XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.5/37

Calibração do Método de Décourt-Quaresma (1978) para Estacas Mega Metálicas Injetadas aplicada a um reforço predial em Curitiba/PR

Joana Rott
Engenheira Civil, Coordenadora de Projetos, **SYNCGEO**, Jundiaí, Brasil, joana.rott@syncgeo.com.br

Ana Beatriz de Castro Fernandes
Engenheira Civil, Assistente de Engenharia, **SYNCGEO**, Jundiaí, Brasil, ana.fernandes@syncgeo.com.br

André Querelli
Engenheiro Civil, M.Sc., Diretor, **SYNCGEO**, Jundiaí, Brasil, andre.querelli@syncgeo.com.br

RESUMO: O artigo apresenta o estudo de reforço de fundações em um edifício residencial localizado em Curitiba/PR, onde foram adotadas estacas do tipo mega-metálica injetada como solução de reforço de fundação. Este foi necessário em função de problemas críticos de puncionamento nos pilares e radier de fundação originalmente projetado, demandando a implantação de um sistema complementar. O foco deste trabalho é a metodologia usada no cálculo dos comprimentos das estacas, baseada no método clássico Décourt–Quaresma (1978), calibrada especificamente para a solução mega-metálica injetada utilizada na obra. A calibração foi conduzida a partir de um conjunto robusto de ensaios de campo: cinco provas de carga estática realizadas diretamente nas estacas de reforço, permitindo a determinação empírica dos parâmetros de rigidez, mobilização de atrito lateral, contribuição da injeção e comportamento da transferência de carga ao longo do fuste. A análise comparativa entre os resultados obtidos em campo e as previsões teóricas permitiu ajustar coeficientes de mobilização e fatores de segurança, tornando o método mais aderente à realidade geotécnica local - caracterizada por solos residual-saprolíticos típicos de Curitiba - e ao comportamento específico das estacas mega metalicas injetadas. Os resultados demonstram que a metodologia calibrada proporcionou maior previsibilidade, redução de incertezas e compatibilização eficaz entre projeto e comportamento real.

PALAVRAS-CHAVE: Estaca Mega Metálica Injetadas, Reforço de Fundações, Prova de Carga Estática, Solos Saprolíticos, Calibração.

ABSTRACT: The article presents a study on foundation strengthening in a residential building located in Curitiba/PR, where injected steel mega piles were adopted as the foundation reinforcement solution. This intervention was required due to critical punching issues in the columns and the originally designed raft foundation, demanding the implementation of a complementary system. The focus of this work is the methodology used to calculate pile lengths, based on the classical Décourt–Quaresma method, specifically calibrated for the injected steel mega pile solution applied in the project. The calibration was conducted using a robust set of field tests: five static load tests performed directly on the reinforcement piles, enabling the empirical determination of stiffness parameters, mobilization of shaft friction, contribution of grout injection, and load transfer behavior along the pile shaft. The comparative analysis between field results and theoretical predictions allowed for the adjustment of mobilization coefficients and safety factors, making the method more representative of the local geotechnical conditions—characterized by residual-saprolitic soils typical of Curitiba—and of the specific behavior of injected steel mega piles. The results demonstrate that the calibrated methodology provided greater predictability, reduced uncertainties, and effective compatibility between design and actual performance.
.

KEYWORDS: Injected Mega Metal Piles, Décourt-Quaresma Method, Foundation Reinforcement, Static Load Test, Saprolitic Soils, Calibration.

1 INTRODUÇÃO

As estacas Mega Metálicas Injetadas (MMI) podem servir como fundação inicial ou, mais comumente, como reforço em estruturas existentes, especialmente em locais com pé-direito baixo que impedem o uso de equipamentos pesados. De acordo com a Associação Brasileira de Estacas e Fundações (ABEF, 2022), o método é praticamente isento de vibrações, minimizando riscos de danos a edificações já fragilizadas.

No caso em análise, o reforço de fundação foi projetado com estacas do tipo MMI, que consistem na cravação de tubos metálicos no solo por meio de macaqueamento contra a estrutura existente, seguida da injeção pressurizada de nata de cimento. Esse processo promove a formação de um bulbo na ponta da estaca e de um revestimento ao longo de seu fuste, aumentando a resistência por atrito lateral e a capacidade de transferência de cargas ao solo (MEGA REFORÇA, 2020; ABNT NBR 17521:2020).

Após a finalização das etapas de cravação dos segmentos metálicos e da injeção de nata de cimento, procede-se ao encunhamento definitivo da estaca para garantir a adequada transferência de cargas entre a estrutura existente e o novo elemento de fundação. Esse procedimento foi executado por meio da instalação de cunhas metálicas, dimensionados de acordo com as cargas atuantes no elemento estrutural.

