

PROJETO DE FUNDAÇÕES DA OBRA RIACHO MACEIÓ, TORRE II, SKY RESIDENCIAL, FORTALEZA – CE.

Luciano Décourt, Engenheiro Civil e professor universitário - decourt@decourt.com.br

1 – Elaboração do Projeto

Os estudos que orientaram a elaboração deste projeto, se basearam no que havíamos feito em 2013 para o projeto de fundações da obra Mansão Wildberger, o edifício mais alto de Salvador-BA.

Esse projeto foi amplamente divulgado em nosso artigo, publicado no livro em homenagem ao ilustre Professor Jean-Louis Briaud intitulado “*Innovations in Geotechnical Engineering*” e apresentado no *Symposium* da American Society of Civil Engineers, de 2018.

As figuras 9 a 14, do referido trabalho, analisam os resultados que obtivemos nessa obra.

Nos referimos às provas de carga em perfurações em rocha com 15,0cm de diâmetro e 6,0m de comprimento, onde a peça mais importante era uma barra de Rocsolo, de 3” de diâmetro, confinada por concreto de 50MPa de resistência. Era o início do que, posteriormente, iríamos denominar de fundações diretas em barras de aço, de 3” de diâmetro, e altíssima resistência ($\approx 282\text{tf}$), confinadas, por groute ou concreto de resistência, maior ou igual a 50MPa.

Esse assunto foi amplamente divulgado em palestra por nós proferida, no Instituto de Engenharia de São Paulo, em março de 2023, tratando de fundações diretas em aço.

2 – Concepção do projeto

A concepção do projeto feita pelo arquiteto, criou estruturas absolutamente lineares, ou seja, pilares com grandes comprimentos e largura mínima.

Em função disso, optamos por um tipo de fundação inédito, constituído por estacas tipo raiz, com diâmetros de 40,0cm e 31,0cm, respectivamente nos trechos em solo e em rocha ou conglomerado laterítico muito compacto.

Além disso, considerando que para edifícios altos como o Sky Residencial, com mais de 50 andares, os esforços, devido ao vento são os mais importantes, decidimos que nenhum pilar ficaria com um lado aberto.

Aqueles em forma de “U”, seriam transformados em “quadrado, para que viessem a ter uma grande rigidez em toda e qualquer direção.

Foram utilizados dois tipos de estacas, por nós designados, como estacas de carga e estacas de contenção.

As estacas de carga penetravam cerca de 6,0m na “rocha” e as de contenção, apenas tocavam o topo da mesma.

3 – Monitoramento dos recalques

A obra foi monitorada com relação aos recalques em todo o seu período de execução, ou seja, desde fevereiro de 2024, até março de 2026.

É extremamente importante ressaltar que não foram apenas medidas de recalque.

De acordo com procedimento que criamos, há cerca de 15 anos, em todas as datas em que foram medidos os recalques dos pilares, foi efetuada pelo calculista estrutural, engenheiro Marcelo Silveira, a avaliação das cargas de todos os pilares.

Com isso, transformamos as “N” medições de recalque, em “N” provas de carga “estáticas”.

O resultado final foi algo de excepcional.

Os recalques totais foram mínimos e os diferenciais, desprezíveis.

Na tabela I, são indicados todos os recalques medidos, sendo que em média, não chegaram a 3,0mm e o máximo, foi de 6,32mm, muitíssimo inferiores ao máximo admissível em projeto, que era de 25,0mm.

