



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA (3)

APLICATIVO NATM PARA A FISCALIZAÇÃO DE ESCAVAÇÃO DE TÚNEIS

INTRODUÇÃO

Este artigo descreve as principais etapas de criação da solução, pertencente a expansão da Linha 2 – Verde do Metrô SP e os resultados obtidos, apresentando a criação e implantação do aplicativo NATM, utilizando ferramentas tecnológicas como o “Sharepoint” e “Power BI”, para a fiscalização de escavação de túneis.

A ideia surgiu durante a implantação dos túneis em NATM nas obras da futura Estação Vila Formosa, pertencente à Expansão da Linha 2–Verde do Metrô-SP, para suprir a necessidade de otimizar os processos de fiscalização, os quais englobam concepção de taxas quantitativas de serviços, definições de seções e práticas construtivas com foco na agilidade, aprimoramento, controle e visualização do comportamento dos processos



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

(Gestão de Processos) e integração das disciplinas (Produtividade, Medição, Planejamento, Qualidade, Mapeamentos, Instrumentações, entre outros) mostrando a funcionalidade esperada para ferramenta.

Considerando que a escavação manual de túneis em NATM é ainda um assunto específico na engenharia brasileira, a ideia do controle inicial surgiu para minimizar os problemas recorrentes nas obras, utilizando técnicas aderentes aos processos padronizados de fiscalização de obras de engenharia da Companhia do Metropolitano de São Paulo.

Em dezembro de 2023 foi formado um grupo para entender os desafios das escavações dos túneis em NATM e criar uma solução que atendesse a necessidade de todas as unidades construtivas ligadas a Gerência da Linha 02-Verde do Metrô/SP.

Diante disso, foi iniciado o planejamento do projeto, estruturação, reuniões e estudo para desenvolver uma solução de acompanhamento relacionadas à fiscalização de obra. Nesse período foram consultados engenheiros de outras frentes para compartilhar suas experiências.

A fase inicial do projeto durou 4 meses, entre outubro 2023 e fevereiro 2024, e contemplou: definições de conceitos, testes com a utilização de dados fictícios para organização e estruturação do banco de dados e formatação dos dashboards.

Nesta fase, o lançamento de dados era feito através do PowerApps, que incluía formulários para preenchimento. No entanto, durante os testes com dados fictícios,



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

percebeu-se que aplicação estava prejudicando o desenvolvimento do PowerBI e demandava um tempo valioso para ser preenchida, tornando-se onerosa. Assim, decidiu-se abandonar a aplicação e passar a realizar o lançamento direto pelo SharePoint.

Em março iniciamos o período de teste com dados reais do túnel de estacionamento junto à Vala de ataque Penha, visando otimizar o início dos testes foram realizados reuniões e treinamentos que uniformizaram as premissas desse projeto.

Durante os lançamentos de dados da vala Penha surgiu a necessidade de alterar a planilha de dados e ajustar algumas formulações no Power BI.

A estrutura para a criação do aplicativo NATM foi realizada através de dois aspectos fundamentais:

- O primeiro é estruturar a forma de cadastramento dos dados coletados em campo, tais como: unidade construtiva, orientação, seção, nome da cambota, estrutura, serviço, avanço físico, nome do tratamento, evento, início, conclusão, tipo de túnel, turno de trabalho e drenagem.
- O segundo aspecto é a obtenção de indicadores de performance, atualizados diariamente, para auxiliar na rápida leitura do comportamento dos processos e propiciar uma rápida decisão de gestor em vários aspectos, tais como: segurança na escavação, controle de quantidades de serviços e tratamento, acompanhamento dos prazos,



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

produtividade, defasagens de avanços entre as estruturas e acompanhamento de pressão e vazão das drenagens.

O aplicativo possibilitou a redução de erros relacionados a quantidade, controle de atrasos, acompanhamento dos índices de produtividade por serviços e antecipação de problemas, facilitando a tomada de decisão na gestão da fiscalização de túneis em NATM. Além disso, com os dados armazenados, cria-se um repositório de dados que podem ser utilizados para futuros projetos.

Verifica-se também a possibilidade de agregar novas funções ao aplicativo na próxima etapa de desenvolvimento, tais como:

- Monitorar a resistência da calda de refluxo das colunas de tratamento, controle da pressão de injeção da calda de cimento, controle do traço da calda informando a quantidade de sacos de cimento e água – fator a/c;
- Monitorar a temperatura de lançamento do concreto projetado e calda de cimento, controle do tipo de cimento utilizado, controle de slump;
- Comparar os desvios dos diâmetros teóricos das colunas de tratamento com os diâmetros reais medidos em campo;
- Acompanhamento (quantidades) do banho de projetado nas frentes de escavação;
- Gerar um relatório de ocorrências, vinculando os principais eventos do dia a dia com as informações técnicas monitoradas;



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

- Elaborar um aplicativo para Escavações de Poços;

BREVE CONCEITUAÇÃO SOBRE TÚNEIS EM NATM

O Novo Método Austríaco de Tunelamento (em inglês: *New Austrian Tunnelling Method*), também conhecido pela sua sigla em inglês NATM, foi desenvolvido entre 1957 e 1965 na Áustria [1]. Essa técnica ganhou atenção pela primeira vez na década de 1960, com base no trabalho de Ladislaus von Rabcewicz, Leopold Müller e Franz Pacher entre 1957 e 1965 na Áustria. O nome NATM tinha como objetivo distingui-lo da antiga abordagem de encapsulamento austríaca. A diferença fundamental entre esse novo método de tunelamento, em oposição aos métodos anteriores, deriva das vantagens econômicas disponibilizadas ao se tirar vantagem da força geológica inerente disponível na massa circundante rocha para estabilizar o túnel [2].

Foi dado seu nome em Salzburgo em 1962 para distingui-lo do antigo método adotado na Áustria. Os contribuintes principais ao desenvolvimento do NATM eram Ladislaus von Rabcewicz, Leopold Müller, e Franz Pacher.

O NATM é uma abordagem metodológica que integra os princípios do comportamento de maciços rochosos sob carga e que monitora o desempenho da construção subterrânea durante a construção.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

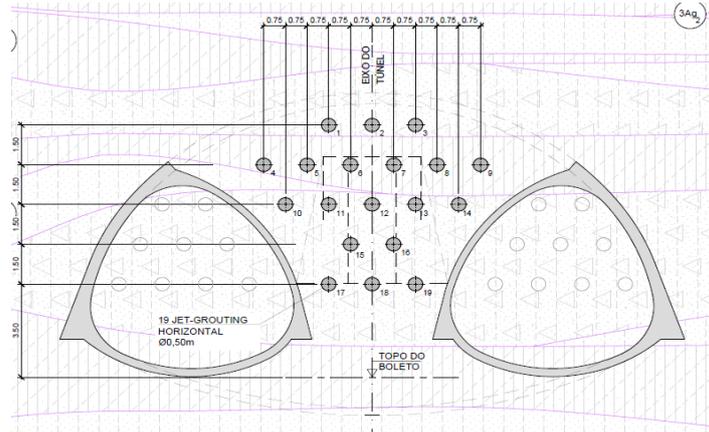


Figura 1– Exemplo de seção de túnel de Plataforma (Tratamento de Frente - Calota)