A utilização de estacas mega metálicas injetadas tem se mostrado uma solução eficiente para o reforço de fundações, especialmente em obras de recuperação estrutural. Nesse contexto, a estimativa da capacidade de carga e a definição do comprimento necessário de cravação das estacas podem ser realizadas por meio da aplicação de métodos semiempíricos baseados em resultados de sondagens de simples reconhecimento (SPT). Entre esses métodos, destaca-se o método de Décourt-Quaresma, originalmente proposto por Décourt e Quaresma em 1978.

O método de cálculo foi desenvolvido inicialmente em 1978 e teve a introdução dos fatores β (fator de atrito) e α (fator de ponta) em 1996, de forma a justar os valores de acordo com o tipo de solo e o tipo de estaca. Sua lógica é baseada em sondagens a percussão, sendo a capacidade de carga (Ru) de uma estaca separada por sua parcela de resistência lateral (R_L) e uma parcela de resistência de ponta (R_P). O método de cálculo é calculado conforme a equação 1.

$$R_U = R_P + R_L = \alpha \times C \times N_P \times A_P + \beta \times 10\left(\frac{N_L}{3} + 1\right) \times U \times L + \quad (1)$$

Onde α e β são coeficientes que dependem do tipo de estaca e das características do solo. No caso das estacas mega metálicas, observa-se na literatura uma lacuna quanto aos valores mais adequados a serem adotados para esses parâmetros. Nesse contexto, Cintra e Aoki (2010) indicam que, para estacas pré-moldadas de concreto, estacas metálicas, podem ser mantidos os coeficientes originalmente propostos no método Décourt-Quaresma, adotando-se α = 1,0 e β = 1,0.

De modo geral, são pouco frequentes os registros publicados de obras ou estudos de caso que apresentem análises detalhadas sobre o comportamento mecânico desse tipo de estaca em campo, bem como investigações que tratem especificamente de metodologias voltadas ao seu dimensionamento geotécnico. Ainda assim, algumas contribuições podem ser encontradas na literatura, destacando-se trabalhos que discutem o desempenho dessa tipologia em diferentes contextos regionais, como os estudos de Junqueira (1994), Alonso (2021) e Oliveira et al. (2023). Além disso, existem publicações que propõem adaptações de métodos de cálculo tradicionalmente empregados em fundações profundas para aplicação em estacas do tipo MEGA, como apresentado por Araújo (2005).

2 ESTUDO DE CASO

2.1 Descrição do problema

Durante a fase de execução do empreendimento concebido em estrutura de concreto armado composta por lajes e pilares, com 10 pavimentos e fundações projetadas em sistema de fundação rasa do tipo radier, foram observadas fissuras na interface entre os pilares e o elemento de fundação. Além disso, foi registrada a ocorrência de um colapso localizado em parte da estrutura em construção, conforme demonstrado na Figura 1 evidenciando a manifestação de esforços de cisalhamento. A ocorrência desse colapso parcial permitiu

identificar de forma mais evidente a insuficiência da resistência ao cisalhamento do radier frente às cargas transmitidas pelos pilares da superestrutura.



Figura 1. Colapso parcial da edificação (Autoria própria, 2025)

2.2 Subsolo

Quanto a formação geologica local, de acordo com Serviço Geológico do Brasil - CPRM (2010), a região de Curitiba é caracterizada por solos formados por gnaisse-migmatíticos e granulitos, sendo esta região uma complexa associação de litologias das mais diferentes idades, origens e características físico-químico-texturais.

As sondagens, indicaram que o subsolo do empreendimento é composto predominantemente por argila siltosa, apresentando veios ou camadas intercaladas de argila arenosa, com espessuras variando entre aproximadamente 2 m e 3 m. De modo geral, observa-se um aumento progressivo dos valores do índice de resistência à penetração (NSPT) com o incremento da profundidade.

Na camada superficial, até cerca de 10 m de profundidade, os valores de NSPT variam entre 3 e 15 golpes, indicando solos de consistência mole a média. Entre as profundidades de 10 m e 20 m, os valores do NSPT também apresentam tendência crescente, situando-se aproximadamente entre 12 e 30 golpes, caracterizando solos com consistência média a rija.

Abaixo de 20 m de profundidade, o perfil geotécnico é predominantemente constituído por argila arenosa de consistência dura, com valores de NSPT superiores a 30 golpes, indicando camadas de solo com maior capacidade de suporte.

