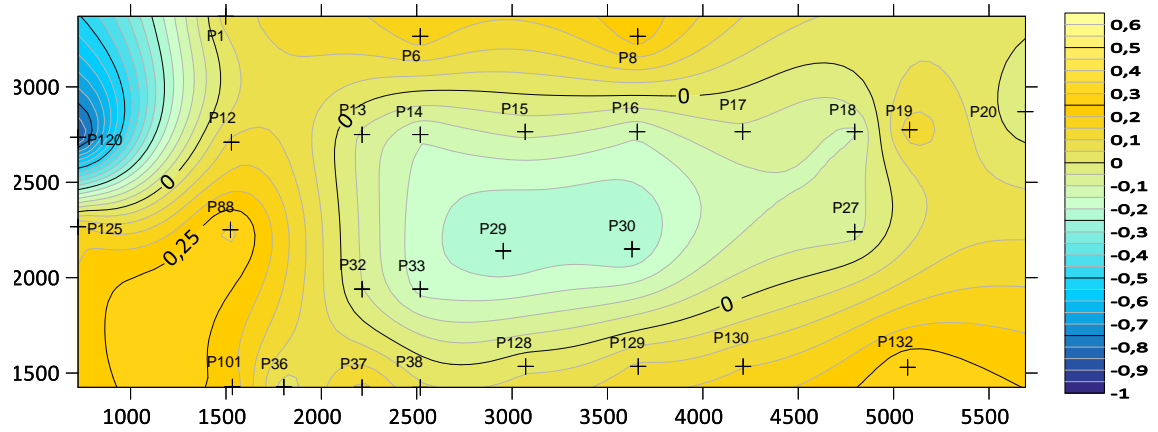


q) Tempo - 621 dias (20º pavimento)

