



# SIKA AT WORK

## METRÔ DO RIO DE JANEIRO

### Linha 4

A primeira fase do projeto do metrô na cidade do Rio de Janeiro foi inaugurada em março de 1979, com apenas 4,3 quilômetros de extensão e cinco estações (Praça Onze, Central, Presidente Vargas, Cinelândia e Glória) conectando pontos próximos na cidade. A operação da primeira linha foi iniciada com apenas quatro trens de quatro carros cada, circulando somente nos dias úteis da semana, das 9h às 15h, em intervalos de oito minutos em média. Apesar disso, o projeto foi considerado um sucesso, já que mais de meio milhão de pessoas foram transportadas nos primeiros dez dias de operação – uma média diária de 60 mil passageiros. Isso mostrou não apenas que deveria ser considerado o aumento do horário de operação, mas também que era muito importante continuar com a ampliação desse sistema de transporte.

Passados mais de 30 anos, o metrô do Rio agora conta com duas linhas em funcionamento (Linhas 1 e 2), uma em construção (Linha 4) e outras duas em licitação (Linhas 3 e 5). São 36 estações divididas entre as Linhas 1 e 2. Outras 28 estações estão planejadas para completar as Linhas 3, 4 e 5. O sistema emprega 49 trens (totalizando 296 vagões) e tem integração física com ônibus expressos e trens da SuperVia, além da integração com ônibus urbanos e intermunicipais e com as barcas.

Para depois de 2016, quando se espera que estejam em funcionamento pelo menos quatro linhas, estão planejadas expansões para ligar o centro do Rio de Janeiro ao centro de Niterói, além de obras especiais para conectar pontos turísticos e bairros importantes da capital fluminense a esse sistema de transporte público.





A Linha 4 do metrô foi desenhada para conectar a zona sul à zona oeste da cidade do Rio de Janeiro. O trecho contará com seis estações e terá 16 quilômetros de extensão, ligando Ipanema à Barra da Tijuca e beneficiando mais de 300 mil pessoas por dia, além de retirar das ruas cerca de 2 mil veículos por hora de pico.

As estações que estão sendo construídas são: Nossa Senhora da Paz, Jardim de Alah, Antero de Quental, Gávea, São Conrado e Jardim Oceânico. A construção foi dividida em duas grandes frentes de trabalho, coordenadas por dois consórcios diferentes. O primeiro deles é o **Rio Barra**, formado pelas empreiteiras Queiroz Galvão (líder), Odebrecht, Servix, Carioca Engenharia e Cowan. Esse consórcio executa as obras das três últimas estações no sentido Barra da Tijuca (acesso à estação Gávea, estação São Conrado e estação Jardim Oceânico). O segundo consórcio, **Linha 4 Sul**, formado pelas empreiteiras Odebrecht (líder), Queiroz Galvão e Carioca Engenharia, executa a construção das estações restantes (Nossa Senhora da Paz, Jardim de Alah, Antero de Quental e parte da estação Gávea). As obras foram iniciadas em 2010 e a finalização está prevista para dezembro de 2015. Espera-se que a operação comercial possa ter início em junho de 2016, para ajudar na logística dos Jogos Olímpicos do Rio de Janeiro.

### TRECHO DO CONSÓRCIO RIO BARRA

O trecho em construção pelo consórcio Rio Barra ligará a estação Gávea à estação Jardim Oceânico e terá aproximadamente dez quilômetros. Este trecho, que passará por centros urbanos densamente povoados como a Favela da Rocinha, é o que mais trará benefícios aos cariocas.

O método de perfuração escolhido foi o *New Australian Tunneling Method* (NATM). Diferentemente do que ocorreria com o uso de uma *tunnel-boring machine* (método TBM), as escavações nesse trecho são feitas por meio de detonações controladas. Um revestimento inicial de concreto projetado é necessário para dar estabilidade ao solo. Depois, é feita a concretagem do revestimento final, dando ao túnel suporte estrutural e alta resistência mecânica para responder a todas as solicitações sobre a estrutura geotécnica.





