



SIKA AT WORK

METRÔ LINHA 6, SÃO PAULO, BRASIL

BUILDING TRUST



RESUMO

METRÔ LINHA 6

UM PROJETO COM DESAFIOS

VISÃO GERAL DO PROJETO

A Linha 6-Laranja do Metrô de São Paulo, desenvolvida pela Acciona, é atualmente um dos maiores projetos de infraestrutura da América Latina. A linha terá 15,3 km de extensão e 15 estações, conectando o bairro Brasilândia, na zona norte, à estação São Joaquim, no centro da cidade. O principal benefício é a redução significativa no tempo de viagem, de aproximadamente 1 hora e 30 minutos de ônibus para aproximadamente 23 minutos de metrô.

O projeto inclui a escavação de dois túneis de metrô com duas TBMs. Além das obras civis, abrange sistemas ferroviários, sinalização, fornecimento de energia e modernização urbana. Iniciativas de inclusão social e sustentabilidade, como capacitação da força de trabalho e mitigação de impactos ambientais, também foram integradas. A conclusão está prevista para 2026, com um fluxo diário estimado de passageiros de aproximadamente 630.000. A Sika foi uma parceira fundamental no sucesso deste projeto, fornecendo suporte técnico e produtos e sistemas especialmente desenvolvidos para escavação de TBM, produção de concreto, impermeabilização, vedação, colagem e reparo de concreto, permitindo a execução eficiente, segura e com o mínimo de interrupções da Linha 6-Laranja para a população e a cidade de São Paulo, Brasil.



REQUISITOS DO PROJETO

A construção da Linha 6-Laranja do Metrô de São Paulo se destaca pelo uso de métodos construtivos avançados e tecnologias de ponta para enfrentar os desafios de uma obra dessa magnitude. Especificamente, ela aborda condições geológicas e urbanas altamente complexas ao longo de seu trajeto. Os principais métodos e técnicas empregados neste projeto são detalhados a seguir:

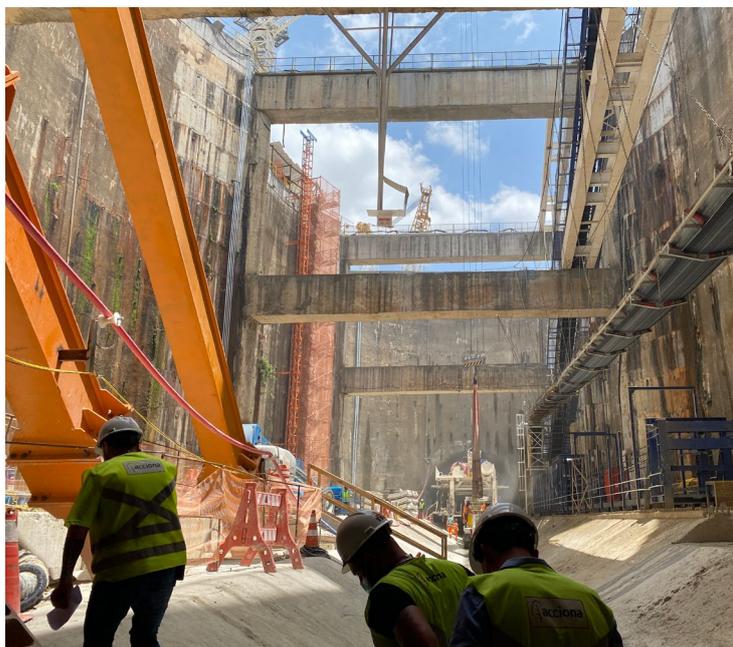
Escavação de Túneis com Tuneladoras (TBMs)

Para a escavação dos 15,3 km de túneis, foram utilizadas TBMs EPB (Earth Pressure Balance), popularmente conhecidas como "tatuções" de 10,6 metros de diâmetro. Essas máquinas permitiram a escavação subterrânea com mínima interferência na superfície, garantindo precisão e segurança. Até janeiro de 2025, mais de 13 km de túneis haviam sido concluídos, com as TBMs atingindo velocidades de escavação de até 41 metros de túnel em 24 horas. Esse alto desempenho foi possível graças às soluções de TBM da Sika, que incluem espumas para condicionamento de solos, polímeros, aditivos e graxas.