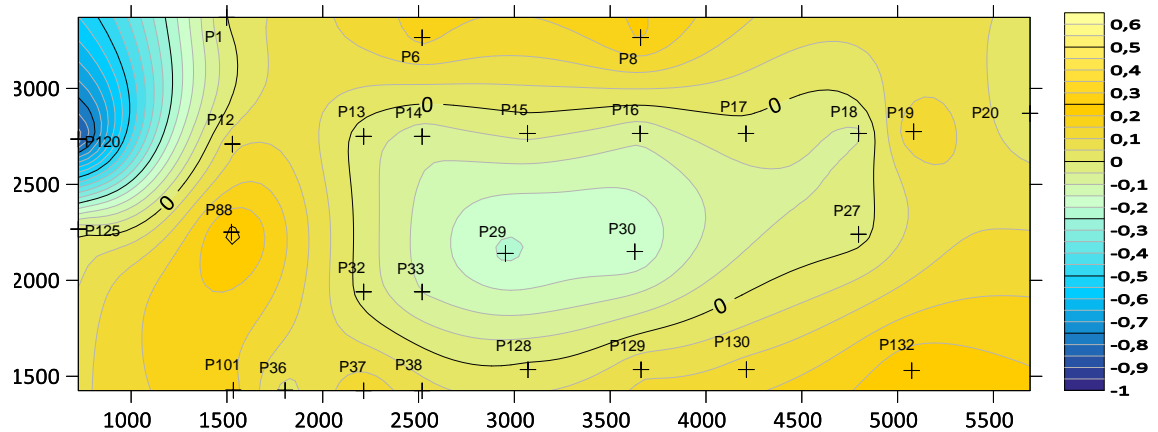
ANEXO E.7 – DR TEÓRICO



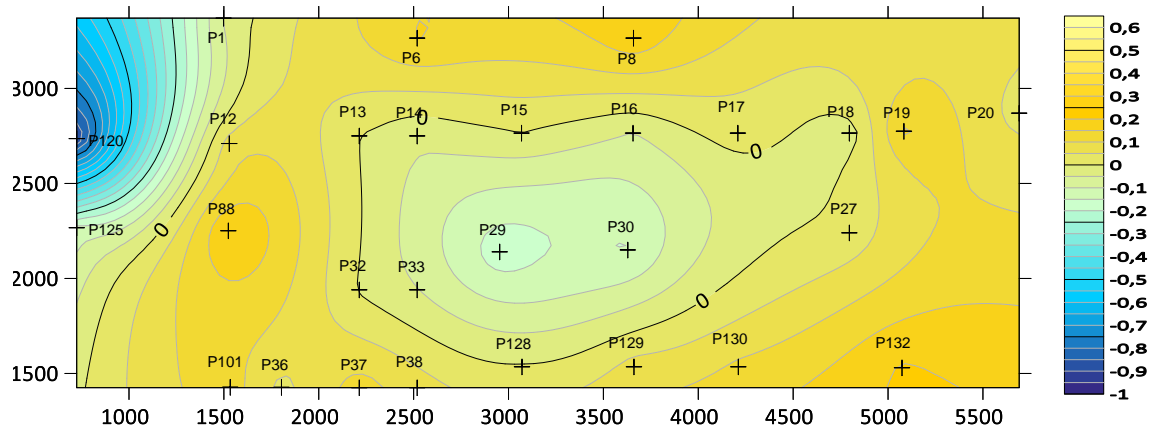
a) Tempo - 296 dias (4º pavimento)



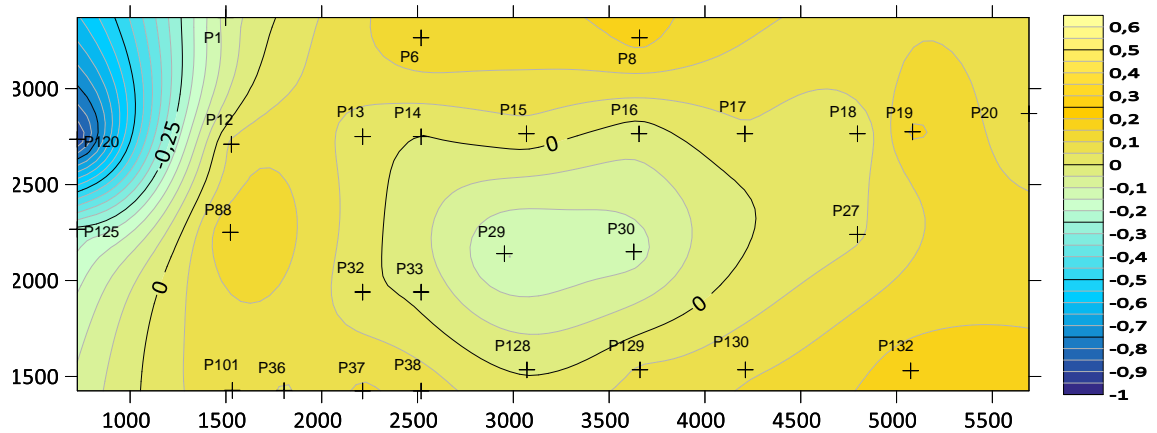
b) Tempo - 317 dias (5º pavimento)



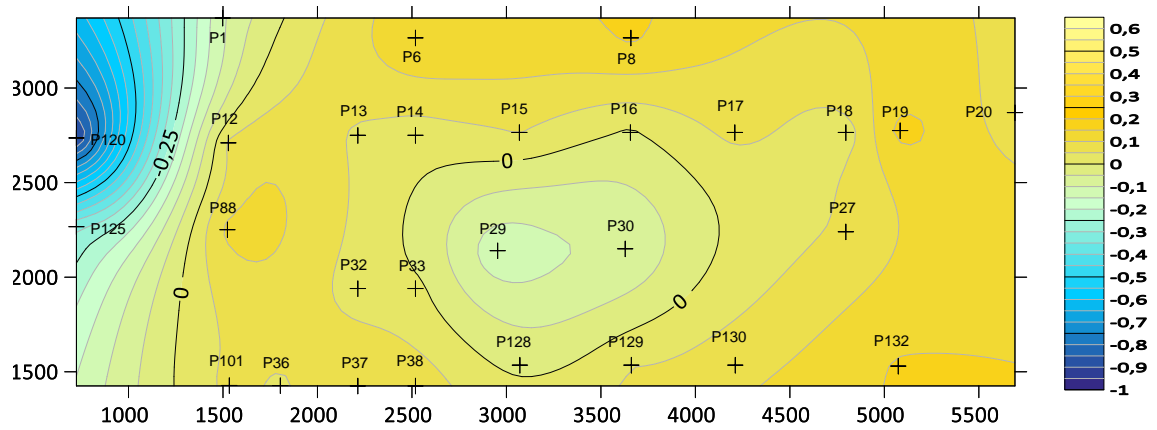
c) Tempo - 342 dias (6º pavimento)