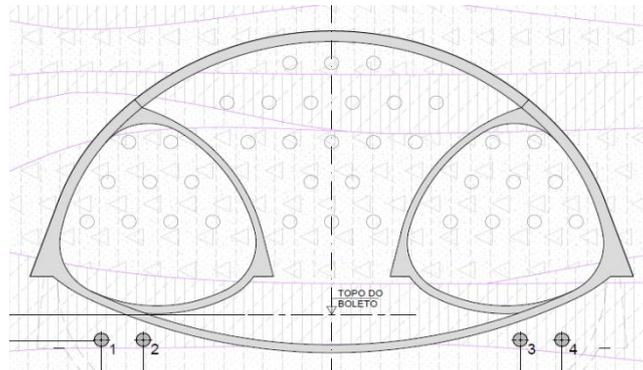
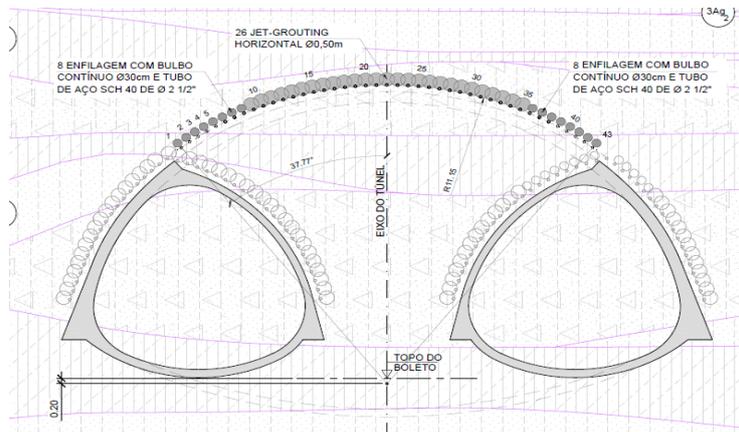


Figura 2– Exemplo de seção de túnel de Plataforma (Tratamento de Frente – Arco

Invertido Definitivo / AID)





30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Figura 3– Exemplo de seção de túnel de Plataforma (Tratamento de Teto – Sides e Calota)

A fiscalização em túneis construídos pelo método NATM (New Austrian Tunneling Method) é essencial para garantir a segurança, qualidade e eficiência dos projetos, principalmente pelas seguintes razões:

Segurança dos trabalhadores e do público: A fiscalização rigorosa ajuda a identificar e mitigar riscos associados à construção de túneis, como desmoronamentos e outros problemas estruturais, protegendo os trabalhadores e o público [3].

Garantia da qualidade: Inspeções regulares asseguram que os materiais e as técnicas empregadas estejam de acordo com as especificações do projeto, garantindo a durabilidade e a funcionalidade do túnel (Bieniawski, 1984) [4].

Controle de deformações: O método NATM utiliza o monitoramento contínuo das deformações do túnel para ajustar o suporte conforme necessário, evitando problemas maiores [5].

Cumprimento de cronogramas e orçamento: A fiscalização ajuda a identificar desvios do planejamento original, permitindo ajustes que evitam atrasos e custos adicionais [3].



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Conformidade com normas e regulamentos: A fiscalização assegura que todas as práticas e procedimentos estejam em conformidade com as normas de segurança, ambientais e de construção vigentes [4].

Documentação e responsabilidade: A inspeção e o controle constantes fornecem uma documentação detalhada do progresso e das condições do túnel, essencial para futuras manutenções e questões de responsabilidade [5].

DIAGNÓSTICO

A partir de agora, mostraremos as etapas de criação do aplicativo, conceitos empregados, ambientes de interação com o usuário, testes e resultados obtidos.

Breve histórico sobre a origem dos controles em Microsoft Excel:

As obras da Estação Vila Formosa, objeto de estudo desse trabalho, tiveram seu início efetivo em 19/05/2021 com a escavação do poço de acesso principal. Abaixo o diagrama das unidades construtivas, extensão, demanda e investimento de novos trens da Linha 02 - Verde:

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 4 – Diagrama das obras de extensão da Linha 02-Verde do Metrô de São Paulo

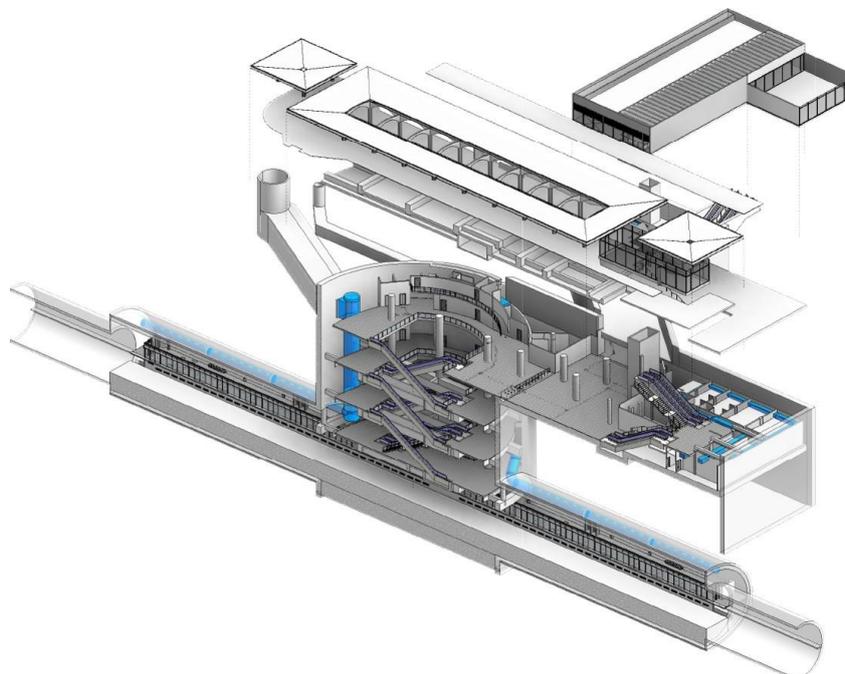


Figura 5 – Perspectiva isométrica da Estação Vila Formosa

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Originalmente, os controles de fiscalização eram feitos em planilhas de Excel, as quais foram aperfeiçoadas conforme o andamento da obra. A ideia era que as planilhas integrassem as informações pertinentes da fiscalização, para facilitar a tomada de decisões. As figuras a seguir apresentam as planilhas desenvolvidas no Excel, as quais inspiraram ideias para a criação do aplicativo NATM:

TRATAMENTO DO MACIÇO E ESCAVAÇÃO DOS EMBOQUES							
EMBOQUE OESTE - SIDE DRIFT 01				EMBOQUE OESTE - SIDE DRIFT 02			
Seção A	INÍCIO	CONCLUSÃO	AVANÇO (m)	Seção A	INÍCIO	CONCLUSÃO	AVANÇO (m)
Tratamento	17/out	26/out	-	Tratamento (PARCIAL)	26/nov	29/nov	-
Pré-escavação	27/out	01/nov	-	Tratamento (PARCIAL)	01/dez	10/dez	-
Escavação e projeção das Cambotas	04/nov	-	-	Pré-escavação	10/dez	13/dez	-
Cambotas: 01	04/nov	04/nov	0,60	Escavação e projeção das Cambotas	14/dez	-	-
Cambotas: 02 e 03	05/nov	05/nov	1,60	Cambotas: 01 e 02	14/dez	14/dez	1,40
Cambotas: 04, 05 e 06	07/nov	07/nov	2,40	Cambotas: 03	15/dez	15/dez	0,80
Cambotas: 07 e AIPs	08/nov	08/nov	0,80	Cambotas: 04, 05 e 06	16/dez	16/dez	2,40
Cambotas: 08 e AIPs	09/nov	09/nov	0,80	Cambotas: 07 e 08 e AIPs (1 à 3)	17/dez	17/dez	1,60
Seção B	INÍCIO	CONCLUSÃO		Seção B	INÍCIO	CONCLUSÃO	
Tratamento (Cambota 08)	10/nov	14/nov	-	Tratamento (Cambota 08)	17/dez	27/dez	-
Escavação e projeção das Cambotas	16/nov	-	-	Escavação e projeção das Cambotas	28/dez	-	-
Cambotas: 09 e 10	16/nov	16/nov	1,60	Cambotas: 09	28/dez	28/dez	0,80
Cambotas: 11	17/nov	17/nov	0,80	Cambotas: 10 e 11	29/dez	29/dez	1,60
Cambotas: 12 e 13	18/nov	18/nov	1,60	Cambotas: 12 e AIPs (4 à 6)	30/dez	30/dez	0,80
Cambotas: 14 e 15	19/nov	19/nov	1,60	Cambotas: 13 e 14 e AIPs (7 à 9)	02/jan	02/jan	1,60
Cambotas: 16 e 17 e AIPs	21/nov	21/nov	1,60	Cambotas: 15, 16 e 17	03/jan	03/jan	2,40
AIPs	26/nov	29/nov	0,80	AIPs (10 à 12)	04/jan	04/jan	0,80
Seção C	INÍCIO	CONCLUSÃO		Seção C	INÍCIO	CONCLUSÃO	