A estação São Conrado, localizada no bairro de mesmo nome, beneficiará diariamente mais de 61 mil passageiros. Haverá três acessos próximos à Rocinha, uma das maiores favelas do Rio de Janeiro. As escavações dos bitúneis ligando essa estação à Barra da Tijuca foram concluídas em janeiro de 2014. No total, já foram escavados mais de 7.500 metros em rocha. Atualmente, estão em andamento as escavações dos bitúneis no sentido Gávea e a construção dos túneis de ventilação e serviço, assim como as obras da própria estação.

No caso da estação Jardim Oceânico, na Barra da Tijuca, os trabalhos estão concentrados na escavação das galerias, nos dois acessos e na área de manobra (o “rabicho”), além da futura expansão da linha até o Recreio dos Bandeirantes. Assim como no trecho do consórcio Linha 4 Sul, foi instalado um canteiro principal em local estratégico – neste caso, na rua Armando Lombardi, uma das principais ligações entre a zona sul e a zona oeste do Rio. Além das escavações feitas em rocha para a passagem dos túneis, o trecho do consórcio Rio Barra terá uma ponte estaiada entre as estações Jardim Oceânico e São Conrado. Com 417 metros de comprimento e 13,9 metros de largura, a ponte suspensa por cabos de aço terá duas vias (sentido Barra e sentido Sul) e passará por cima da Lagoa da Tijuca, na zona oeste do Rio. Será o único trecho ao ar livre da Linha 4.

Na construção das estações, foram usados três métodos diferentes. Na estação Jardim Oceânico, foi usado o método *cut and cover* (escavação de superfícies para a construção das paredes e da laje de concreto). A estação Gávea está sendo construída por meio de poços com tela metálica, concreto projetado e *jet grouting*. Nessa estação, adicionalmente, está sendo executada uma plataforma paralela para futuras expansões da Linha 1. Por fim, a estação São Conrado foi escavada com o uso de detonações controladas em rocha.

O consórcio dispõe de uma central de concreto, uma central de armação e um laboratório de qualidade e manutenção. Atualmente, o trecho utiliza cerca de dez frentes de trabalho. Já foram instalados mais de 230 mil metros cúbicos de concreto e 18 mil toneladas de aço. A fase de escavação está prestes a ser finalizada e a entrega da obra está prevista para finais de 2015.



### TRECHO DO CONSÓRCIO LINHA 4 SUL

O trecho sob responsabilidade do consórcio Linha 4 Sul está localizado em uma das regiões mais populares do Rio, que inclui pontos de grande interesse como Ipanema e Leblon. Uma vez que o metrô está sendo construído no coração dos bairros mais tradicionais da cidade, a localização das estações foi planejada para ficar nas praças centrais. No caso da estação Gávea, optou-se pela implantação em frente à Pontifícia Universidade Católica (PUC), instituição que recebe diariamente mais de 25 mil pessoas.

Em Ipanema, o equipamento conhecido como “Tatuzão” entrou em funcionamento em dezembro de 2013 para perfurar o túnel em direção à estação Gávea, escavando de 15 a 18 metros por dia. Configura-se, assim, o uso nesse trecho do método TBM, solução ideal para causar o menor impacto possível no entorno e construir os túneis com rapidez até 20 vezes maior em comparação com o método tradicional (NATM). O método de escavação TBM tem como particularidade a instalação simultânea do revestimento estrutural definitivo, feito de anéis pré-moldados de concreto. Esses anéis, conhecidos como aduelas, são fabricados em um canteiro localizado próximo à estação Leopoldina, nos arredores do projeto, para melhorar a logística da obra.

Canteiros adicionais de apoio foram montados em locais estratégicos para o bom andamento dos trabalhos. As instalações incluem laboratórios de qualidade e locais de armazenamento de matérias-primas. Adicionalmente às quatro estações, o consórcio Linha 4 Sul está construindo também um poço de ventilação de grandes dimensões.

No total, o trecho mobiliza cinco frentes de trabalho, além da máquina tuneladora que continua em operação.

Consórcio  
**Linha 4**  
**Sul**





## REQUERIMENTOS DO PROJETO

Várias das ações executadas nas obras da Linha 4 do metrô têm como foco o desenvolvimento sustentável. Procura-se, por meio delas, implementar novas tecnologias de construção e causar menos impacto no meio ambiente.

