

Estudo de caso: execução de estacas escavadas com grande diâmetro e profundidade

Gustavo Carreiro Bento

Engenheiro Civil na Geofix Engenharia, São Paulo, Brasil, gustavo.bento@geofix.com.br

Marcio Abreu de Freitas

Engenheiro Civil na Geofix Engenharia, São Paulo, Brasil, marcio.freitas@geofix.com.br

Thayná Furuya

Engenheira Civil na Geofix Engenharia, São Paulo, Brasil, thayna.furuya@geofix.com.br

Denis Gonzaga Bayona

Engenheiro Sênior na Geofix Engenharia, São Paulo, Brasil, denis.bayona@geofix.com.br

RESUMO: O texto descreve uma construção residencial localizada acima do túnel do metrô, abordando a solução adotada para a fundação. Inicialmente, planejou-se a utilização de estacas hélice contínua para esta obra convencional. No entanto, devido à construção do túnel do metrô abaixo, a solução foi alterada para estacas escavadas com fluido estabilizante, capazes de suportar as cargas distribuídas por um bloco de fundação de 7800 m³. Essas estacas, com diâmetros variando de Ø100 cm a Ø200 cm e profundidades entre 10,5 m e 57,5 m, ocupam significativa parte da projeção da obra. O artigo mostra o processo executivo da concretagem submersa da estaca E-736, enfrentando desafios, dificuldades desde a chegada dos caminhões betoneiras na obra, até o rearmazenamento de lama bentonítica nos silos e propondo soluções para situações. Dada a execução futura da obra do metrô, destaca-se a importância da precisão nas locações e cuidados na execução, para evitar excentricidades, especialmente nas estacas próximas ao túnel, projetadas com grande profundidade. Com a opção da estaca escavada definida pelo aumento de carga e por não existirem máquinas de hélice contínua que executam com o diâmetro e profundidade máxima exigida.

PALAVRAS-CHAVE: Estacas escavadas com fluido estabilizante, concretagem, execução, desafios, soluções.

ABSTRACT: The text describes a residential construction located above the metro tunnel, addressing the adopted solution for its foundation. Initially, continuous flight auger piles were planned for this conventional project. However, due to the metro tunnel construction below, the solution was changed to bored piles with stabilizing fluid, capable of supporting loads distributed across a 7800 m³ foundation block. These piles, ranging in diameter from Ø100cm to Ø200cm and depths between 10.5m and 57.5m, occupy a significant portion of the project's footprint. The article details the execution process of submerged concreting for pile E-736, facing challenges from the arrival of concrete mixer trucks on site to the re-storage of bentonite slurry in silos, proposing solutions for these scenarios. Given the upcoming metro construction, the text emphasizes the importance of precise surveying and careful execution to prevent eccentricities, especially in piles near the tunnel, designed with considerable depth. The choice of bored piles was driven by increased load requirements and the absence of continuous flight auger machines capable of operating at the required diameter and maximum depth.

KEYWORDS: Bored piles with stabilizing fluid, concreting, execution, challenges, solutions.

1 INTRODUÇÃO

Na construção civil, onde cada projeto tem suas particularidades, um exemplo disso, é um projeto localizado na região da Pompeia, São Paulo, que ao término será um edifício residencial de 28 andares.

Originalmente planejado em função de sondagens de até 30 m de profundidade. Contudo, ao serem informados que um túnel de metrô, com o topo do túnel na cota 707,95 e a base na cota 697,39, futuramente irá passar sob a obra, foram utilizadas as sondagens que já haviam executadas pelo metrô com profundidade de aproximadamente 60 m (tabela 1) com sua cota do nível d'água variando da 726,50 a 728,50. Sendo assim, a fundação exigiu uma revisão total de seu planejamento inicial.