Figura 6 – Planilha de acompanhamento do Tratamento do Maciço e escavação dos emboques.

TRATAMENTO DO MACIÇO E ESCAVAÇÃO DOS EMBOQUES DAS CALOTAS							
EMBOQUE CALOTA OESTE				AIP'S CALOTA OESTE			
Seção A	INÍCIO	CONCLUSÃO	AVANÇO (m)	Seção A	INÍCIO	CONCLUSÃO	AVANÇO (m)
Tratamento	18/mar	31/mar	-	AIP'S 01 ao 04	-	-	3,00
Pré-escavação	01/abr	03/abr	-	Escavação	10/abr	12/abr	-
Escavação e projeção das Cambotas	04/abr	-	-	Concretagem	12/abr	12/abr	-
Cambotas: 01 e 02	04/abr	04/abr	1,40	AIP'S 05 ao 07	-	-	1,60
Cambotas: 03 e 04	05/abr	05/abr	1,60	Escavação	25/abr	27/abr	-
Cambotas: 05, 06 e 07	06/abr	06/abr	2,40	Concretagem	27/abr	27/abr	-
Cambotas: 08	08/abr	08/abr	0,80				
Seção B	INÍCIO	CONCLUSÃO		Seção B	INÍCIO	CONCLUSÃO	
Tratamento (Cambota 08)	12/abr	20/abr	-	AIP'S 08 ao 10	-	-	1,60
Escavação e projeção das Cambotas	22/abr	-	-	Escavação	02/mai	45049	-
Cambota: 09	22/abr	22/abr	0,80	Concretagem	03/mai	03/mai	-
Cambotas: 10 e 11	24/abr	24/abr	1,60	AIP'S 11 ao 13	-	-	1,60
Cambotas: 12, 13 e 14	25/abr	-	2,40	Escavação	15/mai	16/mai	-
Cambotas: 15 e 16	28/abr	-	1,60	Concretagem	16/mai	16/mai	-
Cambota: 17	29/abr	-	0,80	AIP'S 14 ao 16	-	-	1,60
			-	Escavação	17/mai	18/mai	-
			-	Concretagem	18/mai	18/mai	-
Seção C	INÍCIO	CONCLUSÃO		Seção C	INÍCIO	CONCLUSÃO	

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Figura 7 – Planilha de acompanhamento do Tratamento do Maciço e escavação dos emboques das calotas.

SEÇÃO - QUANTIDADES PARA 1m DE TÚNEL	SIDE DRIFT		
	ESCAVAÇÃO	45,43	m³
	CONCRETO PROJETADO	6,17	m³
	CONCRETO PROJETADO-AIP	2,88	m³
	CAMBOTA	127,50	Kg
	TELA METÁLICA	61,92	Kg
	ATERRO DE TRABALHO	9,74	m³
	CALOTA SUPERIOR		
	ESCAVAÇÃO	156,21	m³
	CONCRETO PROJETADO	6,03	m³
	CAMBOTA	597,4	Kg
	DEMOLIÇÃO PARCIAL DO SIDE-DRIFT		
	DEMOLIÇÃO DAS PAREDES DO SIDE DRIFT	5,94	m³
	TOTAL		
	ESCAVAÇÃO	164,32	m³
	CONCRETO PROJETADO	18,37	m³
	CONCRETO PROJETADO-AIP	5,76	m³
	DEMOLIÇÃO DAS PAREDES DO SIDE DRIFT	5,94	m³
	CAMBOTA	852,40	Kg
	TELA METÁLICA	123,84	Kg
ATERRO DE TRABALHO	9,74	m³	

DE-2.33.04.02/6G3-002 Folha 01/01 Rev. A

Figura 8 – Taxas de consumo por metro linear de túnel relacionadas ao side drift.

INDICADORES	Calota Oeste	Calota Leste	TOTAL Calotas Oeste e Leste	TOTAL Cambotas (Consumo/mês)	Consumo Total Acumulado
Escavação (m³/dia)	120,28	126,53	Escavação (m³)	7404,35	118469,66
Concreto Projetado (m³/dias.corridos)	4,64	4,88	Concreto Projetado (m³)	285,82	4573,15
Cambota (kg/dias.corridos)	460,00	483,89	Cambota (kg)	28316,76	453068,16
Avanço (Cambotas/dias.úteis)	0,58	0,58	Avanço (Cambotas)	18	280
Duração em tempo real (dias.corridos)	480,00	480,00	Duração em tempo real (dias.corridos)	480,00	480,00
Demolição das paredes do Side Drift (m³/dias.corridos)	4,57	4,81	Demolição das paredes do Side Drift (m³)	281,56	4504,90

Figura 9 – Taxas de consumo por metro linear de túnel

Evolução Física		
	Calota Oeste	Calota Leste
Total de Cambotas Projeto:	59	62
Cambota em execução	59	62
Percentual (%) de evolução	100%	100%
Data estimada de conclusão	07/08/2023	07/08/2023
Planejado no Planejamento de Curto Prazo PCP	02/08/2023	11/08/2023
Previsão de Antecipação (dias)	-5	4

Figura 10 – Estudo de avanço físico e projeção de término com base na produtividade