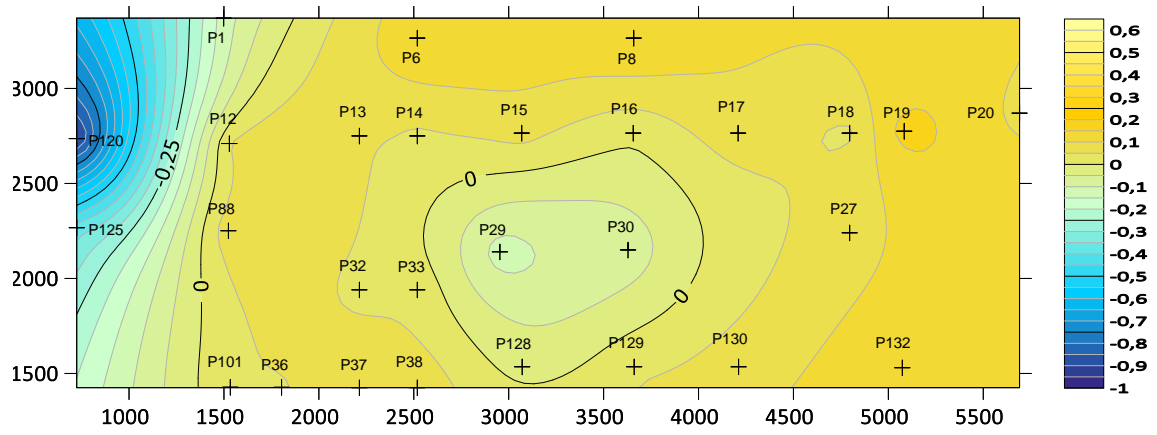
d) Tempo - 359 dias (7º pavimento)



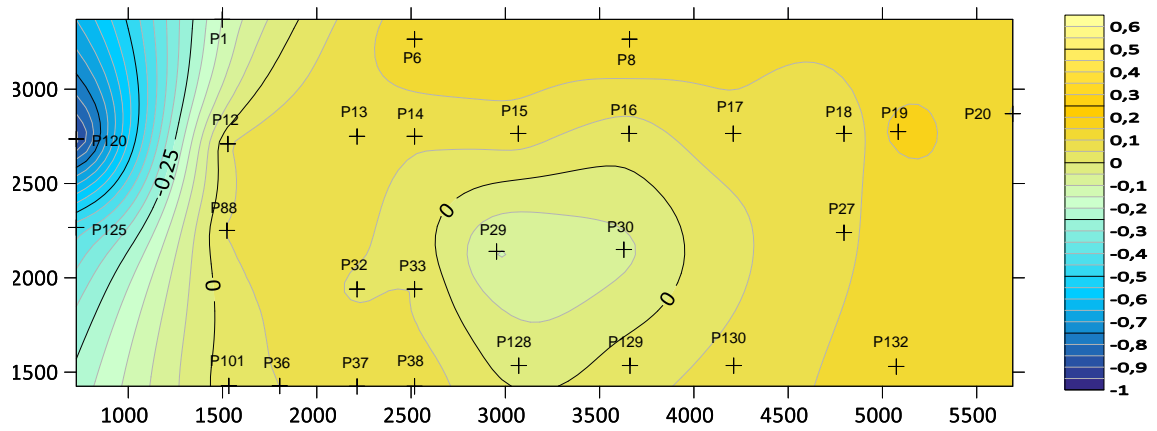
e) Tempo - 401 dias (8º pavimento)