Sondagem: SP 07		Cota do terreno: 728,03
Cota do nível d'água: 726,24		Cota final: 667,73
SPT médio	Profundidade (m)	Classificação das Camadas de Solo
4	2,30	Aterro de argila com entulhos, marrom avermelhado, variegado
4	2,65	Aterro de argila, cinza escuro
7	4,15	Argila siltosa, arenosa, mole, cinza escuro
9	5,48	areia fina argilosa, siltosa, pco compacta a med. compacta, vermelha amarelada e amarela
13	7,66	Argila siltosa, rija a mto rija, conza méd. e amarela
25	10,25	Argila siltosa, mto rija, cinza escura
26	11,56	Argila siltosa, mto rija, cinza média e amarela
18	13,52	Areia fina mto argilosa, siltosa, med. compacta a compacta, cinza clara esverdeada
39	14,48	Areia siltosa dura, cinza méd. esverdeada e amarela
40	14,55	Areia fina siltosa, com limonita, marrom avermelhada
41	16,57	Areia de granulação variada e siltosa, pco argilosa, mto compacta, cinza méd. esverdeada
38	21,76	Argila siltosa, dura, cinza média esverdeada e marrom
32	23,18	Areia fina siltosa, pco argilosa, compacta, cinza méd. esverdeada
31	24,33	Areia fina mto siltosa, cinza clara esverdeada
34	25,59	Argila mto siltosa, arenosa, dura, cinza média esverdeada
34	30,51	Areia de granulação variada argilosa, siltosa, com pedregulhos finos, compacta, a mto compacta, cinza méd. esverdeada
23	31,48	Argila arenosa, siltosa, mto rija, cinza méd. esverdeada
44	55,00	Argila siltosa, mto rija a dura, variegada, preta, cinza escura e marrom, cinza méd. e marrom, verde e marrom
56	60,30	Argila siltosa, mto rija a dura, variegada, preta, cinza escura

Tabela 1. Características da sondagem “SP 07” realizada até 60,30 m.

No início projetado com estacas hélice contínua monitorada, com diâmetros variando entre $\varnothing 40$ cm a $\varnothing 100$ cm e profundidades de 8,5 m a 22,5 m, para sustentar cargas de 65 tf a 400 tf (figura 1), a estaca escavada com fluido estabilizante (figura 2) foi selecionada como a solução principal, por ainda não existirem máquinas de hélice contínua que perfuram com o diâmetro e a profundidade máxima exigida neste projeto devido a passagem do túnel do metrô e por demais fatores. Com diâmetros variando de $\varnothing 100$ cm a $\varnothing 200$ cm e profundidades de 18,5 a 57,5 m, a fundação em estaca escavada, foi escolhida para sustentar cargas de 200 tf a 2200 tf, distribuídas por um bloco de fundação que utilizou 7800 m³ de concreto.