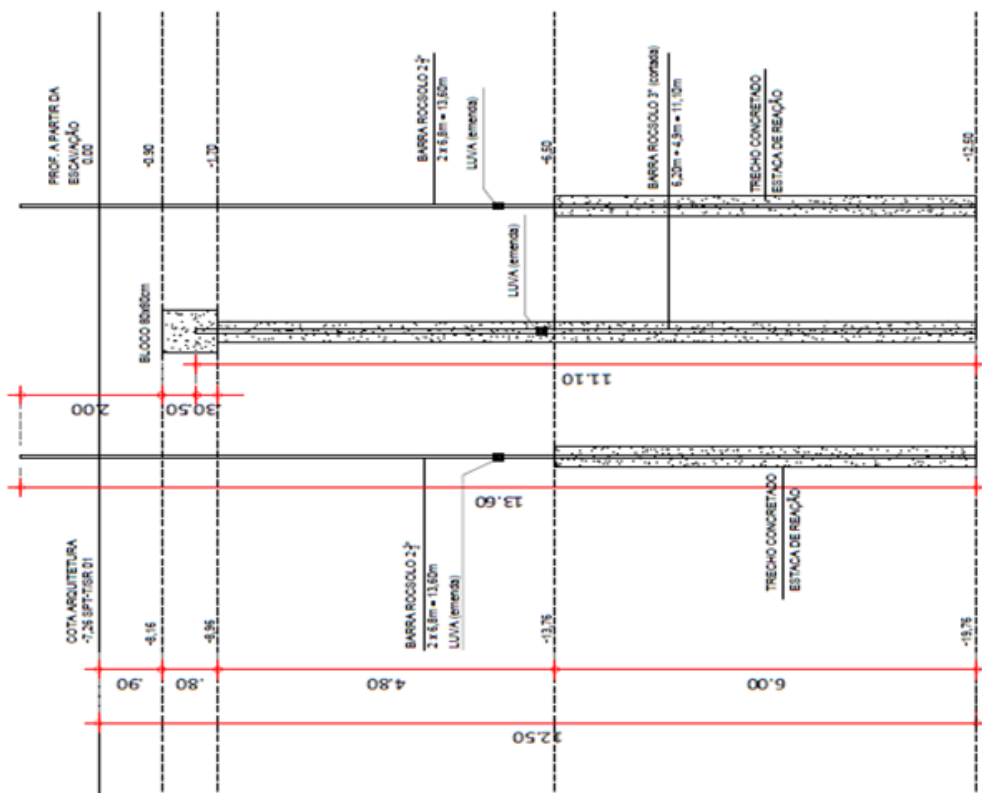