Nesse empreendimento, o grande desafio é realizar uma construção subterrânea de grande porte em um centro urbano densamente povoado. Para alcançar com sucesso esse objetivo, foram escolhidos para as vias e estações métodos construtivos que causam o menor impacto possível no entorno e garantem o menor tempo em obras.

O requisito geral era garantir a alta qualidade do concreto projetado, (utilizado no revestimento secundário e nas estações) e também das peças pré-fabricadas (aduelas) do trecho que está sendo construído com a tecnologia TBM, implementando tecnologias para otimizar o uso e promover o bom desempenho da tuneladora.

Adicionalmente, foram requeridos para o trecho do consórcio Rio Barra sistemas de impermeabilização de última tecnologia, em função dos métodos de escavação escolhidos. Foram necessários sistemas de injeção e impermeabilização de juntas que garantissem máxima estanqueidade à estrutura.



## SOLUÇÕES SIKA

Devido à magnitude da obra, aos requisitos de qualidade e às tecnologias inovadoras que foram implementadas pelos consórcios construtores, a Sika forneceu soluções para todas as etapas do projeto, desde o início das escavações até a execução dos acabamentos. O espírito inovador e o grande *know-how* técnico em construção de estruturas subterrâneas da Sika garantiram que essas soluções fossem de elevada qualidade, otimizando processos e reduzindo custos na obra.

Na fase de escavação dos túneis pelos métodos NATM (uso de detonações controladas) e TBM (uso de máquina tuneladora), a Sika ofereceu diversas tecnologias para garantir o bom andamento do projeto. Por exemplo: no caso de túneis escavados pelo método NATM, é necessária a aplicação de um concreto projetado que dê suporte à estrutura à medida que a escavação avança. Esse concreto projetado é conhecido como concreto primário, e entre suas características técnicas, está o endurecimento rápido do material para garantir a funcionalidade do suporte. Com esse objetivo em vista, a Sika forneceu vários produtos da linha **Sigunit**® para atuar como aditivos aceleradores de pega, aumentando as resistências iniciais do concreto primário e ao mesmo tempo diminuindo sua permeabilidade.

O “Tatuzão” utilizado no método TBM é uma escavadeira de pressão balanceada de terra, máquina conhecida tecnicamente como Shield EPB. Durante a escavação, a cabeça (parte da frente) do equipamento sofre uma grande pressão exercida pela água e pelo solo. Essa pressão é contrabalaneada pelo próprio material escavado, que é armazenado em uma câmara pressurizada atrás da cabeça de perfuração. O equipamento possui uma rosca que retira de forma controlada apenas a quantidade de material necessária para manter o equilíbrio da pressão entre a cabeça de perfuração e a frente de escavação. Para facilitar o processo de perfuração do solo, é necessário injetar espumas especiais na cabeça do equipamento. Para esse caso, a Sika indicou o uso das linhas completas **SikaFoam**®, **SikaDrill**® e **Sika**® **DEF TBM**, que diminuiriam o atrito entre a cabeça de perfuração e o solo, facilitaram a escavação, homogeneizaram o material retirado e impermeabilizaram as paredes perfuradas.