Método de escavação das Estações

As estações ao longo da linha foram construídas usando diferentes técnicas de escavação, escolhidas com base em fatores como espaço disponível, prazo, custo e características geológicas:

- **Sistema Open Cut (VCA):** Método em que a escavação é realizada a partir da superfície, criando um grande vão aberto. Após a conclusão das estruturas internas, o espaço é recoberto e a superfície restaurada. Estações como Brasilândia, Vila Cardoso, Santa Marina, Sesc-Pompeia e Perdizes utilizaram esse método.



- **VCA Invertido:** Semelhante ao VCA tradicional, porém a construção das lajes e estruturas é realizada de cima para baixo. Isso permite a utilização de rampas de acesso para equipamentos pesados, agilizando a escavação dos níveis inferiores. Este método foi utilizado, por exemplo, na Estação Santa Marina.
- **NATM (New Austrian Tunneling Method):** Método que envolve a escavação sequencial do túnel, permitindo um controle preciso em terrenos geologicamente complexos. Esta técnica foi aplicada em estações como Itaberaba, João Paulo I, Freguesia do Ó, Água Branca, PUC-Cardoso de Almeida, Angélica-Pacaembu, Faap-Mackenzie, Bela Vista e São Joaquim.

Poços de Ventilação e Saídas de emergência

Além das estações, o projeto inclui a construção de poços de ventilação e saídas de emergência. Em algumas áreas, como ao norte do VSE Tietê, foram escavados poços adicionais interligados por túneis NATM. Essa adaptação foi necessária devido às características geológicas específicas da região, permitindo um emboque em terreno rochoso mais estável.

SOLUÇÕES PARA O TBM METRÔ LINHA 6

COMO NOSSAS SOLUÇÕES OTIMIZARAM A TUNELIZAÇÃO COM TBM

Desafios Gerais

Em geral, a profundidade das estações e a adaptação a complexos perfis geológicos sob cronogramas arrojados podem ser citados como os principais desafios do projeto Metrô Linha 6 de São Paulo. Algumas estações da Linha 6-Laranja são notáveis por sua profundidade. A Estação Higienópolis-Mackenzie, por exemplo, será a mais profunda da rede metroviária de São Paulo, atingindo 69 metros abaixo da superfície. Essa profundidade aumentou a complexidade da obra, exigindo técnicas avançadas de escavação, reforço estrutural e impermeabilização, para as quais foram adotadas soluções Sika de última geração.

Durante as escavações, foram encontrados trechos com solos arenosos e fluxos de água, considerados extremamente desafiadores para a escavação. Nesses casos, a equipe modificou os métodos construtivos, implementando técnicas de estabilização do terreno para garantir a segurança e a continuidade das obras. Operacionalmente, para auxiliar na montagem e operação das tuneladoras, foram mobilizados equipamentos de grande porte, como guindastes com capacidade de 1.000 toneladas. Esses guindastes foram essenciais para a instalação de componentes pesados das TBMs, incluindo a roda de corte, que é fundamental para o avanço das escavações.