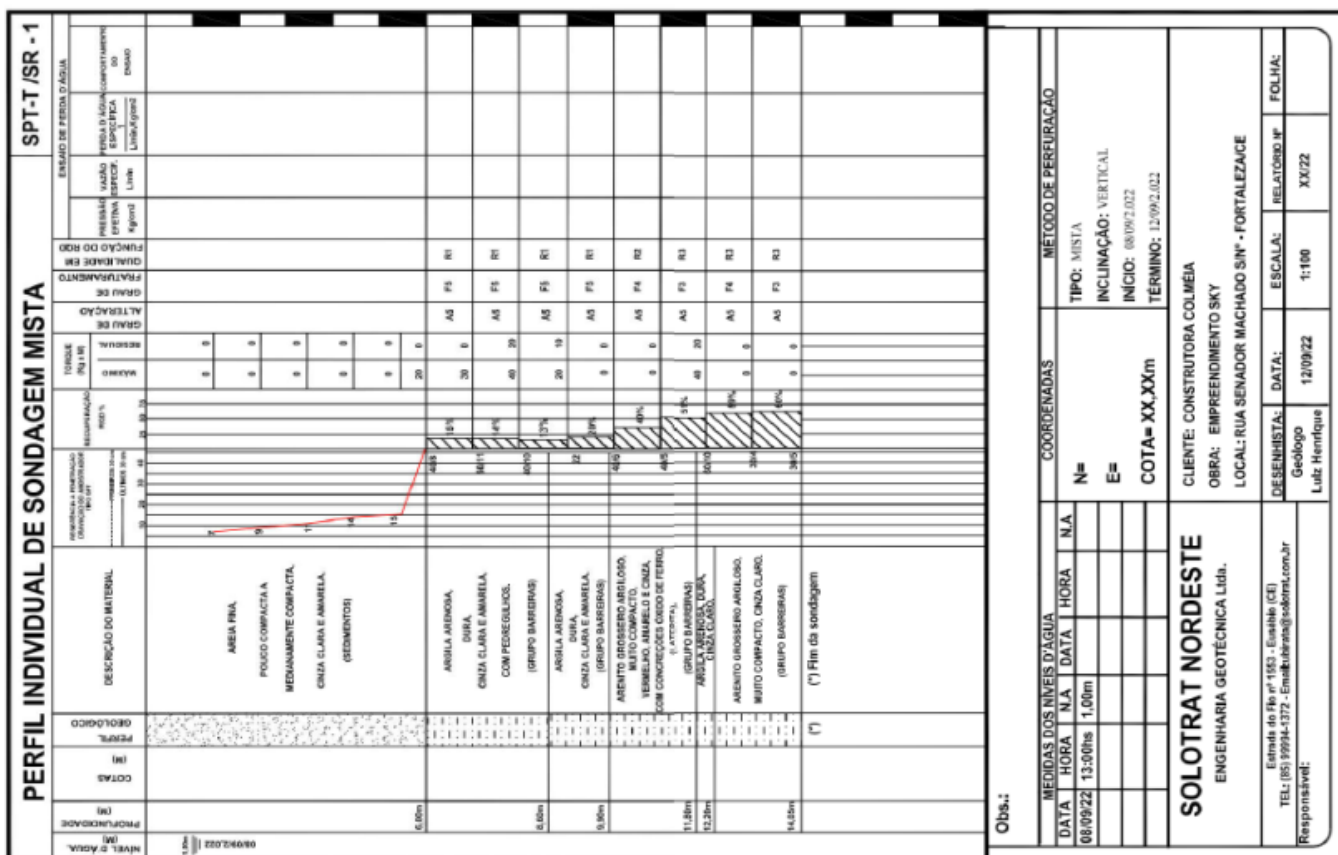
TABELA 1