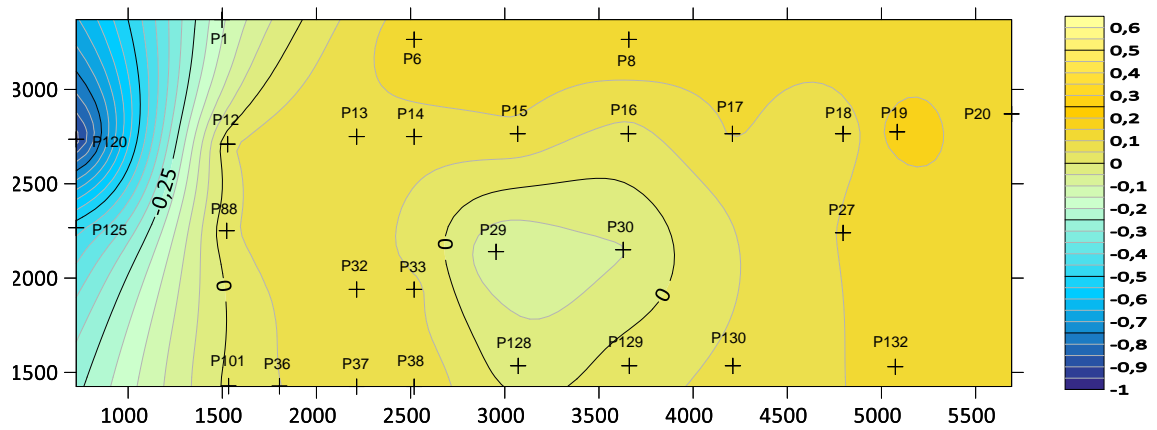
f) Tempo - 421 dias (9º pavimento)



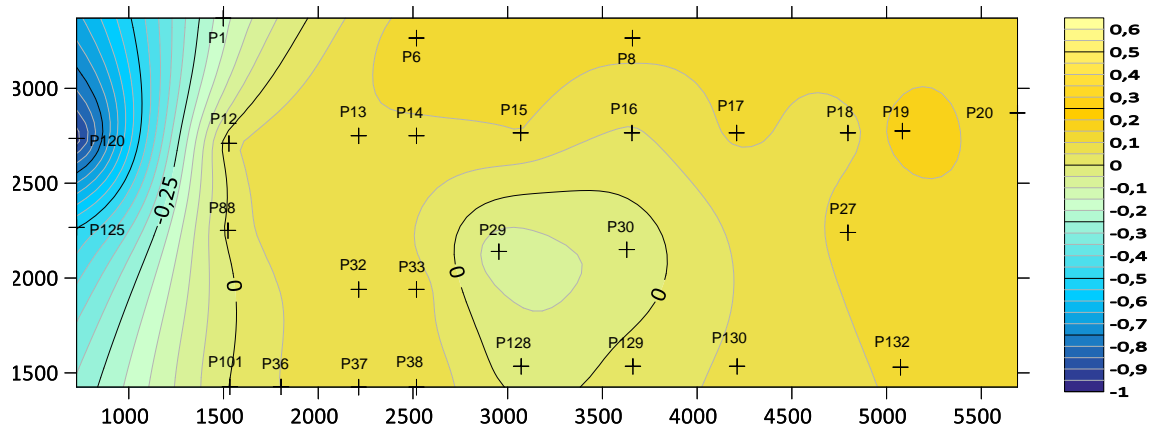
g) Tempo - 435 dias (10^o pavimento)