SOLUÇÕES SIKA

Soluções para o TBM

- Sika® Sigunit®-3100 L BFG
Aditivo acelerador para backfilling grout
- SikaTard®-3100 BFG
Aditivo estabilizador para backfilling grout
- Sika® Stabilizer-1514 TBM
Agente espumante reforçado com polímeros especialmente desenvolvido para evitar clogging em solos coesivos-argilosos
- Sika® Stabilizer-1111 TBM
Agente espumante para solos não-coesivos - arenosos
- Sika® Stabilizer-2231 TBM
Graça de avanço para selo e vedação de escudo
- Sika® Stabilizer-3710 TBM
Polímero superabsorvente para situações críticas na presença de água e deficiência de finos
- Sika® Stabilizer-1516 TBM
Agente espumante lubrificante e antidesgaste para escavação em rocha

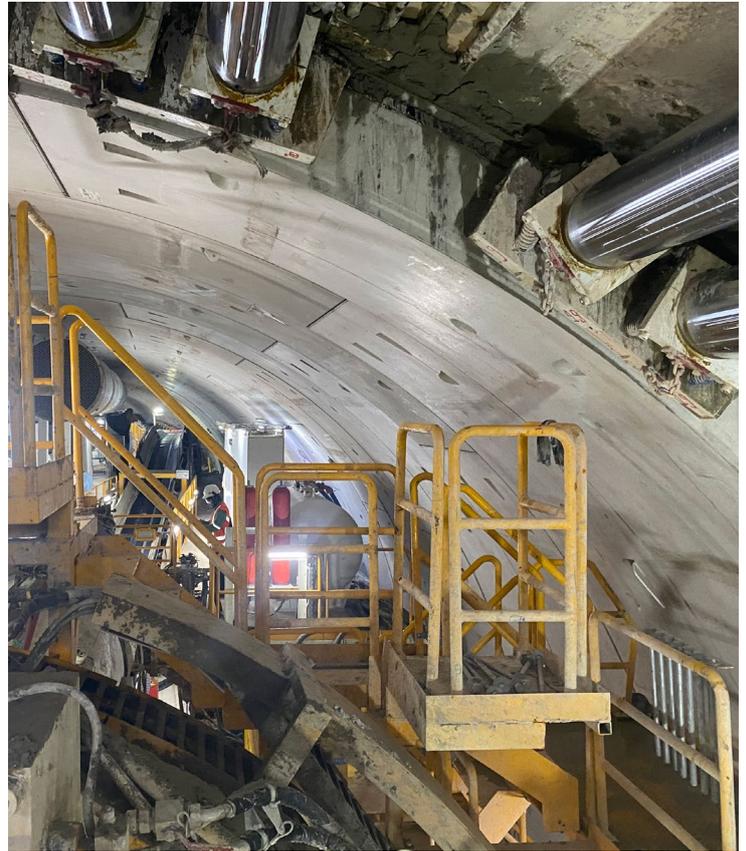
Sika® Sigunit®-3100 L BFG foi um elemento-chave no desempenho do backfilling grout bi-componente utilizado na escavação mecanizada pelas TBMs, garantindo o equilíbrio entre tempo de geleificação e resistência inicial, garantindo uma solução técnica de maior custo/benefício. Este aditivo acelerador foi desenvolvido especialmente para o maior equilíbrio entre os parâmetros de gel time e resistências iniciais, principalmente quando são utilizados cimentos resistentes a sulfatos ou com desbalanceamento de sulfatos. Portanto, foi garantido o tempo necessário para que a mistura mantivesse fluidez suficiente para total preenchimento do espaço anelar do túnel, sem segregação ou bloqueios prematuros, adquirindo resistências iniciais rapidamente, garantindo o suporte imediato às aduelas e reduzindo deslocamentos indesejados. Sua aplicação estratégica possibilitou maior estabilidade, produtividade e segurança na construção dos túneis, otimizando prazos e reduzindo custos operacionais, os quais seriam elevadíssimos com o uso de aceleradores convencionais do mercado, os quais demandariam dosagens excessivas.