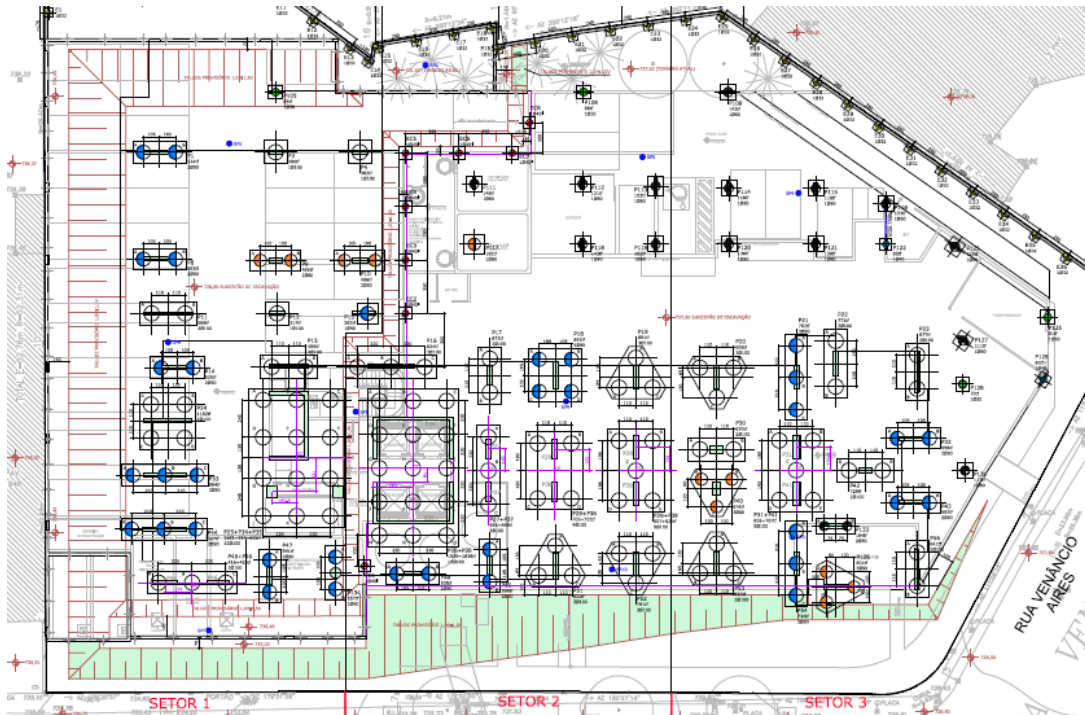


Figura 1. Projeto de estaca hélice contínua monitorada

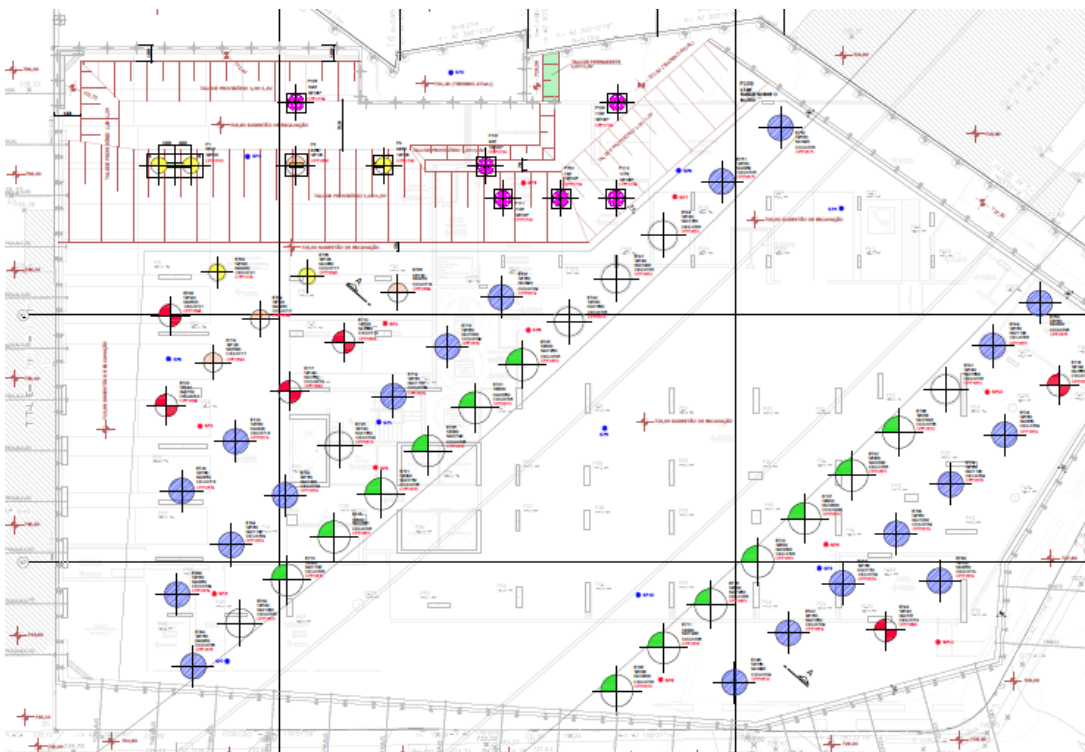


Figura 2. Projeto de estacas escavadas com fluido estabilizante

Este artigo explora o processo executado de estacas escavadas com fluido estabilizante em obra específica, destacando uma concretagem submersa da estaca E-736 (figura 3).

Com \varnothing 200 cm e 57,50 m de profundidade, os desafios enfrentados a medida que as betoneiras chegam, o concreto é lançado no furo escavado, a lama bentonítica retorna aos silos, o tempo limitado de vencimento de concreto, o corte do tubo tremonha, etc. Com o início da obra, a solução em estaca escavada, foi marcada por diversos desafios executivos e cada passo e decisão tomada desempenhou um papel vital.