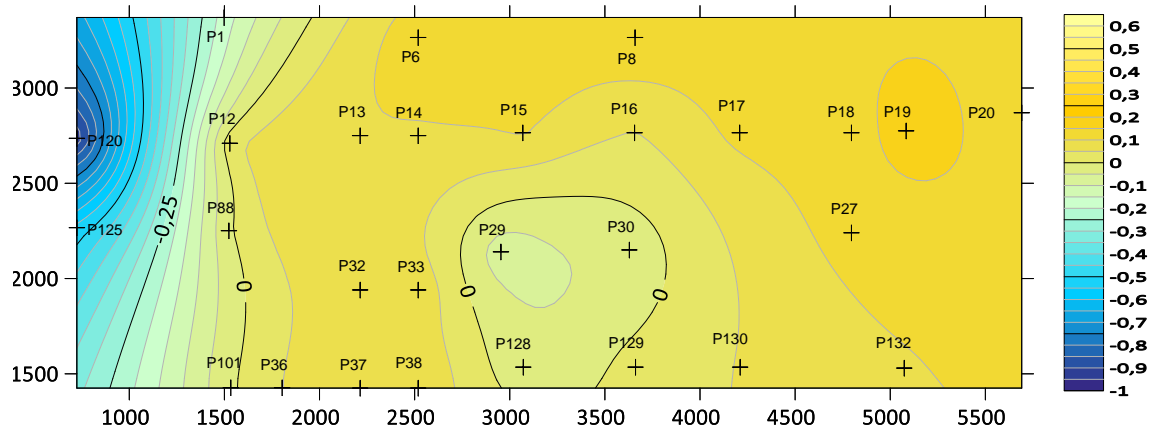
h) Tempo - 448 dias (11^o pavimento)



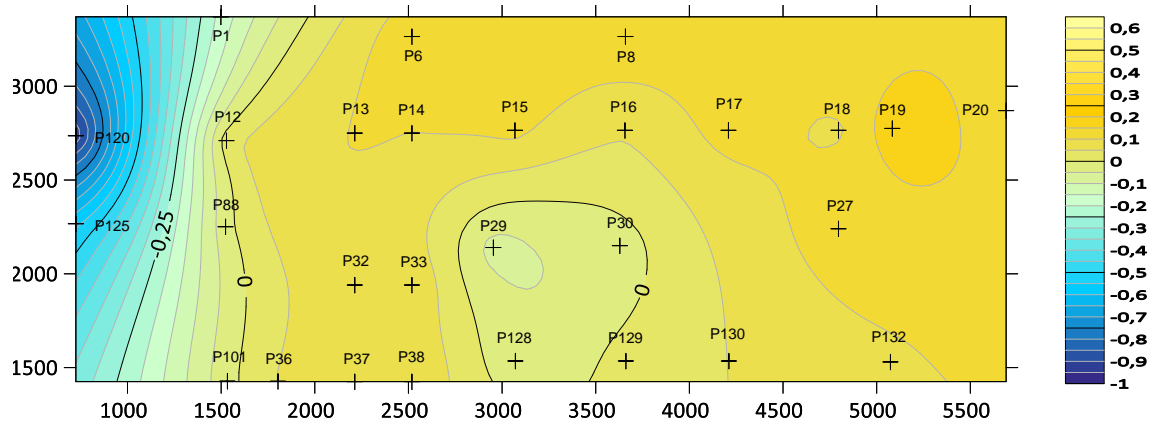
i) Tempo - 468 dias (12^o pavimento)