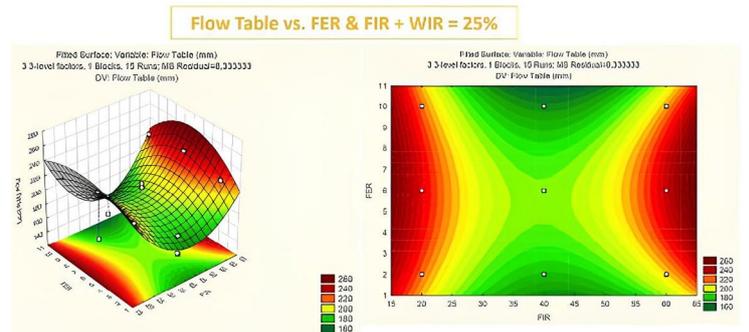
Avanço da TBM Norte

Sika® Stabilizer-1514 TBM foi essencial para enfrentar os desafios críticos em solos coesivos, argilosos e de alta plasticidade presentes no trecho Sul, mitigando os fenômenos de clogging que aumentam a obstrução da cabeça de corte e reduzem as taxas de avanço, devido ao tamponamento, pegajosidade e aderência das partículas de solo às ferramentas de escavação. Portanto, Sika Stabilizer-1514 foi essencial para eficiência da escavação, reduzindo os riscos operacionais e aumentando as taxas de avanço através da criação de uma película protetora e lubrificante sobre as partículas de solo, transformando solos pegajosos em materiais mais homogêneos com maior facilidade de remoção durante a escavação.

Acciona instalou um dispositivo inovador, o Tubo Ômega U, em todas as linhas de espuma para melhorar a qualidade da espuma, otimizar o consumo e melhorar a análise de dados do backlog do TBM. O Tubo Ômega U funciona como um gerador de espuma adicional posicionado a jusante dos geradores existentes no TBM, incorporando quatro curvas extras de 90 graus. Este dispositivo mitiga efetivamente o risco de laminação, evitando a separação das fases ar e solução líquida.



Sem precedentes, nos estudos laboratoriais de condicionamento dos solos com as espumas Sika, foi adotada de forma inédita uma metodologia estatística para a modelagem experimental do condicionamento por meio da Análise Box-Behnken. O objetivo foi avaliar não apenas os efeitos individuais das variáveis de condicionamento isoladamente, mas também suas interações em um sistema tão complexo, otimizando o delineamento experimental sem excesso de experimentos. Finalmente, com essa metodologia, a escolha dos parâmetros de condicionamento (FER, FIR e WIR) foram realizadas de forma otimizada para cada amostra característica dos solos presentes ao longo desse grandioso projeto.