Pilar	Carga (tf)	Recalque (mm)
P-01	1743,91	1,04
P-02	2010,33	2,55
P-03	2545,75	4,59
P-04	3679,9	6,32
P-05	2596,64	5,26
P-06	1991,22	3,3
P-07	1842,51	2,69
P-08	1263,05	1,15
P-09	996,06	1,61
P-10	3613,07	2,44
P-11	3451,18	3,62
P-12	3544,22	3,75
P-13	1000,27	2,39
P-14	1349,12	2,11
P-15/P-16	7258,32	1,92
Recalque médio		2,98
Recalque máximo		6,32

Tabela 1: Cargas e recalques dos pilares

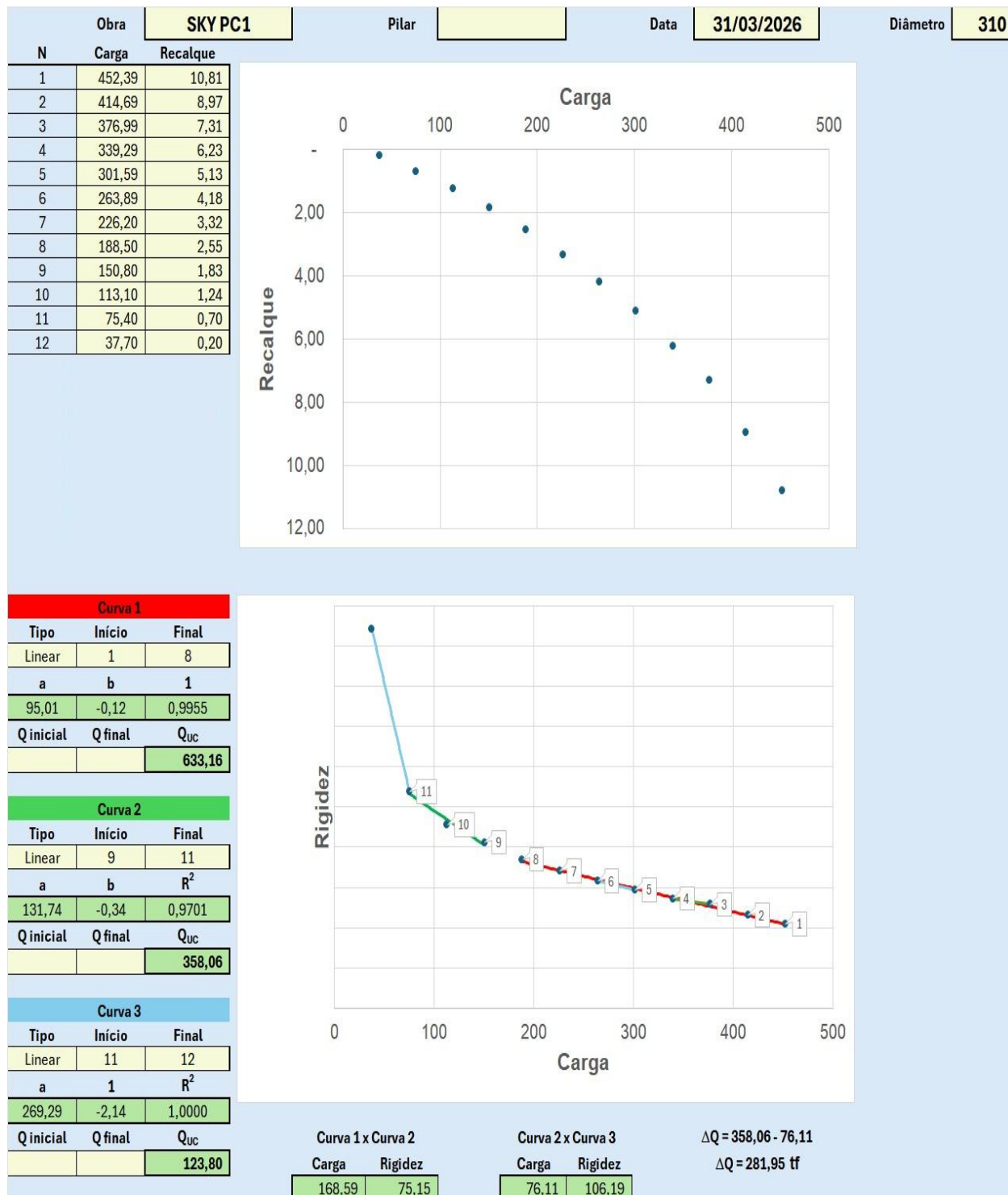
4 – Esquema das provas de carga e sondagem