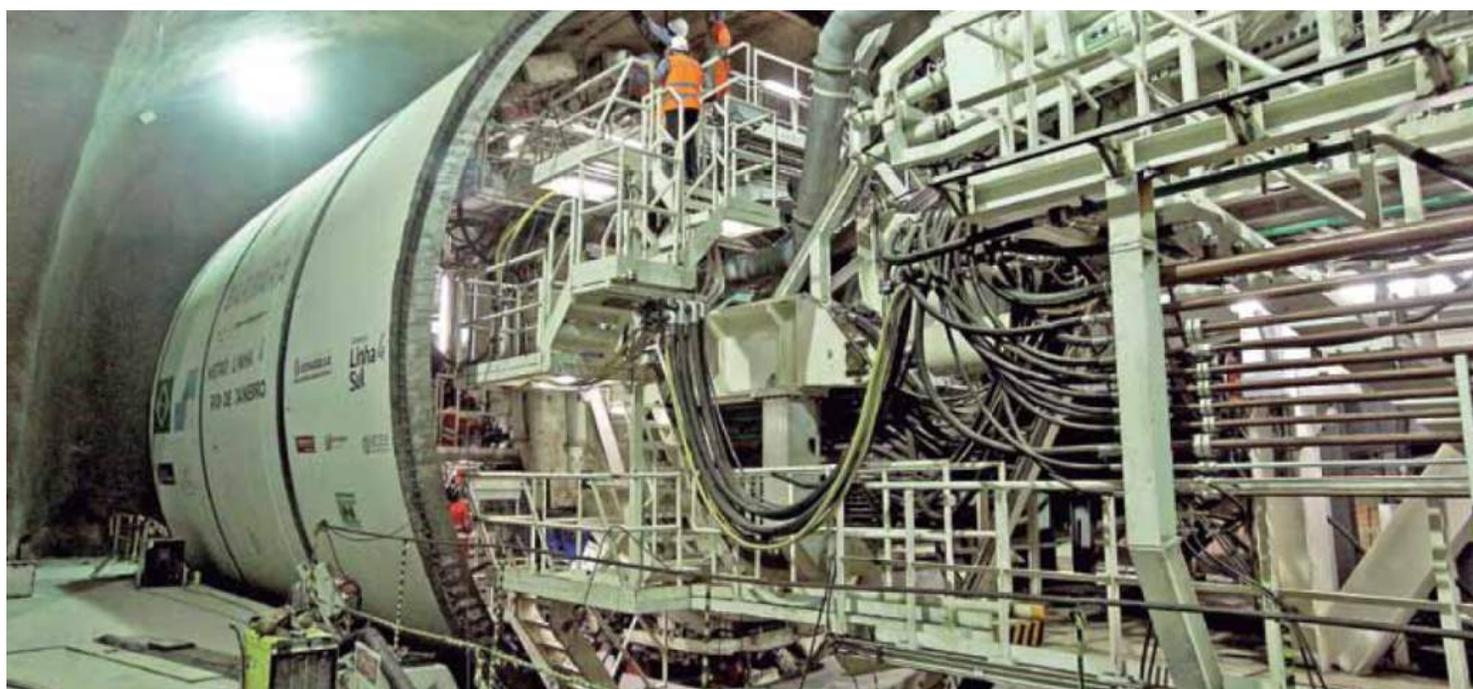


Tanto para o concreto secundário (o concreto estrutural dos túneis escavados pelo método NATM) como para o concreto armado (usado nas estações e poços) foram usadas as linhas de aditivos **Sika ViscoCrete**®, **Sika ViscoFlow**® e **SikaMent**®. Compostas por plastificantes e superplastificantes, elas produzem concreto de alto desempenho (CAD) e têm um alto poder de redução de água, permitindo a confecção de concretos mais compactados, com altíssima fluidez e trabalhabilidade adequada.

Conforme visto anteriormente, no método TBM o revestimento de concreto é feito por meio dos elementos pré-moldados conhecidos como aduelas, que são instaladas pela própria tuneladora e criam anéis de concreto na circunferência da escavação ao longo de todo o comprimento do túnel. As aduelas são o suporte estrutural do túnel, e por isso suas características de resistência são especiais. No caso em questão, foram usados na fabricação dos segmentos de concreto produtos da linha **Sika ViscoCrete**®, composta por superplastificantes à base de poliacrilatos especialmente desenvolvidos para pré-fabricados que requerem ganhos nas resistências iniciais. Com essa solução, foi possível atingir os abatimentos requeridos e obter altos ganhos de resistência nas primeiras horas e aos 28 dias.

Em parte da instalação das aduelas e da ancoragem necessária para encaixar os segmentos uns nos outros, foi usado o aditivo expansor para calda de cimento **Intraplast**®, para garantir máxima penetração e uma perfeita colmatação nos espaços de ancoragem. Uma vez que os segmentos ou aduelas estejam parafusados entre si, o espaço entre o anel e o túnel deve ser preenchido com uma calda de cimento conhecida como *backfilling grout*. Para o traço desse material cimentício, a Sika forneceu produtos da linha Sigunit®, com o objetivo de acelerar a pega do *backfilling grout*, e um aditivo da linha **SikaTard**®, para controlar a hidratação do cimento e a trabalhabilidade do material.