Nº: E-736		\varnothing	2,00	PD () EE (X) EB ()											
COMPRIMENTO DO TUBO (2)	Seg.	SONDA REAL (m)	SONDA TEÓRICA (m)	SUBIDA DO CONCRETO (m)		CONCRETO LANÇADO (m³)	CAMINHÃO Nº		SLUMP	CRONOMETRAGEM					
				REAL	TEÓRICO		DO TUBO 1	DO TUBO 2		INICIO	FIM	TEMPO	ACUMULO	ESPERA	
1,00		57,50	55,20	55,02	2,30	2,48	8,00	1927	1º BT		14:24	14:28	0:04	0:04	0,00
2,00		56,00	52,90	52,54	2,30	2,48	8,00	1899	2º BT		14:30	14:35	0:05	0:09	0:02
3,00		51,00	50,60	50,06	2,30	2,48	8,00	1902	3º BT		14:37	14:40	0:03	0:12	0:02
2,00	5,30	49,00	48,30	47,58	2,30	2,48	8,00	1730	4º BT		14:41	14:45	0:04	0:16	0:01
3,00		46,00	46,00	45,10	2,30	2,48	8,00	1904	5º BT		14:46	14:50	0:04	0:20	0:01
2,00		44,00	43,70	42,62	2,30	2,48	8,00	1771	6º BT		14:51	14:55	0:04	0:24	0:01
2,00	5,40	42,00	41,40	40,14	2,30	2,48	8,00	1901	7º BT		14:56	14:59	0:03	0:27	0:01
2,00		40,00	39,00	37,66	2,40	2,48	8,00	2227	8º BT		15:00	15:05	0:05	0:32	0:01
3,00		37,00	36,60	35,13	2,40	2,53	8,00	2036	9º BT		15:13	15:24	0:11	0:43	0:08
3,00	4,40	34,00	34,20	32,70	2,40	2,43	8,00	1666	10º BT		15:25	15:28	0:03	0:46	0:01
3,00		31,00	31,90	30,22	2,30	2,48	8,00	444	11º BT		15:30	15:33	0:03	0:49	0:02
3,00		28,00	29,60	27,74	2,30	2,48	8,00	1905	12º BT		15:34	15:39	0:05	0:54	0:01
3,00	4,60	25,00	27,30	25,26	2,30	2,48	8,00	536	13º BT		15:40	15:45	0:05	0:59	0:01
3,00		22,00	25,00	22,78	2,30	2,48	8,00	537	14º BT		15:48	15:54	0:06	1:05	0:03
2,00		20,00	22,70	20,30	2,30	2,48	8,00	2031	15º BT		15:55	16:10	0:15	1:20	0:01
2,00		18,00	20,40	17,82	2,30	2,48	8,00	2034	16º BT		16:19	16:23	0:04	1:24	0:09
3,00	3,80	15,00	18,10	15,34	2,30	2,48	8,00	1771	17º BT		16:25	16:30	0:05	1:29	0:02
3,00		12,00	15,80	12,86	2,30	2,48	8,00	1700	18º BT		16:43	16:50	0:07	1:36	0:13
3,00		9,00	13,50	10,38	2,30	2,48	8,00	1699	19º BT		17:00	17:05	0:05	1:41	0:10
3,00		6,00	11,20	7,90	2,30	2,48	8,00	1739	20º BT		17:06	17:10	0:04	1:45	0:01
3,00		3,00	8,00	5,42	3,20	2,48	8,00	9036	21º BT		17:11	17:15	0:04	1:49	0:01
3,00		0,00	7,40	2,94	0,60	2,48	8,00	1905	22º BT		17:16	17:19	0:03	1:52	0:01
			5,90	0,46	1,50	2,48	8,00	1565	23º BT		17:22	17:30	0:08	2:00	0:03
			3,90	-2,02	2,00	2,48	8,00	1911	24º BT		18:30	18:40	0:10	2:10	1:00
			2,87	-4,50	1,03	2,48	8,00	1719	25º BT		18:43	19:50	1:07	3:17	0:03
Obs: Cotas fornecidas, aferidas e acompanhadas pelo cliente.															
Área em planta/m²:		3,14			Subida do concreto /		0,32		Ensaio de Lama		Antes	Depois		Aferição da Balança com Água	
Inicial		m²		Volume	Teórico	171,53	Perda %	16,6%	Viscosidade		39	Seg	(x) ()		
Sequente		m²			Real	200,00			g/cm³						
Fechamento		m²			Pedido	200,00				Teor de Areia	1,5	%			
e(m):	2,00	c(m):			Sobra	0,00				pH	8				
Cota do terreno:		727,50	m	Espessura do Painel:		2,00	m	NÃO CONCRETADO	2,87		ALÇA.	4,76			
Cota de ponta:		670,00	m	Altura Escavada:		57,50	m	C.T.M	727,39						
Cota de arrasam:		722,63	m	Altura Concretada:		54,63	m								
Observações		COTA DO C. ACABADO:				724,63									

Figura 3. Boletim de concretagem

2 Concretagem

2.1 Concretagem Submersa

Este tipo de concretagem é aplicada tanto em obras totalmente em solo, para fundações profundas, quanto em projetos embarcados (*off-Shore*), como no caso da obra em questão que sua cota do nível d'água varia da 726,50 a 728,50.