A prova de carga executada pela Solossantini e a sondagem pela Solotrat são a seguir apresentadas.



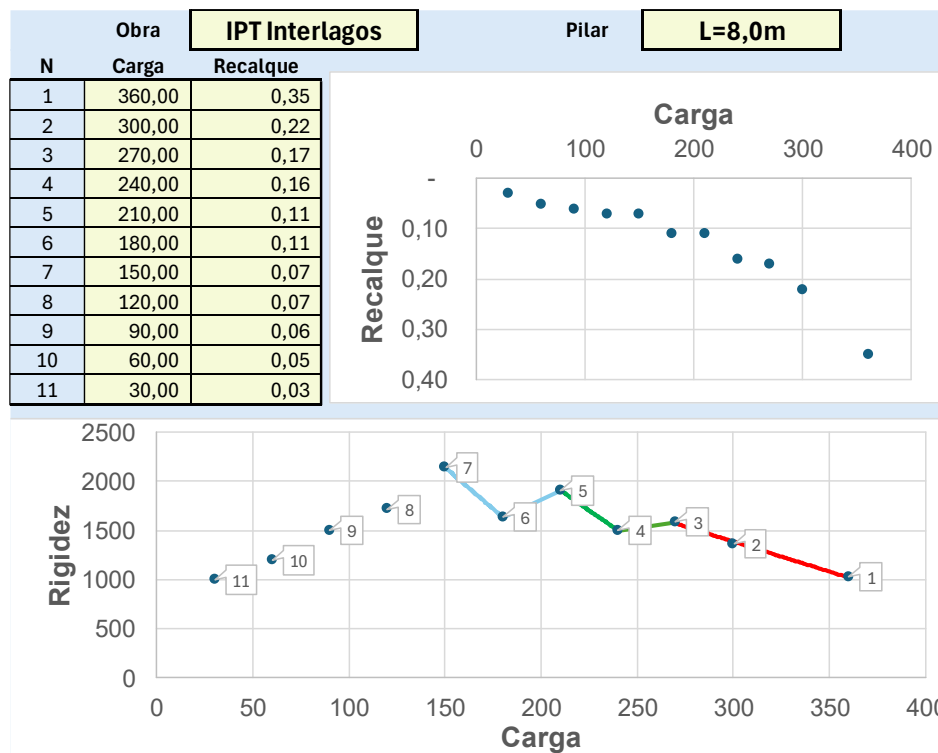
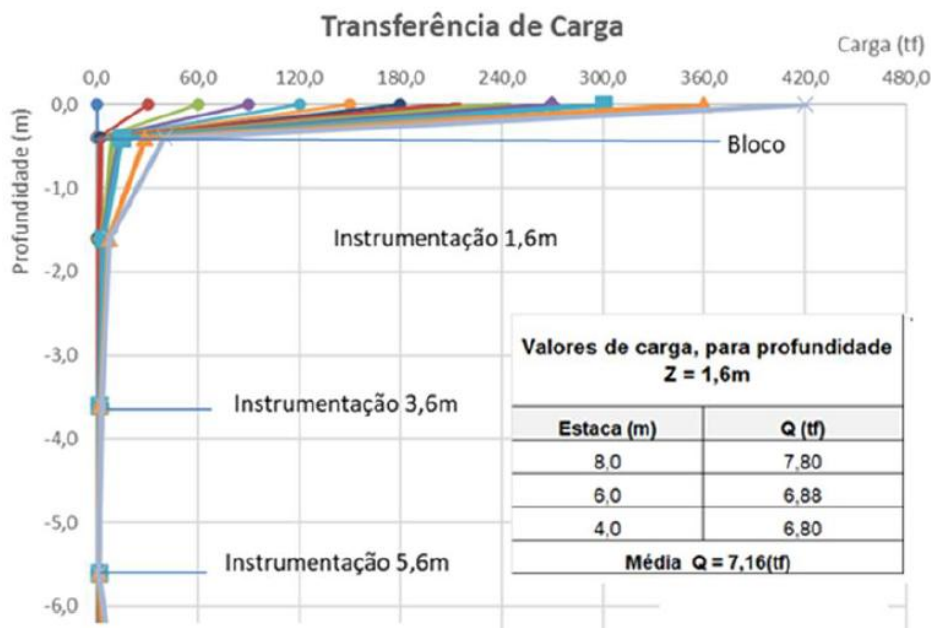
5 – Resultados da prova de carga