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

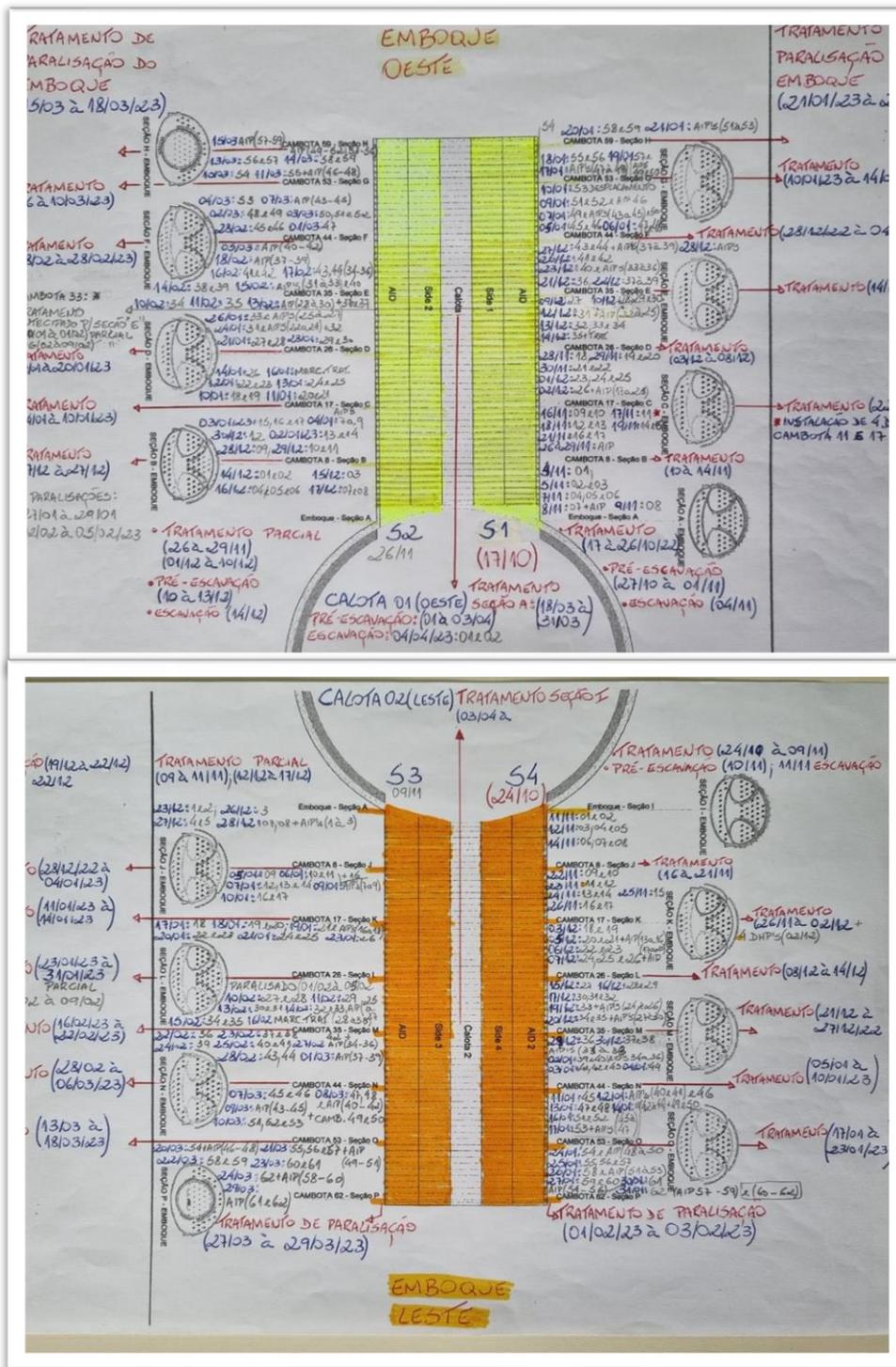


Figura 11 – Controle visual do Mapeamento de avanço dos sides

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

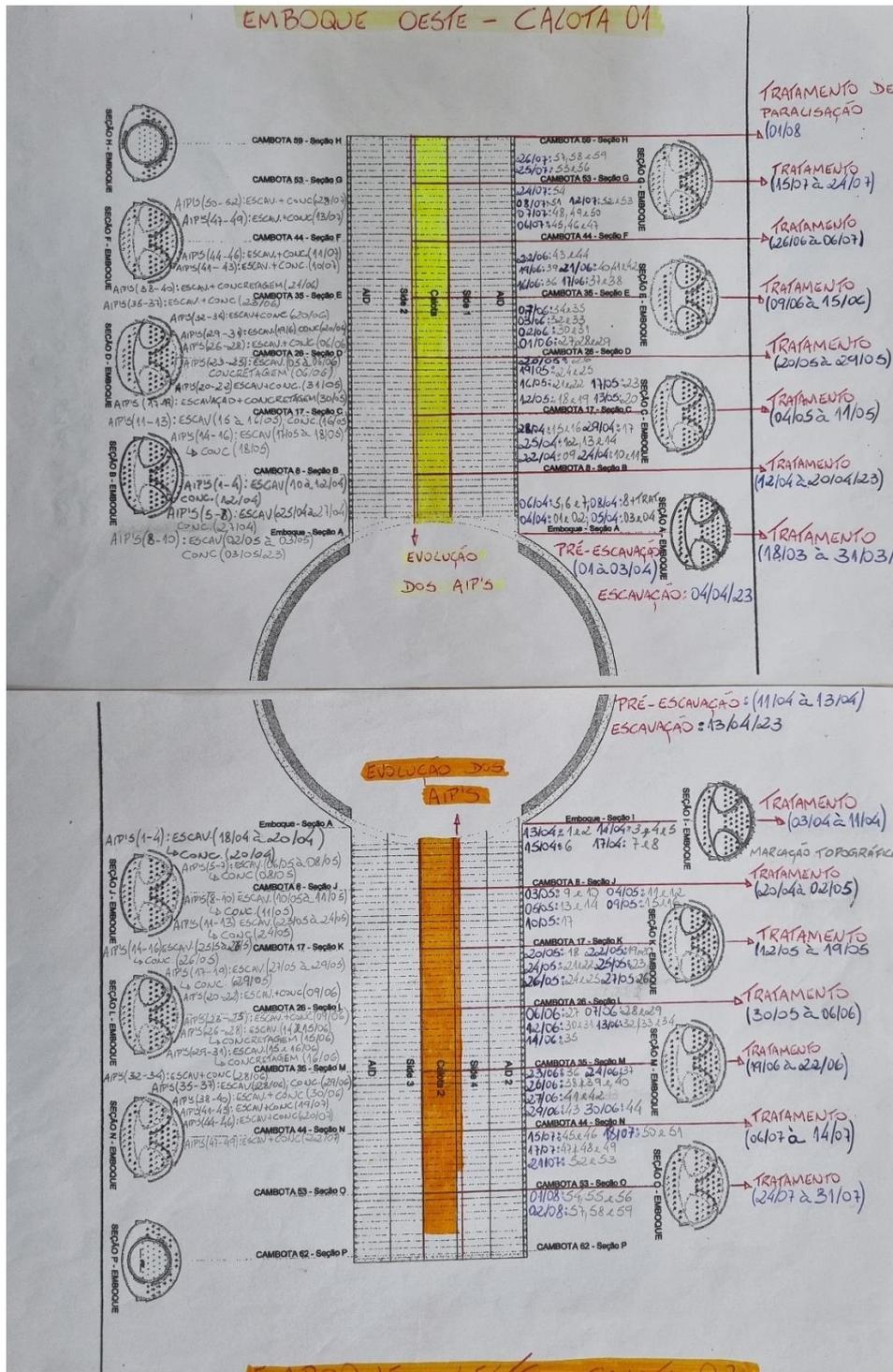


Figura 12 – Controle visual do Mapeamento de avanço das calotas

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Conceito de taxas quantitativas dos serviços:

A ideia aqui foi extrapolar (multiplicar) as quantidades por metro linear dos serviços pertinentes (extraídos do projeto executivo) a escavação dos túneis conforme sua evolução, até completar todo o seu comprimento.