2.3 Concepção da solução de reforço

Pra alívio de cargas e reforço da fundação dimensionou-se a execução de 200 estacas mega metálicas injetadas, sendo a cravação realizada com mísulas permanantes e passantes e mísulas superiores temporárias e removíveis. Os elementos da MMI foram tubos metálicos de 6” e espessura mínima de 10 mm (Schedule 80), cravados para até 85 tf e profundidades entre 20 m a 30 m. Com relação à profundidade das estacas, foi considerada em projeto uma faixa de comprimentos possíveis. Essa abordagem se deve ao processo de macaqueamento, que permite a aplicação de carga controlada na estaca durante a execução, possibilitando a definição mais precisa da carga de trabalho.

A Figura 2 demonstra a execução da cravação das estacas mega metálicas. Observa-se o conjunto de mísulas metálicas fixadas aos pilares da estrutura, constituindo o sistema de reação para o macaqueamento, assim como o macaco hidráulico acoplado a uma bomba, para a introdução segmentada dos tubos metálicos no solo.



Figura 2. Execução da cravação das estacas MMI (Autoria própria, 2025)

Para definição dos comprimentos de execução das estacas foram inicialmente utilizados os parâmetros conforme o estudo de Araújo (2005), que ocasionaram em comprimentos muito longos, na faixa dos 28 m. Em contrapartida, a experiência prática da empresa executora sugeria que os comprimentos fossem estimados entre de 16 m a 18 m. Foi então decidido executar algumas estacas para verificação dos comprimentos e calibração do método, chegando a uma faixa de valores de 20 m a 25 m. A partir desses dados os parâmetros foram ajustados para $\alpha = \beta = 1{,}2$ que fornecem uma faixa de 18 m a 25 m para de acordo com as sondagens locais.

2.4 Ensaios (Prova de Carga Estática)

O sistema de reação utilizado nos ensaios foi dimensionado para suportar uma carga máxima de 100 tf. A instrumentação empregada consistiu em um macaco hidráulico com capacidade de 120 tf, posicionado diretamente sobre o topo da estaca, operado por uma unidade hidráulica com capacidade para 700 kgf/cm^2. Entre o macaco e o sistema de reação, instalou-se uma célula de carga para garantir o da carga aplicada em cada estágio. Para o monitoramento dos recalques, foram utilizados relógios comparadores com precisão de 0,01 mm, fixados em referenciais indeslocáveis. A estabilização dos deslocamentos foi considerada atingida quando a diferença entre duas leituras consecutivas não ultrapassava 5% do deslocamento registrado no estágio em análise.

Os ensaios seguiram as diretrizes da NBR 16903(2020) para ensaios do tipo lento. O procedimento de ensaio foi de 5 estágios de carregamento e 3 de descarregamento, com incrementos de carga de 20tf. Os estágios foram mantidos por 30 minutos após a estabilização em todos os estágios, com excessão do último de carregamento e do primeiro de descarregamento que foram mantidos por 12 horas cada.

Para a calibração do método foram realizadas 5 Provas de Carga Estáticas (PCE), sendo suas características resumidas na Tabela 1.

Tabela 1 – Resumo das provas de carga estáticas

Ensaio	Estaca	Comprimento executado (m)	Diâmetro (pol)	Carga máxima (tf)	Deslocamento para carga máxima (mm)
PCE 01	P39-E	20,66	6	100	19,73
PCE 02	P38-D	21,22	6	100	18,26
PCE 03	P26-B	22,22	6	100	18,01
PCE 04	P44-A	25,72	6	100	19,91
PCE 05	P47-E	23,48	6	100	22,25

Embora as Provas de Carga Estática (PCE) tenham atingido a carga máxima estipulada para o ensaio, não foi observada uma ruptura física ou convencional nítida em nenhuma das cinco estacas ensaiados, por conta disto, as curvas de carga x recalque não foram incluídos no presente trabalho, porém podem ser utilizadas para uma publicação futura .

3 CALIBRAÇÃO DO MÉTODO

Até a presente apresentação deste trabalho, foram processados os dados de 137 estacas executadas, as quais foram utilizadas para a análise da calibração do método de Décourt-Quarema (1978). A análise da distribuição dos comprimentos reais atingidos em campo permitiu verificar a compatibilidade com as estimativas teóricas utilizando a realidade geológica local.

O histograma apresentado na Figura 3 mostra uma boa distribuição de resultados, sendo que 65% das estacas estão contidas na faixa conforme a retroanálise realizada a partir das provas de carga, utilizando os parâmetros $\alpha = \beta = 1{,}2$ que forneceram uma estimativa de comprimentos entre de 18 m a 25 m.