A contribuição da barra de Rocsolo, que é o mais importante nesta prova de carga é dada pelos pontos 9 a 11, indicativo de uma carga 358,06 tf. Descontada a carga de 76,11 tf da intersecção entre as curvas 2 e 3 resulta que a barra de aço está contribuindo com uma carga $Q=281,95\text{tf}$ (358,06-76,11).



5 – Pesquisa IPT Interlagos

Esta pesquisa foi realizada em rocha sã na região de Interlagos, São Paulo – SP. Foram analisadas barras de aço Rocsol de 4,0m; 6,0m e 8,0m, em perfurações de 15cm de diâmetro com espaço entre a barra e a rocha preenchido com concreto de alta resistência, não menos que 50 MPa. Observa-se que nos 3 casos a partir da profundidade do primeiro instrumento de medição ($z=1,60\text{m}$) praticamente toda a carga havia sido dissipada. Nesta profundidade a carga situava-se em torno de 7,0 tf enquanto a carga aplicada 1,60m acima era de 360 tf. Conclui-se, pois, que essa fundação funciona como uma sapata apoiada na barra de aço confinada e os resultados são praticamente independentes da profundidade e dos comprimentos das barras.

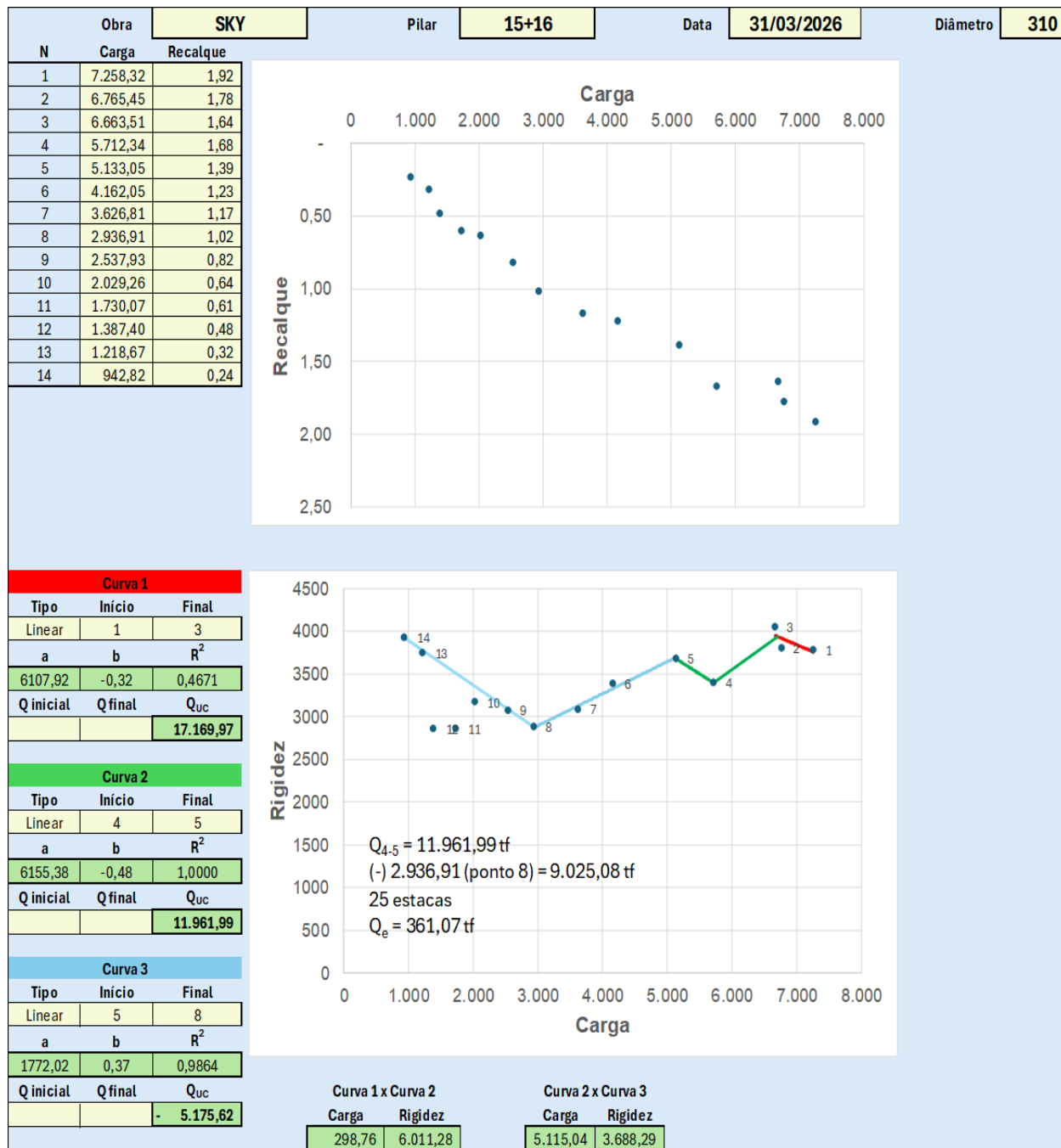


6 – Análise dos pilares do SKY

Na fundação do pilar 15+16, observa-se que as barras de aço Rocsolo de 3 polegadas estão recebendo uma carga média de 361,07 tf por estaca.

Esse valor resulta da carga total de 11.961,99 tf, obtida a partir dos pontos 4 e 5 do gráfico de rigidez, descontando-se a parcela correspondente ao ponto 8 (2.936,91 tf), estimada pela intersecção das retas definidas pelos pontos 5–8 e 8–14. A carga líquida assim obtida é então distribuída entre as 25 estacas de carga.

A carga de ruptura não pode ser definida com precisão; entretanto, estima-se um valor da ordem de 17.169,97 tf, com base na extrapolação dos pontos 1 a 3 do gráfico. Esse valor corresponde a um coeficiente de segurança aproximado de 2,44, em relação à carga de projeto de 7.048,50 tf.