SIDE DRIFT			
SEÇÃO - QUANTIDADES PARA 1m DE TÚNEL	ESCAVAÇÃO	45,43	m ³
	CONCRETO PROJETADO	6,17	m ³
	CONCRETO PROJETADO-AIP	2,88	m ³
	CAMBOTA	127,50	Kg
	TELA METÁLICA	61,92	Kg
	ATERRO DE TRABALHO	9,74	m ³
	CALOTA SUPERIOR		
	ESCAVAÇÃO	156,21	m ³
	CONCRETO PROJETADO	6,03	m ³
	CAMBOTA	597,4	Kg
	DEMOLIÇÃO PARCIAL DO SIDE-DRIFT		
	DEMOLIÇÃO DAS PAREDES DO SIDE DRIFT	5,94	m ³
	TOTAL		
	ESCAVAÇÃO	164,32	m ³
	CONCRETO PROJETADO	18,37	m ³
	CONCRETO PROJETADO-AIP	5,76	m ³
	DEMOLIÇÃO DAS PAREDES DO SIDE DRIFT	5,94	m ³
	CAMBOTA	852,40	Kg
TELA METÁLICA	123,84	Kg	
ATERRO DE TRABALHO	9,74	m ³	

Figura 13 – Taxas de consumo por metro linear de túnel

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO NATM

Após as análises e discussões sobre as planilhas e controles previamente apresentados, iniciou-se o desenvolvimento do aplicativo NATM utilizando o conceito de Business Intelligence (BI), é um conjunto de processos, tecnologias e ferramentas que transformam dados brutos em informações significativas e úteis para fins de análise de negócios. BI abrange a coleta, armazenamento e análise de dados, ajudando as organizações a tomar decisões informadas e estratégicas [6], conforme representado abaixo:



Figura 14 – Fluxo do levantamento, tratamento e apresentação dos dados

Fonte: Vasconcelos, Jandira & Santos, João. (2018).



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Para aplicar a metodologia de BI, utilizou-se de algumas ferramentas tecnológicas desenvolvidas pela Microsoft, descritas abaixo, conforme definidas pela própria empresa (Microsoft Learn, 2024):

Sharepoint [7]: As organizações usam o Microsoft SharePoint para criar sites como um local seguro para armazenar, organizar, compartilhar e acessar informações de qualquer dispositivo.

Power BI [8]: É uma coleção de serviços de software, aplicativos e conectores que trabalham juntos para transformar suas fontes de dados não relacionadas em informações coerentes, visualmente envolventes e interativas.

Antes de prosseguir, algumas definições adicionais são apresentadas abaixo para o correto entendimento na sequência deste artigo.

Unidade Construtiva: caracterizada pela unidade mínima de construção (corpo da estação, acesso, saída de emergência, estacionamento, terminal e outros).

Orientação do Túnel: especialmente usada para diferenciar frentes de ataque dentro de uma mesma Unidade Construtiva (norte, sul, leste, oeste).

Seção: nomenclatura de projeto que identifica a Seção, sendo típica ou não, dentro de suas variações (Seção A, Seção B, Seção 1, etc)



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Estrutura: Parte do túnel que compõe a Seção, bem como variações dessas partes (cambota, arco invertido provisório, arco invertido definitivo, side drift, túnel piloto, side 01, side direito, etc)

Serviço: itens constantes em planilhas de quantidades para materiais e serviços instalados conforme licitação (concreto projetado, escavação, tela metálica, cambota metálica, etc)

Tipo de Tratamento: contempla as variações de tratamentos adotados de acordo com o projeto de cada Unidade Construtiva (enfilagem de bulbo contínuo, pregagem com barra de fibra de vidro, coluna de jet grouting, etc).

O compartilhamento das informações foi feito através da publicação das soluções de acordo com as diretrizes da Gerência da Tecnologia Informação (GTI).

Em substituição ao controle anteriormente adotado foi proposto um conjunto de Listas no SharePoint que serviram como banco de dados, apresentadas na Figura 15, Figura 16 e Figura 17.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

BASE DE DADOS_NATM ☆ ☺

Unidade C...	Orientação	SEÇÃO	Nome ds...	ESTRUTU...	SERVIÇO	AVANÇO ...	NOME D...	EVENTO	INÍCIO	CONCLU...	TIPO DE ...	TURNO
2.37.03.03	NORTE	A	0	CALOTA	ESCAVAÇÃO	32	N/A	TAXA	13 de março	13 de março	ESTACIONAMENTO	1º TURNO
2.37.03.03	NORTE	A	0	CALOTA	CAMBOTA METÁLI...	115	N/A	TAXA	13 de março	13 de março	ESTACIONAMENTO	1º TURNO
2.37.03.03	NORTE	A	0	CALOTA	CONCRETAGEM	3,76	N/A	TAXA	13 de março	13 de março	ESTACIONAMENTO	1º TURNO
2.37.03.03	NORTE	A	0	AID	ESCAVAÇÃO	11,86	N/A	TAXA	13 de março	13 de março	ESTACIONAMENTO	1º TURNO
2.37.03.03	NORTE	A	0	AID	TELA METÁLICA	23,7	N/A	TAXA	13 de março	13 de março	ESTACIONAMENTO	1º TURNO
2.37.03.03	NORTE	A	0	AID	CONCRETAGEM	2,16	N/A	TAXA	13 de março	13 de março	ESTACIONAMENTO	1º TURNO
2.37.03.03	NORTE	TRANSIÇÃO	0	CALOTA	ESCAVAÇÃO	36,05	N/A	TAXA	13 de março	13 de março	ESTACIONAMENTO	1º TURNO
2.37.03.03	NORTE	TRANSIÇÃO	0	CALOTA	CAMBOTA METÁLI...	124	N/A	TAXA	13 de março	13 de março	ESTACIONAMENTO	1º TURNO
2.37.03.03	NORTE	TRANSIÇÃO	0	CALOTA	CONCRETAGEM	3,92	N/A	TAXA	13 de março	13 de março	ESTACIONAMENTO	1º TURNO
2.37.03.03	NORTE	TRANSIÇÃO	0	AID	ESCAVAÇÃO	13,45	N/A	TAXA	13 de março	13 de março	ESTACIONAMENTO	1º TURNO
2.37.03.03	NORTE	TRANSIÇÃO	0	AID	TELA METÁLICA	25,65	N/A	TAXA	13 de março	13 de março	ESTACIONAMENTO	1º TURNO
2.37.03.03	NORTE	TRANSIÇÃO	0	AID	CONCRETAGEM	2,33	N/A	TAXA	13 de março	13 de março	ESTACIONAMENTO	1º TURNO
2.37.03.03	NORTE	B	0	CALOTA	ESCAVAÇÃO	39,42	N/A	TAXA	13 de março	13 de março	ESTACIONAMENTO	1º TURNO
2.37.03.03	NORTE	B	0	CALOTA	CAMBOTA METÁLI...	129	N/A	TAXA	13 de março	13 de março	ESTACIONAMENTO	1º TURNO
2.37.03.03	NORTE	B	0	CALOTA	CONCRETAGEM	4,05	N/A	TAXA	13 de março	13 de março	ESTACIONAMENTO	1º TURNO

Figura 15 – Base de dados de escavação e tratamento no Sharepoint

U. C.	ORIENTA...	INÍCIO	TIPO DE ...	TURNO	VAZÃO (...)	PRESSÃO...	Observa...	VAZÃO (...)	Anexos
2.37.03.03	NORTE	27 de março	CB-01	1º Turno	0	510	Conjunto 1 - ligados DHP 1, DHP 3 em 27/03/24 na cambota 6	0	
2.37.03.03	NORTE	27 de março	CB-02	1º Turno	0	600	Conjunto 2 - ligados DHP 2, DHP 4 em 27/03/24 na cambota 6	0	
2.37.03.03	NORTE	28 de março	CB-01	1º Turno	0,82	600		19,68	
2.37.03.03	NORTE	28 de março	CB-02	1º Turno	1,1	500		26,4	
2.37.03.03	NORTE	29 de março	CB-01	1º Turno	0,387	480		9,288	
2.37.03.03	NORTE	29 de março	CB-02	1º Turno	1,253	500		30,072	
2.37.03.03	NORTE	30 de março	CB-01	1º Turno	0,905	500		21,72	
2.37.03.03	NORTE	30 de março	CB-02	1º Turno	1,141	560		27,384	