Ao longo do projeto, foram usados aditivos da linha **SikaRapid**® em alguns traços, para acelerar a resistência inicial do concreto. Além disso, a Sika forneceu também os produtos **Separol**® (desmoldante para formas metálicas ou absorventes) e **Antisol**® (agentes de cura para concreto).





Em alguns trechos da Linha 4, o sistema de membranas **Sikaplan® WP-1100** foi a solução para atender aos requerimentos técnicos para a impermeabilização dos túneis. Em função da complexidade do projeto, a membrana flexível aplicada teve espessura de três milímetros e foi fixada por meio de discos de PVC, colocados sobre um geotêxtil separando o concreto projetado primário do concreto projetado secundário. Na impermeabilização das juntas de construção, o produto especificado, **SikaFuko® Eco-1**, possibilitou a instalação de um sistema de mangueiras para permitir reparos simples e rápidos caso haja infiltrações que afetem a estrutura.

Foi comercializado também pela Sika o selante hidrofílico **SikaSwell® S-2**, indicado para algumas juntas frias e detalhes e para agir como sistema de *backup* para os produtos da linha de **Perfilados® Sika**, usados, por sua vez, na impermeabilização das juntas de construção e movimentação. Nas partes da construção que apresentaram vazamentos, foram usadas resinas de injeção à base de poliuretano da linha **Sika Injection®** para fazer a vedação das infiltrações. Produtos de impermeabilização auxiliares, das linhas **Igol®**, **SikaTop®** e **Sika®-2**, foram usados para a construção de detalhes dentro das estações.

Demonstrando uma vez mais que a Sika é uma empresa capaz de fornecer soluções completas para a indústria da construção, foram disponibilizadas também soluções de reparo e proteção para a instalação de maquinaria pesada e para a ancoragem de reforço e união de peças estruturais, por meio das linhas **Sikadur®** (adesivos estruturais) **SikaGrout®** (argamassa de elevada resistência para grauteamento, ancoragens e reparos) e **Sika Carbodur®** (fibra de carbono para reforço estrutural).

A Linha 4 do metrô do Rio de Janeiro fez uso das linhas de selantes **Sikaflex®** e **Sika Roadsil®** para a proteção de juntas, e dos produtos **SikaBoom®** para o isolamento e fixação de elementos com espuma expansiva. Os consórcios usaram ainda a tecnologia de membrana líquida impermeabilizante **Sikalastic®-560**, além de **SikaFill®** para a impermeabilização de lajes e outros detalhes (principalmente nas estações).

Todas as soluções fornecidas para a construção da Linha 4 apresentam a mais alta qualidade e a mais inovadora tecnologia, concebida para melhorar a cada dia os processos da indústria da construção. O abrangente catálogo de produtos da Sika permite que a empresa atenda a projetos de grande porte com sucesso, posicionando-se como líder mundial no fornecimento de produtos químicos para a construção.



#### PRINCIPAIS PRODUTOS SIKA UTILIZADOS NESTE PROJETO

ViscoFlow®-20	SikaMent® PF-175
Sika ViscoCrete®-3535 CB	SikaDrill® TBM-800 C
Sika ViscoFlow®-25 BR	SikaPlan® WP 1100-30 HL 2
Sika ViscoCrete®-20 HE	Sikadur®-42 CL
SikaFoam® TBM-101 FB	Sigunit® L-500 AF
Separol® BIO	SikaGrout® AC
SikaFoam® TBM-230 L	

As recomendações gerais têm o objetivo de orientar os nossos consumidores quanto à utilização segura e eficiente dos produtos. Para obter informações técnicas adicionais, consulte a ficha técnica de uso e manuseio.



#### Sika S.A.

Av. Dr. Alberto Jackson Byington, 1.525  
Vila Menck - Osasco - SP  
CEP 06276-000  
Fone: 11 3687-4600  
Fax: 11 3601-0288

**SAC 0800-703-7340**

Serviço de Atendimento ao Cliente  
[www.sika.com.br](http://www.sika.com.br)  
[facebook.com/SikaBrasil](https://facebook.com/SikaBrasil)

**BUILDING TRUST**