O método é realizado através de um tubo chamado tremonha. Esse tubo conduz o concreto autoadensável até a parte inferior da estaca, por gravidade, sendo gradualmente preenchida de baixo para cima até atingir a cota de apoio dos equipamentos ou uma cota superior à de arrasamento (com altura mínima de corte), sendo assim, é realizado um corte com determinada metragem, onde o tubo tremonha ainda fique submerso no concreto com um mínimo de 1,5 m, conforme (figura 4).

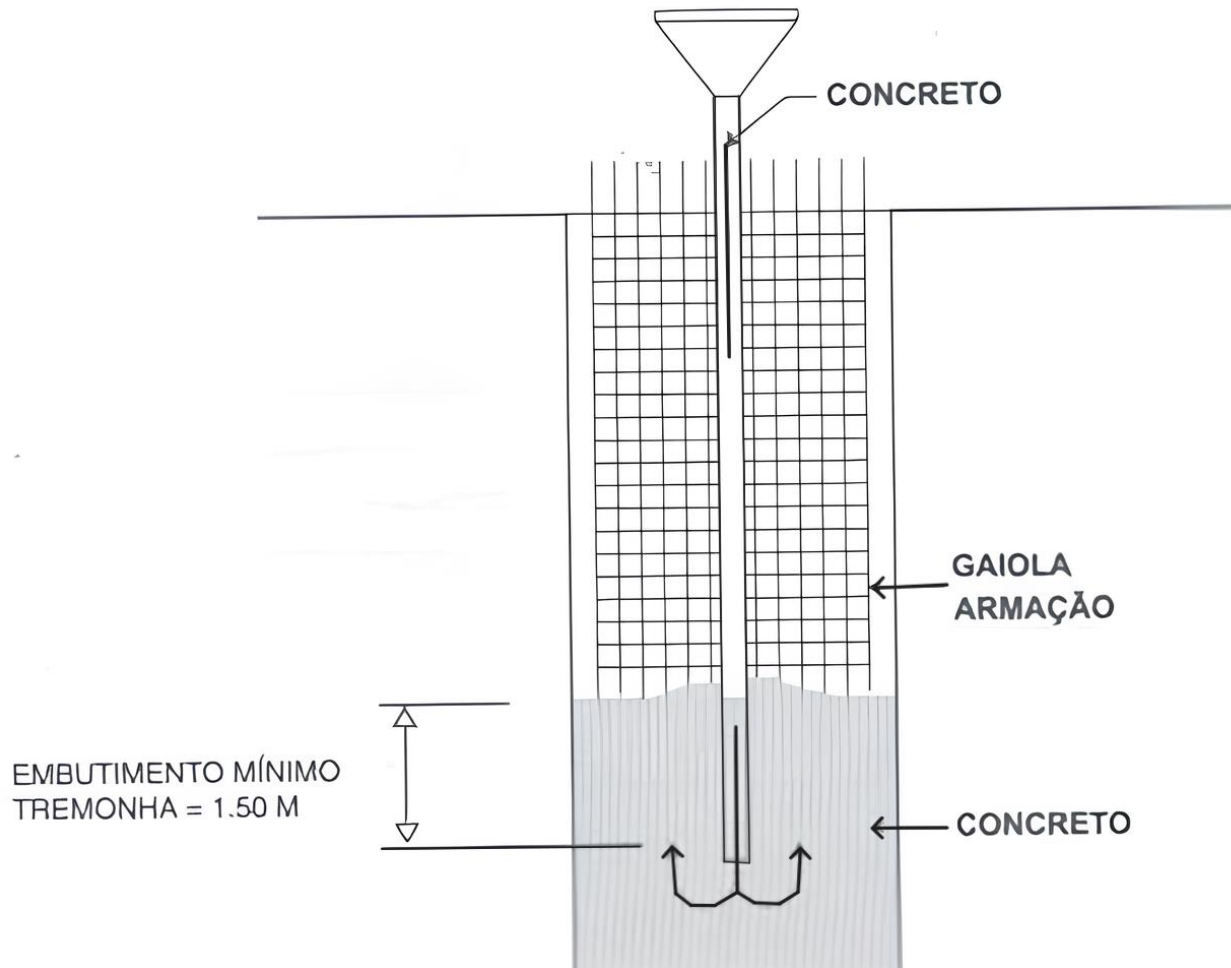


Figura 4. Ilustração de concretagem submersa.

Para evitar que o solo desbarranque, deve-se utilizar a lama betonítica ou polímero, a qual preenche o espaço, mas ainda assim permite a entrada do concreto devido à diferença de densidade. O concreto lançado no início do processo, que entra em contato com a lama betonítica, deve ser descartado por meio do transbordamento até que se observe que o concreto que está transbordando não tem presença de lama ou solo.

2.2 Processo de Chegada das Betoneiras

A execução de uma das maiores estacas dessa obra exigiu um volume considerável de concreto (200 m³), lançados através de 25 caminhões betoneiras com 8 m³ cada conforme (tabela 2). É crucial ressaltar o planejamento assegurando a pontualidade, coordenados pela equipe em obra e as diferentes usinas, garantindo um suprimento contínuo de concreto.

CONCRETO LANÇADO (m³)	CAMINHÃO Nº		CRONOMETRAGEM				
	DO TUBO 1	DO TUBO 2	INICIO	FIM	TEMPO	ACUMUL	ESPERA
8,00	1927	1º BT	14:24	14:28	0:04	0:04	0,00
8,00	1899	2º BT	14:30	14:35	0:05	0:09	0:02
8,00	1902	3º BT	14:37	14:40	0:03	0:12	0:02