Figura 16 – Base de dados de drenagem no Sharepoint



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

UC	Orientação	Seção	Nome da...	Serviço	Data	Curvas	Tempo	Resistênc...	Tipo de S...	Estrutura
2.35.01.03	NORTE	A2	1	CONCRETAGEM	01/06/2024	J1	1	2		AID
2.35.01.03	NORTE	A2	1	CONCRETAGEM	02/06/2024	J1	2	3		
2.35.01.03	NORTE	A2	1	CONCRETAGEM	03/06/2024	J1	3	5		
2.35.01.03	NORTE	A1	1	CONCRETAGEM	04/06/2024	J1	4	4		
2.35.01.03	NORTE	A1	1	CONCRETAGEM	05/06/2024	J1	5	7		
2.35.01.03	NORTE	A1	1	CONCRETAGEM	06/06/2024	J1	6	8		
2.35.01.03	NORTE	A2	2	CONCRETAGEM	01/06/2024	J2	1	1		
2.35.01.03	NORTE	A2	2	CONCRETAGEM	02/06/2024	J2	2	4		
2.35.01.03	NORTE	A2	2	CONCRETAGEM	03/06/2024	J2	3	5		
2.35.01.03	NORTE	A1	2	CONCRETAGEM	04/06/2024	J2	4	6		
2.35.01.03	NORTE	A1	2	CONCRETAGEM	05/06/2024	J2	5	8		
2.35.01.03	NORTE	A1	2	CONCRETAGEM	06/06/2024	J2	6	9		

Figura 17 – Base de dados de resistência do concreto projetado no Sharepoint

Após alguns testes, foram percebidas incoerências nos dados cadastrados no sistema, iniciando um período de correção das informações iniciais. Algumas reuniões de alinhamento para o correto preenchimento das referidas listas foram necessárias, sempre adotando o processo de melhoria contínua, conforme indicado na Figura 18.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

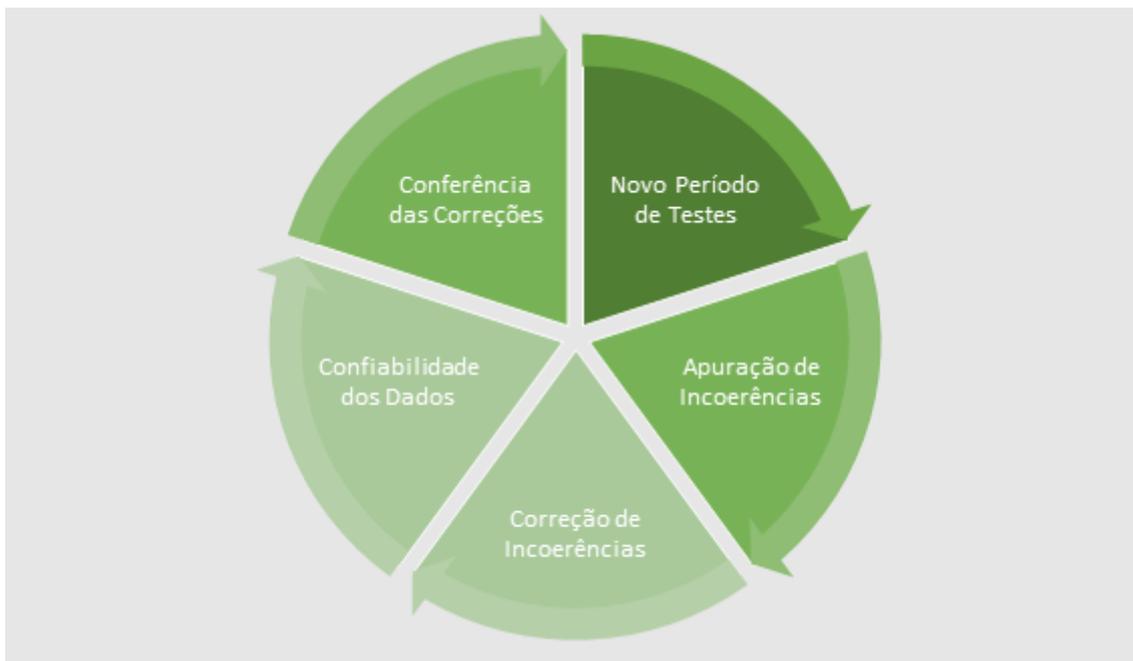


Figura 18 – Fluxo de dados da solução de melhoria contínua.

Fonte: Autores

Foram necessários aproximadamente 3 meses para realizar os primeiros testes da solução e mais 6 meses para sua implementação efetiva e uso pleno em uma das unidades construtivas da atual fase da expansão da Linha 2-Verde do Metrô de São Paulo.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Projeto concluído

Os chamados dashboards contam com 9 telas de relatório no Power BI e trazem foco nas informações por áreas de conhecimento que são: Drenagem, Medição, Produtividade, Controle, Planejamento, Tratamento e Resistência do Concreto.

As duas Listas de SharePoint que compõe a base de dados estão separadas em informações de drenagem, serviços relacionados às escavações e resistência do concreto projetado.

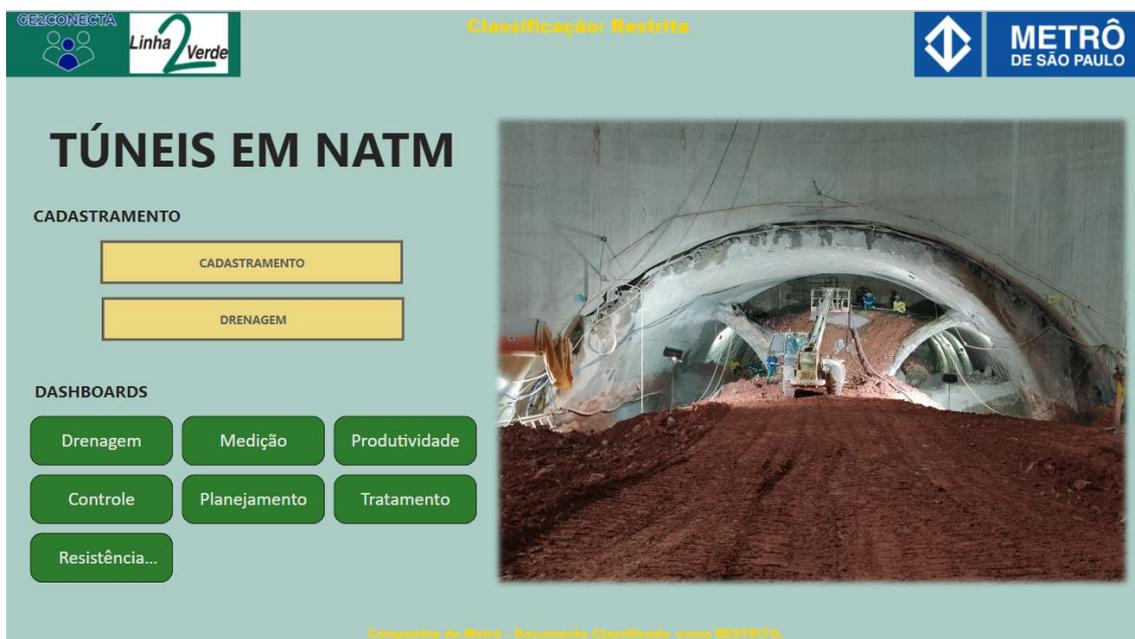


Figura 19 – 1ª tela: Capa do aplicativo NATM

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A tela inicial tem dois botões para acesso à base de dados para cadastramento de informações. E outros 7 botões de navegação para cada um dos dashboards que serão apresentados a seguir.