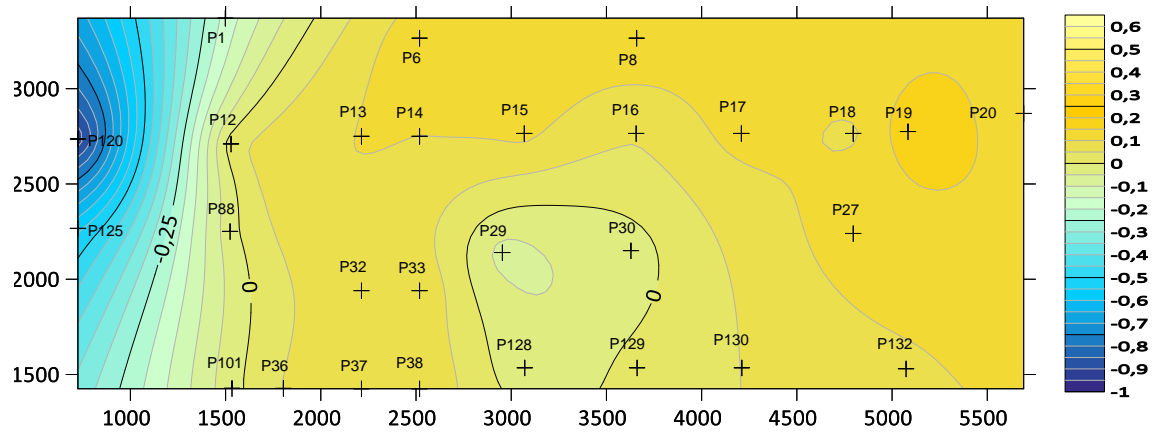
j) Tempo - 482 dias (13º pavimento)



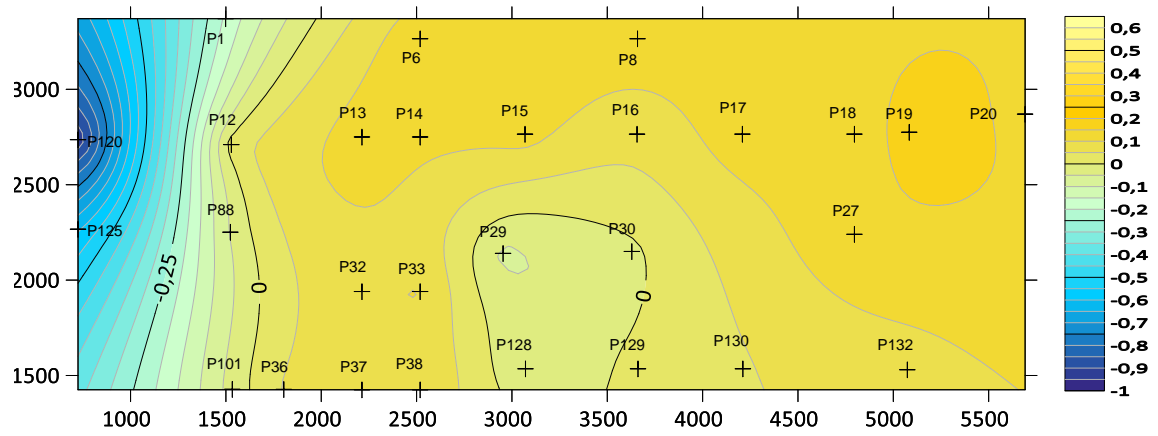
k) Tempo - 499 dias (14º pavimento)



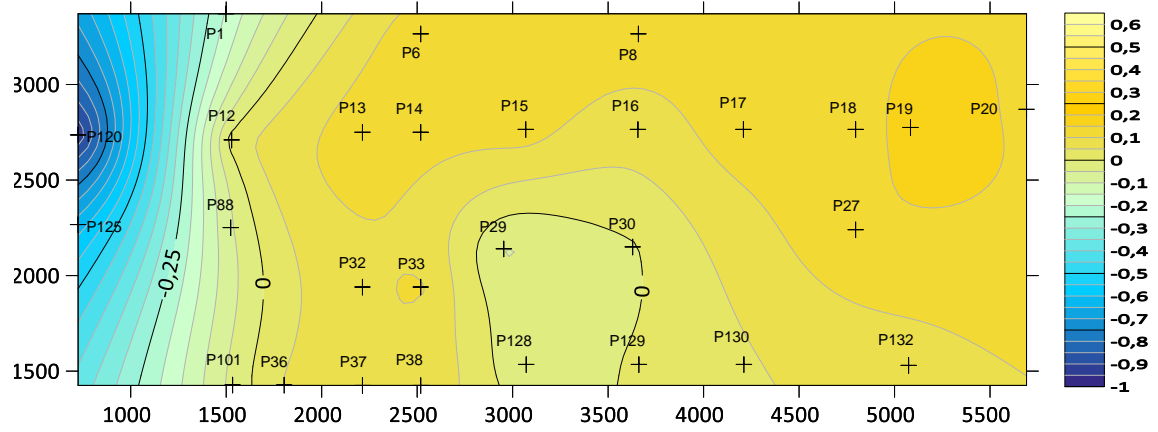
l) Tempo - 520 dias (15º pavimento)