8,00	1730	4º BT	14:41	14:45	0:04	0:16	0:01
8,00	1904	5º BT	14:46	14:50	0:04	0:20	0:01
8,00	1771	6º BT	14:51	14:55	0:04	0:24	0:01
8,00	1901	7º BT	14:56	14:59	0:03	0:27	0:01
8,00	2227	8º BT	15:00	15:05	0:05	0:32	0:01
8,00	2036	9º BT	15:13	15:24	0:11	0:43	0:08
8,00	1666	10º BT	15:25	15:28	0:03	0:46	0:01
8,00	444	11º BT	15:30	15:33	0:03	0:49	0:02
8,00	1905	12º BT	15:34	15:39	0:05	0:54	0:01
8,00	536	13º BT	15:40	15:45	0:05	0:59	0:01
8,00	537	14º BT	15:48	15:54	0:06	1:05	0:03
8,00	2031	15º BT	15:55	16:10	0:15	1:20	0:01
8,00	2034	16º BT	16:19	16:23	0:04	1:24	0:09
8,00	1771	17º BT	16:25	16:30	0:05	1:29	0:02
8,00	1700	18º BT	16:43	16:50	0:07	1:36	0:13
8,00	1699	19º BT	17:00	17:05	0:05	1:41	0:10
8,00	1739	20º BT	17:06	17:10	0:04	1:45	0:01
8,00	9036	21º BT	17:11	17:15	0:04	1:49	0:01
8,00	1905	22º BT	17:16	17:19	0:03	1:52	0:01
8,00	1565	23º BT	17:22	17:30	0:08	2:00	0:03
8,00	1911	24º BT	18:30	18:40	0:10	2:10	1:00
8,00	1719	25º BT	18:43	19:50	1:07	3:17	0:03

Tabela 2. Parte da quantidade de betoneiras e tempo do boletim de concretagem

Conforme a tabela 2, na coluna “TEMPO”, tem em média 7 minutos para descarregar os 8 m³ de concreto no funil do tubo tremonha, e na coluna “ESPERA”, um intervalo médio de 5 minutos de espera entre os caminhões betoneiras. Observamos como esse tempo é estrategicamente distribuído para evitar congestionamentos ao entorno da obra, garantindo a segurança operacional, mantendo um ambiente de trabalho contínuo e como esse período impacta diretamente o andamento da obra, considerando a necessidade de manter um ritmo constante.