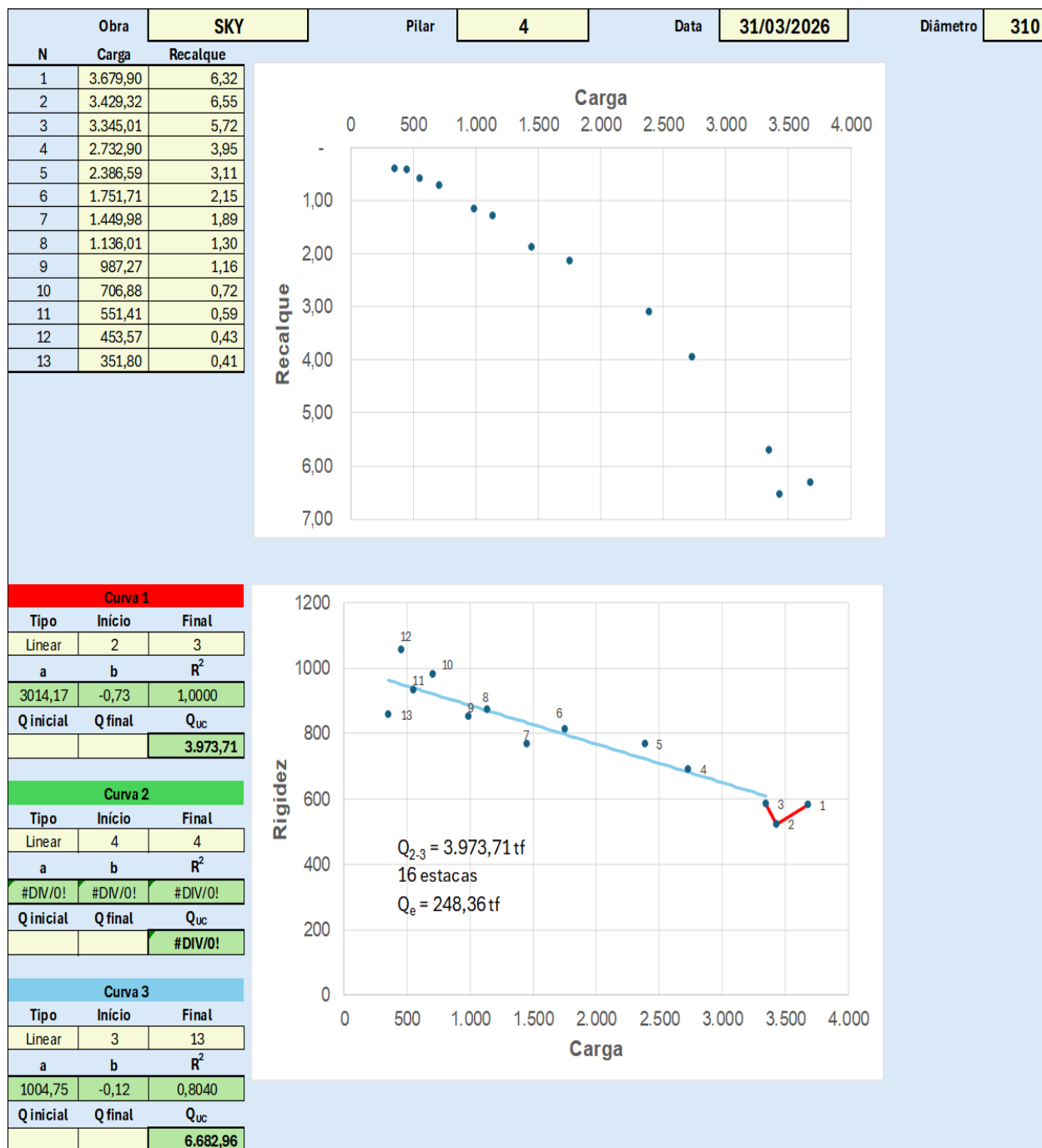


Pilar 15 + 16

LUCIANO DÉCOURT

ENGENHEIRO CIVIL - PROF. UNIVERSITÁRIO

Na fundação do pilar 4 observa-se que a barra de aço Rocsolo de 3 polegadas está recebendo uma carga de 248,36 tf dada pela carga 3.973,71 obtida através dos pontos 2 e 3 do gráfico de rigidez, dividida pelo número de estacas, ou seja, 16.