Exemplo de Análise Box-Behnken

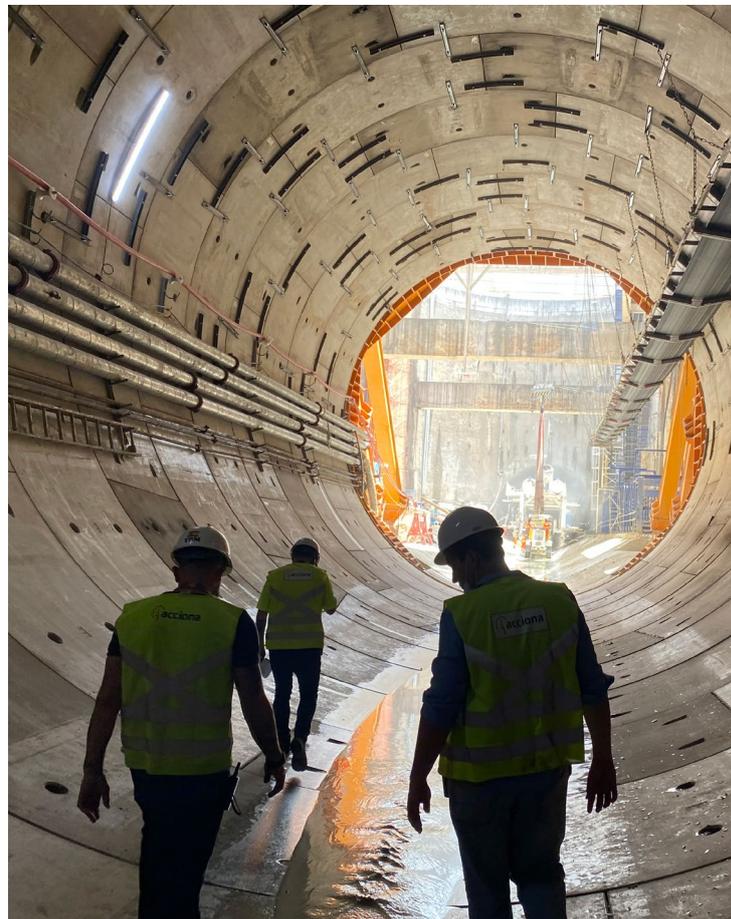
OTRAS SOLUCIONES METRÔ LÍNEA 6

CONCRETO / IMPERMEABILIZAÇÃO / SELAGEM E COLAGEM / GERAL

Soluções para Concreto

- Sika® ViscoCrete®-20 HE
RA-2: Redutor de água Tipo 2/Superplastificante para concretos de elevadas resistências iniciais
- Sika ViscoFlow®-12 Sure
RA-2: Redutor de água Tipo 2/Superplastificante para concretos com longa manutenção da trabalhabilidade
- Sika® Desmoldante
Desmoldante para fôrmas absorventes
- Sika® Separol® BIO
Desmoldante para fôrmas metálicas - aduelas pré-fabricadas
- Sika® Separol®-100 W
Desmoldante para fôrmas absorventes
- Sika® Antisol® Pav
Agente de cura
- Sika® Rugasol®-200
Retardador de pega superficial
- Sika® Sigunit® SA 190
APP: Acelerador de pega livre de álcalis para concreto projetado

O uso do Sika® Viscocrete®-20HE para fabricação das aduelas em concreto pré-fabricado foi estratégico e essencial para otimização do ciclo produtivo e cumprimento do cronograma apertado dessa obra grandiosa, compatibilizado com o avanço propiciado pelas escavações realizadas pelas tuneladoras. Esse aditivo possibilitou menor relação água/cimento (a/c), o que acelerou o desenvolvimento das resistências iniciais, permitindo a desforma mais rápida dos elementos, aumentando assim a capacidade produtiva da fábrica. O uso de Sika® Viscocrete®-20 HE também possibilitou a redução da necessidade de calor adicional por cura térmica, gerando economia de energia e maior sustentabilidade do processo.



Aduelas de concreto pré-fabricado no canteiro de obras



Impermeabilização de túneis e estações

■ Sikaplan WP 1100-30HL

Manta de PVC para impermeabilização de estruturas subterrâneas

Soluções gerais

(Selantes, Adesivos, Injeções e Argamassas de reparo)

■ Sikaflex® PRO-3

Selante PU com alta resistência química para aplicação em ambientes de elevada agressividade

■ Sika Repair®-222

Argamassa de reparo monocomponente de consistência tixotrópica

■ SikaGrout®-250

Graute cimentício fluido para reparos estruturais

■ SikaTop®-122 Plus

Argamassa de reparo aditivada com inibidor de corrosão

■ SikaBond® PVA

Adesivo polimérico de alto rendimento para chapiscos e argamassa

■ Sika MonoTop®-100 Seal

Revestimento impermeabilizante monocomponente semiflexível

■ Sika® Injection-101

Espuma PU de célula aberta para injeção e estancamento temporário

■ Sika® Injection-201

Resina PU de célula fechada para injeção e estancamento



PARTICIPANTES DO PROJETO

Principal: Sao Paulo State Government

Constructor: Acciona, S.A.