Como curiosidade da obra, a estratégia de lançar o concreto de dois caminhões betoneiras simultaneamente, um descarregando no funil do tubo tremonha e outro através da bomba de concretagem, demonstrou eficiência na operação conforme (figura 5). A diferença de tempo na concretagem entre a maior e a menor estaca pode ser influenciada por vários fatores, incluindo volume de concreto, acesso ao local, disponibilidade de equipamentos e complexidade da instalação da estaca.



Figura 5. Imagem da obra no período noturno durante uma concretagem.

2.3 Subida do concreto e retorno da lama bentonítica aos silos

A medida que o concreto autoadensável vem subindo do fundo da estaca até o topo, tem um determinado momento que o peso do concreto fora do tubo tremonha, interno à perfuração, supera o peso do concreto que está dentro do tubo conforme (figura 6), não permitindo a continuidade da concretagem.

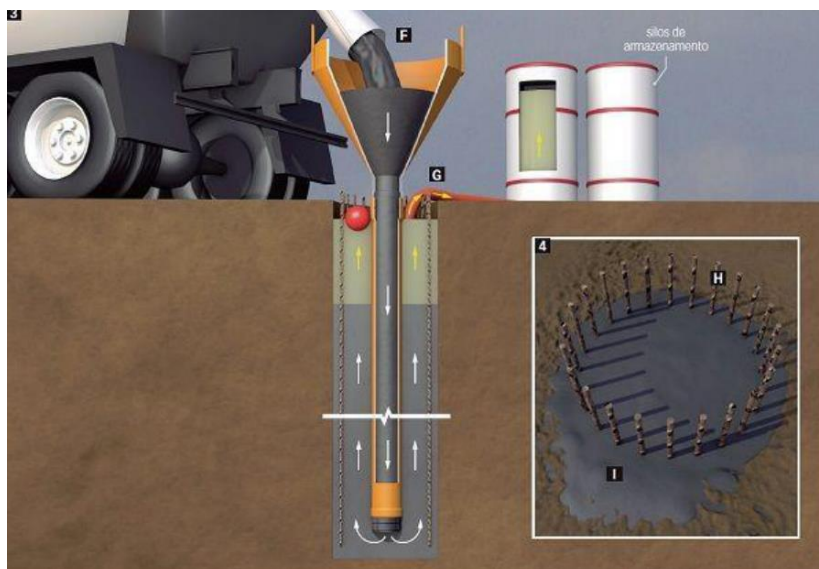


Figura 6. Ilustração do concreto equilibrado na estaca e no interior do tubo tremonha

Sendo assim, como mencionado anteriormente, se realiza cortes ao longo do tubo tremonha em alturas diferentes, que varia dependendo das características do concreto e altura de lançamento, mantendo o tubo tremonha submerso no concreto com um mínimo de 1,5 m, evitando a mistura entre a lama bentonítica e o concreto que indevidamente misturados causarão “bixeiras” no trecho em questão, contaminando o concreto e condenando a estaca.

Conforme exemplo da figura 7, cada seta representa um corte no tubo tremonha, ou seja, foi realizado 5 cortes, sendo a ponta do lado esquerdo a metragem acumulada que foi cortada conforme ilustração da figura 8, na ponta direita a metragem que o concreto subiu a partir do início da concretagem que é medida com uma sonda ao término do descarregamento de cada betoneira e o valor acima da linha das setas é a metragem que o tubo ficou submerso no concreto.

COMPRIMENTO DO TUBO (2)	Seg.	SONDA REAL (m)	SONDA TEÓRICA (m)
57,00		57,50	
1,00		55,20	55,02
2,00		52,90	52,54
3,00		50,60	50,06
2,00	5,30	48,30	47,58
3,00		46,00	45,10
2,00		43,70	42,62
2,00	5,40	41,40	40,14
2,00		39,00	37,66
3,00		36,60	35,13
3,00	4,40	34,20	32,70
3,00		31,90	30,22
3,00		29,60	27,74
3,00	4,60	27,30	25,26
3,00		25,00	22,78
2,00		22,70	20,30
2,00		20,40	17,82
3,00	3,80	18,10	15,34
3,00		15,80	12,86
3,00		13,50	10,38
3,00		11,20	7,90
3,00		8,00	5,42
3,00		7,40	2,94
		5,90	0,46
		3,90	-2,02
		2,87	-4,50