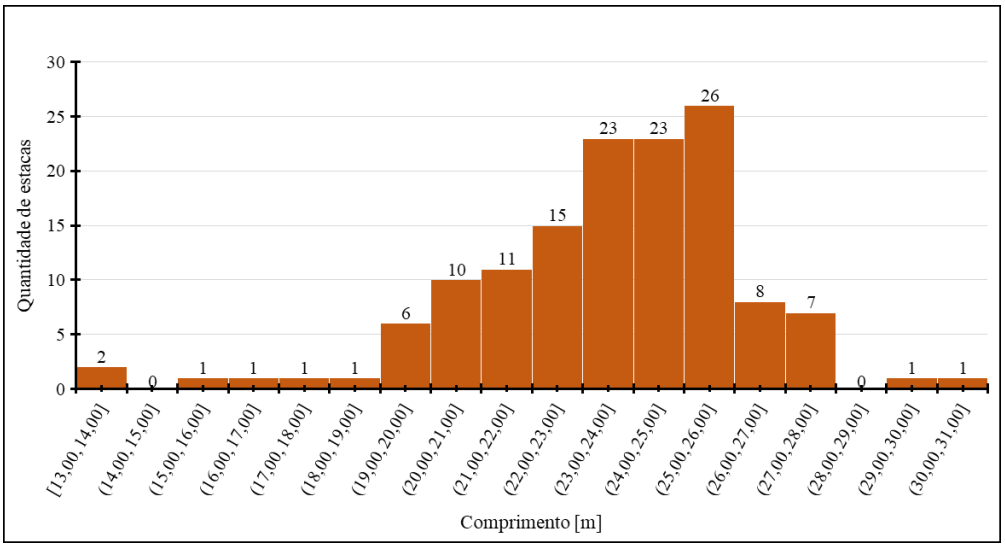


Figura 3 - Histograma dos comprimentos das estacas (Autoria própria, 2026)

A média aritmética encontrada para os comprimentos das estacas executadas foi de 23,51 m, que está dentro da faixa esperada com os parâmetros do método calibrado. Contudo, observou-se um desvio padrão de 2,74 m que indica o quanto os comprimentos estão dispersados em relação à média, sendo essa variabilidade esperada pela heterogeneidade da Formação Atuba encontrada no local, por isso o projeto não se baseia em um valor fixo mas em um intervalo de valores.

4 CONCLUSÃO

O presente trabalho permitiu a calibração do método semi-empírico de Décourt-Quaresma (1978) para a execução de estacas mega metálicas injetadas (MMI) em um reforço estrutural na cidade de Curitiba/PR. A partir da análise dos dados de 137 estacas e da realização de ensaios de campo, conclui-se que os valores calibrados de $\alpha = \beta = 1{,}2$ se ajustou melhor em relação ao recomendado genericamente para estacas metálicas. A calibração proposta estabeleceu uma faixa de 18 m a 25 m, apresentando maior aderência à realidade de campo, sendo o índice de assertividade de 65% que valida as mudanças propostas. O desvio padrão de 2,74 m é tecnicamente justificado pela acentuada heterogeneidade da Formação Atuba, reforçando a necessidade de projetos de reforço baseados em intervalos de confiança e não em valores fixos de profundidade.

A metodologia de retroanálise aplicada demonstra que a integração entre ensaios de penetração (SPT), monitoramento executivo e provas de carga é o caminho mais seguro para a otimização de reforços de fundação em solos saprolíticos complexos, reduzindo incertezas e custos operacionais.

Desta forma, os parâmetros aqui apresentados podem ser adotados como uma estimativa inicial mais assertiva para projetos de estacas mega metálicas em solos similares, servindo como uma base de cálculo que reduz as discrepâncias entre o dimensionamento teórico e a execução prática.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2022) *NBR 6122: Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16903: Solo — Ensaio de carga estática em fundação profunda. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. 36 p.

ABEF - Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia. (2022) Manual de Execução de Fundações: Práticas Recomendadas. 3ª ed., São Paulo, 442 p.

Araujo, R. S. (2005) Estudo das estacas tipo "mega" objetivando seu projeto e sua execução. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 156 p.

CINTRA, José Carlos Angelo; AOKI, Nelson. Fundações por estacas: projeto geotécnico. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

DÉCOURT, L.; QUARESMA, A. R. Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT. In: VI CBMSEF, 1978, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, 1978. v. 1, 45- 53 p

Serviço Geológico do Brasil - CPRM. (2010) Mapa de Geodiversidade da Folha Curitiba (SG.22-Y-D). Programa Levantamento da Geodiversidade do Brasil, escala 1:250.000, Brasília. Disponível em: http://www.cprm.gov.br. Acesso em: 22 jan. 2026.

Oliveira, A. M. S., Brito, S. N. A. (1998) Geologia de Engenharia. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental - ABGE, São Paulo, 586 p. Disponível em: https://www.abge.org.br/. Acesso em: 22 jan. 2026.