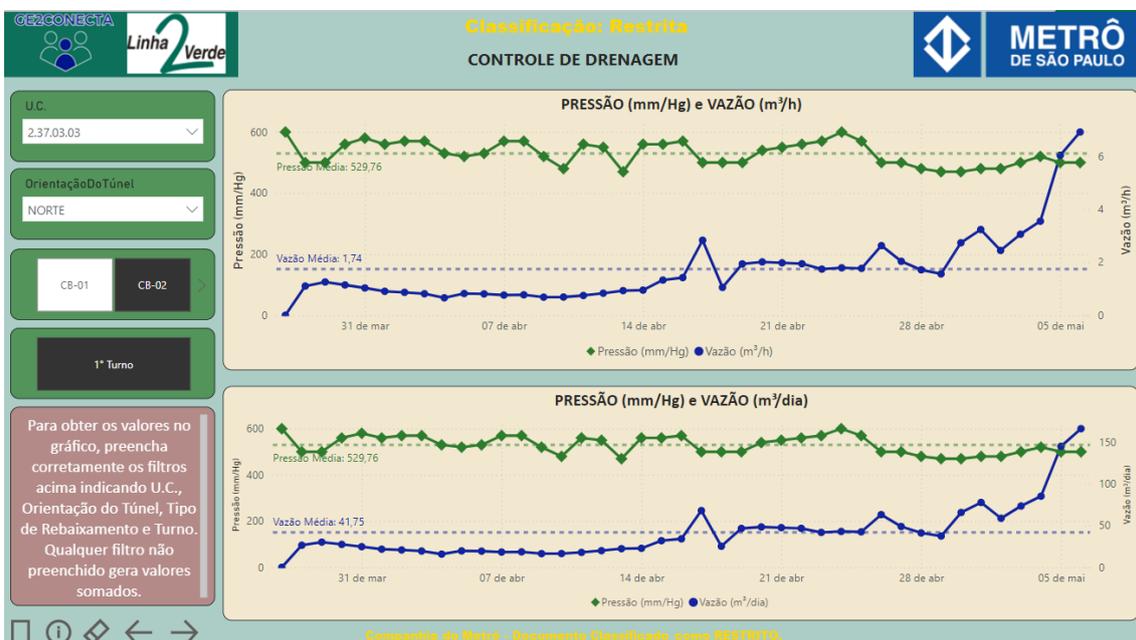


Figura 20 - 2ª tela: Capa do aplicativo NATM Controle de drenagem

A partir da análise desta tela temos auxílio para a tomada de decisões, especialmente nos campos abaixo destacados:

- Acompanhamento de vazões e pressão das drenagens instaladas.
- Identificação da necessidade de drenagens adicionais.
- Influência de água nos serviços de tratamentos gerando acréscimos ou supressões de tratamentos.
- Acompanhamento de desempenho dos turnos e dos conjuntos drenantes.

Nesta tela a segmentação dos dados pode ser feita considerando a Unidade Construtiva, Orientação do Túnel, Nome do Conjunto drenante ou por Turno de trabalho.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

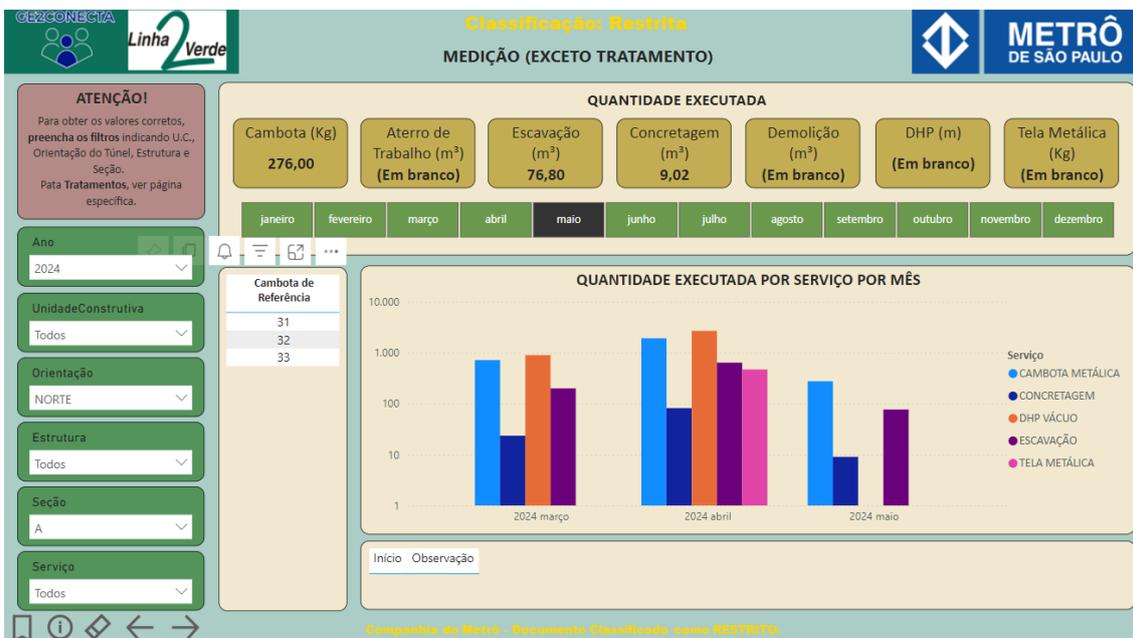


Figura 21 - 3ª tela: Acompanhamento da medição (Exceto tratamento)

Dentro dos assuntos de medição, utilizando as informações dos serviços executados diariamente conforme fornecidas no ato de cadastro, essa tela resume as quantidades com elevada precisão para agilizar a análise comparativa com a medição entregue pelos consórcios construtores. Os serviços são quantificados e podem ser segmentados por mês e ano, além dos segmentadores padrão de Unidade Construtiva, Orientação do Túnel, Estrutura, Serviço e Seção.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

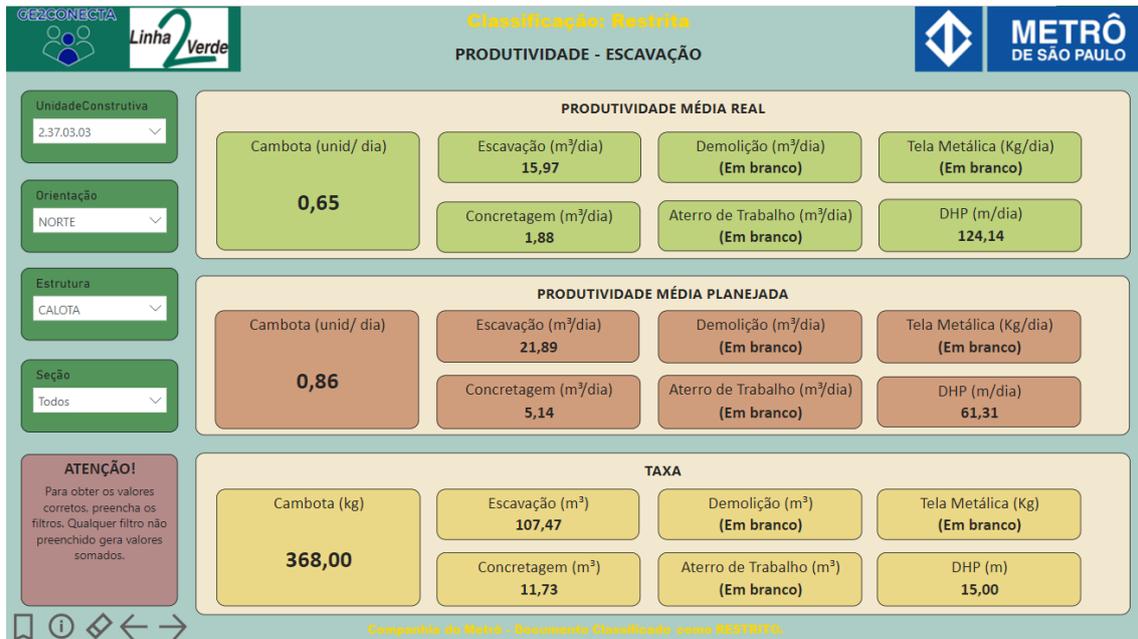


Figura 22 - 4ª tela: Produtividade: Escavação.