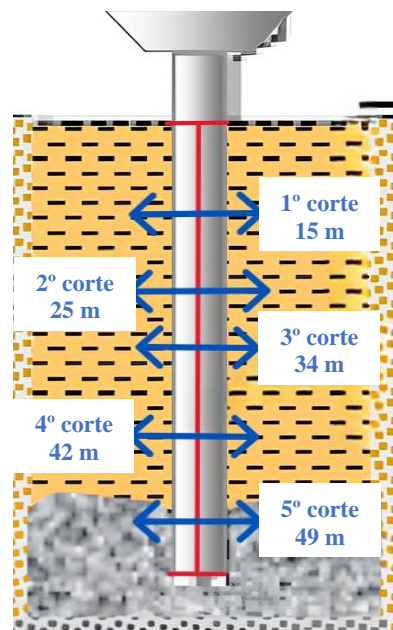


Figura 7. Demonstração do boletim de concretagem, corte do tubo e metragem de segurança.

Figura 8. Ilustração e metragem acumulada do corte no tubo tremonha.

Em paralelo a tudo isso, também temos que re-armazenar a lama bentonítica, com auxílio de bombas e mangotes, nos silos que tem capacidade para 25 m³. O fluido armazenado é reutilizado em outra perfuração de estaca, após a realização dos ensaios de viscosidade, peso específico, teor de areia e índice de pH seguindo a norma ABNT NBR 6122/2022, até que, de acordo com os resultados, seja necessário o descarte.

3 Conclusão

Devido a condições de equipamentos, nível d'água, logística de obra e demais fatores, optou-se pela estaca escavada com fluido estabilizante, com diferentes tamanhos e profundidades que suporta cargas de até 2200 tf (5,5 vezes a mais do que previsto em hélice contínua), distribuídas por um bloco de fundação que utilizou 7800 m³ em sua concretagem, também está funcionando para sustentar o prédio até hoje, mas também mostrou que conseguimos lidar com os imprevistos como a mudança de projeto, o grande volume de caminhões e concreto para uma concretagem.

O foco na explicação detalhada da concretagem submersa da estaca E-736, dá uma visão completa dos desafios, desde a chegada das betoneiras até o concreto atingir o nível do terreno ou a cota de arrasamento das estacas, proporcionando uma visão completa do processo.

Ao analisar a execução da estaca E-736, de maior diâmetro, profundidade e volume, com 200 m³ de concreto e a coordenação logística de 25 caminhões betoneiras, enfatizamos a importância do planejamento preciso para garantir prazo e segurança. A estratégia de usar dois caminhões betoneiras ao mesmo tempo em outras estacas mostra eficiência operacional, destacando a complexidade da concretagem em diferentes situações.

Relatar sobre a subida do concreto e o armazenamento da lama bentonítica, destacando a importância de cortes no tubo tremonha e respeitando que ele fique no mínimo 1,5 m submerso no concreto para evitar contaminação do concreto, mostra a visão detalhada do processo executivo. A gestão do fluido estabilizante, com rearmazenamento e reutilização até que seja necessário o descarte, destaca o compromisso com práticas sustentáveis na construção civil.

Em resumo, a execução da última estaca finalizou no dia 24/11/2022, hoje o edifício ainda está em desenvolvimento e o túnel do metrô ainda não chegou nessa região do empreendimento. A prova de carga realizada teve resultado satisfatório mesmo com a utilização do concreto autoadensável e o prédio segue sendo monitorado até finalizarem a passagem do túnel do metrô sob a área dessa obra.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a toda a equipe da Geofix e nossos familiares pelo apoio, ensinamentos e experiências que sempre agregam em nossas vidas pessoais e profissionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2022). NBR 6122. *Projeto e Execução de Fundações*. São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15823-3: *Concreto Autoadensável Parte 3: Determinação da habilidade passante – Método do anel J*. Rio de Janeiro, 2017

TAGLIANI, S. BDE *Explica: quais as diferenças do concreto submerso? Engenharia 360*. Disponível em: <<https://engenharia360.com/bde-explica-concretosubmerso/>>. Acesso em 9 Dez. 2020

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT NBR 6484:2020 – *Solo – Sondagens de simples reconhecimentos com SPT – Método de ensaio*

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. *Fundações por estacas: Projeto geotécnico*. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.