Fornecedor: Sika S/A

NÓS SOMOS SIKA

Sika é uma empresa química especializada com posição de liderança em desenvolvimento e produção de sistemas e produtos para colar, selar, impermeabilizar, reforçar e proteger o setor da construção, indústria, logístico, aeroportos, saneamento, infraestrutura e data centers. As linhas de produtos da Sika incluem aditivos para concreto, argamassa, selantes e adesivos, sistemas de reforço, reparo e proteção estrutural, sistemas de pisos de alto desempenho, sistemas de impermeabilização interna e de coberturas.



FACHADAS



SACADAS



FUNDAÇÃO



CONCRETO PRÉ-FABRICADO
E MOLDADO NO LOCAL



RECUPERAÇÃO DE CONCRETO



INSTALAÇÃO E COLAGEM DE
REVESTIMENTOS



PISOS



TERRAÇOS E VARANDAS



REPARO E PROTEÇÃO



COBERTURAS



SELANTES E ADESIVOS



LAJES DE CONCRETO

SIKA AMÉRICAS

ARGENTINA

Sika Argentina SAIC

Teléfono: +54 11 47343 00
Buenos Aires

COLOMBIA

Sika Colombia S.A.S

Teléfono: +57 1 8786333
Tocancipá

GUATEMALA

Sika Guatemala S.A.

Teléfono: +502 23133300
Ciudad de Guatemala

PARAGUAY

Sika Paraguay S.A.

Teléfono: +595 21 2896000
Asunción

BOLIVIA

Sika Bolivia S.A.

Teléfono: +591 3 3464504
Santa Cruz de la Sierra

COSTA RICA

**Sika productos para la
construcción S.A.**

Teléfono: +506 21031176
Heredia

HONDURAS

Sika Honduras S.A. de C.V.

Teléfono: +504 25121240
San Pedro Sula

PERÚ

Sika Perú S.A.

Teléfono: +51 16186060
Lima

BRASIL

Sika Brasil S.A.

Teléfono: +55 11 36874600
São Paulo

ECUADOR

Sika Ecuatoriana S.A.

Teléfono: +593 42812700
Guayaquil

MÉXICO

Sika Mexicana S.A. de C.V.

Tel. +55 2626- 5430
Ciudad de México

REPÚBLICA DOMINICANA

Sika Dominicana S.A.

Teléfono: +1 809 5307171
Santo Domingo

CHILE

Sika S.A. Chile

Teléfono: +56 2 25106500
Santiago de Chile

EL SALVADOR

Sika El Salvador S.A de C.V

Teléfono: +503 2559 7100
El Salvador

NICARAGUA

Sika Nicaragua S.A.

Teléfono: +505 58595199
Managua

URUGUAY

Sika Uruguay S.A.

Teléfono: +598 22202227
Montevideo

CANADÁ

Sika Canadá Inc.

Teléfono: 514 697 2829
Quebec

ESTADOS UNIDOS

Sika Corporation

Teléfono: +1-201-508-6604
Lyndhurst NJ

PANAMÁ

Sika Panamá S.A.

Teléfono: +507 2714727
Panamá

VENEZUELA

Sika Venezuela S.A.

Teléfono: +58 241 3001000
Valencia

As informações e, em particular, as recomendações relativas à aplicação e utilização final dos produtos Sika são fornecidas de boa fé e baseiam-se no conhecimento e experiência atuais da Sika no que diz respeito aos seus produtos, desde que estes sejam devidamente armazenados e aplicados em condições normais. Na prática, as diferenças nos materiais, substratos e condições reais da obra são tão particulares que nenhuma garantia quanto à comercialização ou adaptação a um determinado uso, ou qualquer obrigação decorrente de relações jurídicas, pode ser inferida da informação contida neste documento ou outra recomendação escrita ou verbal. Os direitos de propriedade de terceiros devem ser respeitados. Todos os pedidos de compra são aceitos de acordo com nossas atuais condições de venda e envio publicadas no site: <https://bra.sika.com>. O utilizador deverá sempre consultar a edição mais recente das Fichas Técnicas, cujas cópias serão fornecidas mediante solicitação do cliente.