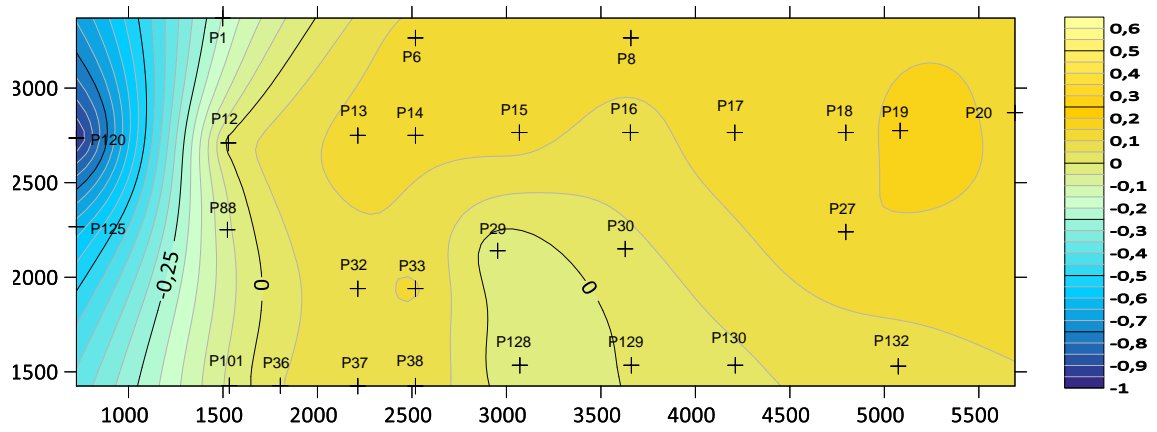
m) Tempo - 538 dias (16^o pavimento)



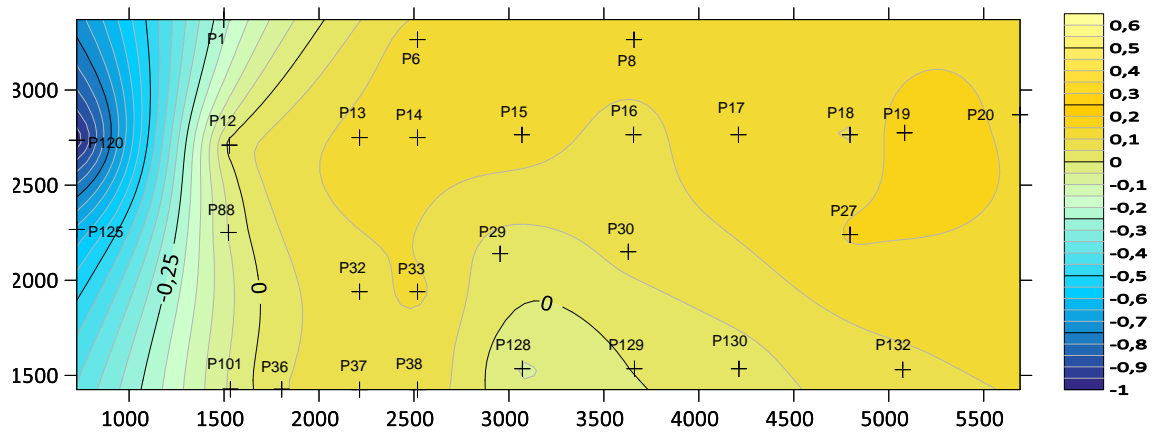
n) Tempo - 555 dias (17^o pavimento)



o) Tempo - 576 dias (18^o pavimento)



p) Tempo - 594 dias (19^o pavimento)



q) Tempo - 621 dias (20^o pavimento)