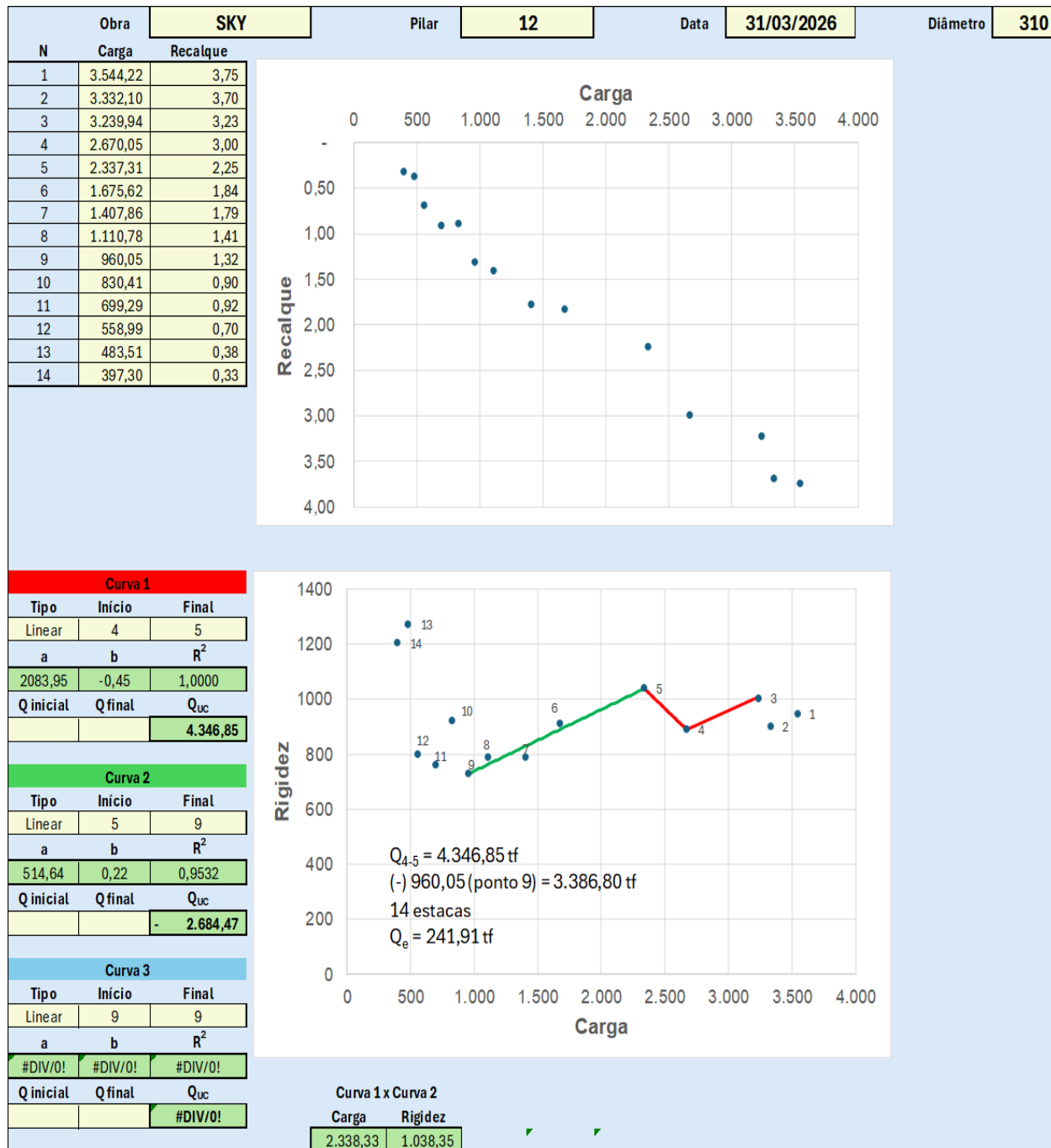


Pilar 4

LUCIANO DÉCOURT

ENGENHEIRO CIVIL - PROF. UNIVERSITÁRIO

Na fundação do pilar 12 observa-se que a barra de aço Rocsol de 3 polegadas está recebendo uma carga de 241,91 tf dada pela carga 3.973,71 obtida através dos pontos 4 e 5 do gráfico de rigidez, menos a carga do ponto 9 que é aproximadamente a intersecção da reta que liga os pontos 5 e 9 e a reta que liga os pontos 9 e 14, ou seja, 960,05 tf dividida pelas 14 estacas de carga.



Pilar 12

Conclusão

Os resultados apresentados ao longo deste trabalho indicam que a solução adotada se mostrou adequada às condições da obra, com desempenho muito satisfatório sob o ponto de vista de recalques e comportamento estrutural. Os valores medidos de recalque foram bastante inferiores aos normalmente encontrados, indicando um excelente nível de segurança.

O acompanhamento sistemático de recalques, associado à avaliação das cargas nos pilares, permitiu uma leitura mais completa do comportamento das fundações ao longo de sua execução. Esse procedimento contribuiu para dar maior consistência às análises e confiança nos resultados obtidos.

A solução adotada, baseada em conceitos que venho desenvolvendo ao longo dos últimos 15 anos, inovou a maneira de se projetar fundações, demonstrando um comportamento incomum da utilização dessas barras de aço de altíssima qualidade, confinadas por concreto de alta resistência.

É mais uma evidência do conceito que introduzi há uns 20 anos atrás, de que, em fundações é preciso SER, segurança, economia e rapidez.