Nesta tela, utilizamos as informações de taxas de projeto e as durações das atividades para estimar produtividade necessária para o correto andamento da obra, para o dimensionamento das equipes de fiscalização e acompanhamento dos serviços. A partir disso, comparar a produtividade planejada com a real de modo a permitir a verificação da eficiência dos serviços.

Para um melhor entendimento, bem como informações mais específicas, há possibilidade de segmentação em Unidade Construtiva, Orientação do Túnel, Estrutura e Seção.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

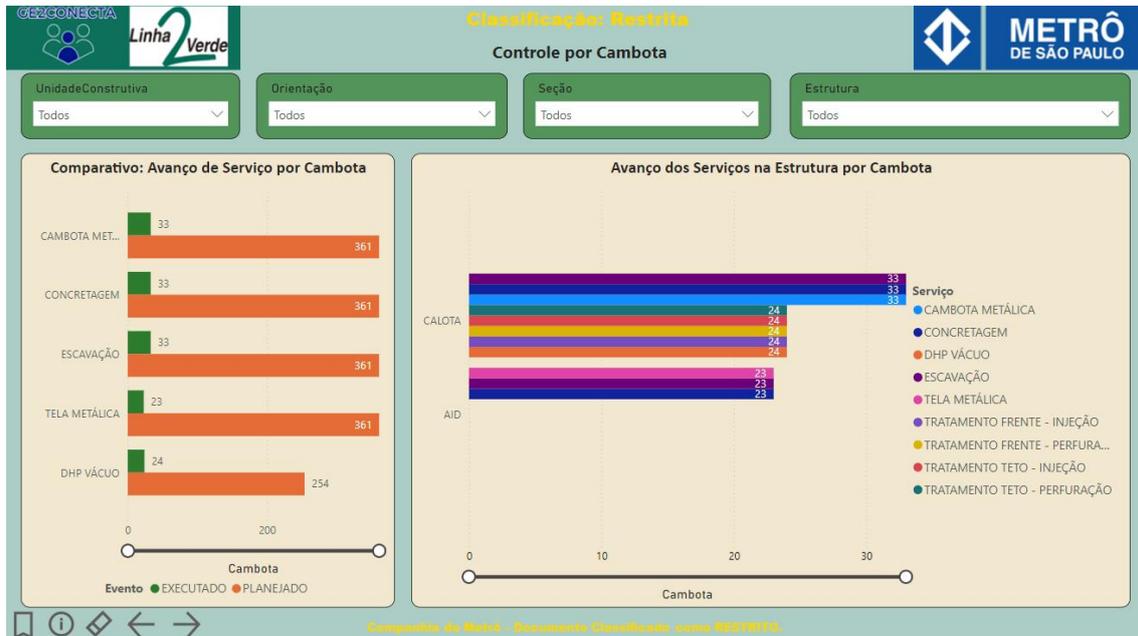


Figura 23 - 5ª tela: Controle por Cambotas

Esta é a principal tela do aplicativo, pois resume o avanço físico em cambotas substituindo a representação em papel, conforme exposto na

Figura 11 e na Figura 12.

O gráfico à esquerda representa o comparativo entre planejado e executado de cada serviço, considerando o avanço em quantidade total de cambotas.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

O gráfico à direita representa o avanço físico, em cambotas, das estruturas do túnel em execução, destacando cada serviço que compõe o avanço da estrutura para que não haja casos de avanço indevido ou tardio de parte da estrutura ou de seus serviços.

Para um melhor entendimento, bem como informações mais específicas, há possibilidade de segmentação em Unidade Construtiva, Orientação do Túnel, Estrutura e Seção.

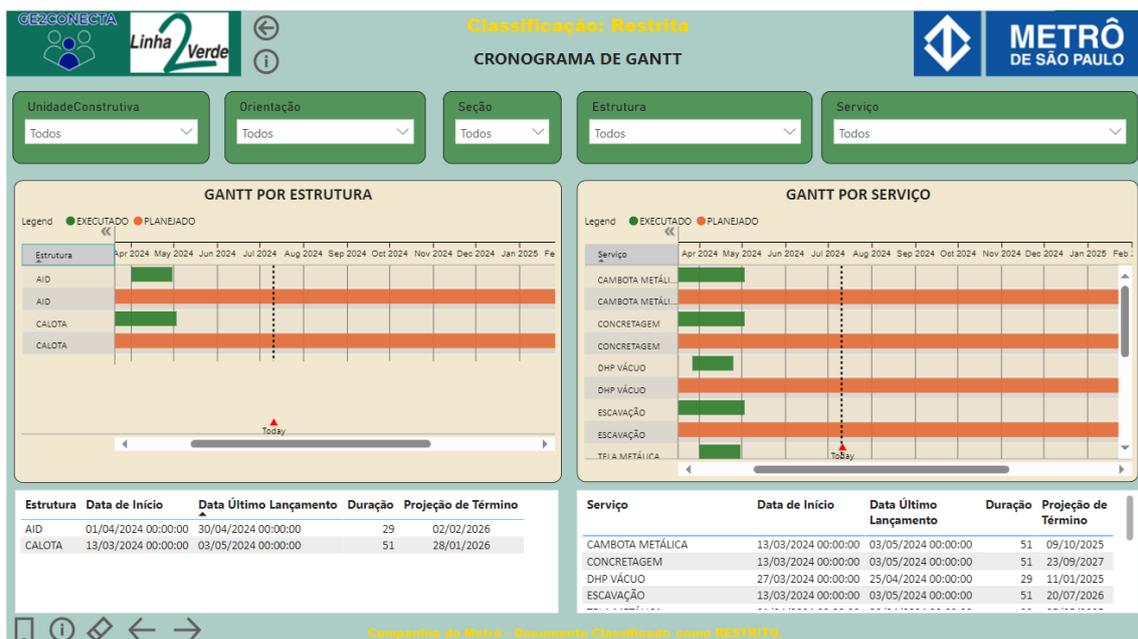


Figura 24 - 6ª tela: Acompanhamento de prazo.

Neste relatório estão compiladas as informações de prazos, para fácil acesso dos fiscais de obra, comparando os cronogramas previstos com o executado. O diferencial desta tela é indicar a projeção da data de término das estruturas e dos serviços que as compõe, baseado na taxa de produtividade real. A partir da projeção da data de término, podem

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

ser verificados desvios de prazo, seja nas estruturas do túnel como um todo, seja nos serviços individuais que compõem a estrutura, permitindo ações corretivas e ajustes no desempenho dos serviços.

Para um melhor entendimento, bem como informações mais específicas, há possibilidade de segmentação em Unidade Construtiva, Orientação do Túnel, Estrutura, Serviço e Seção.

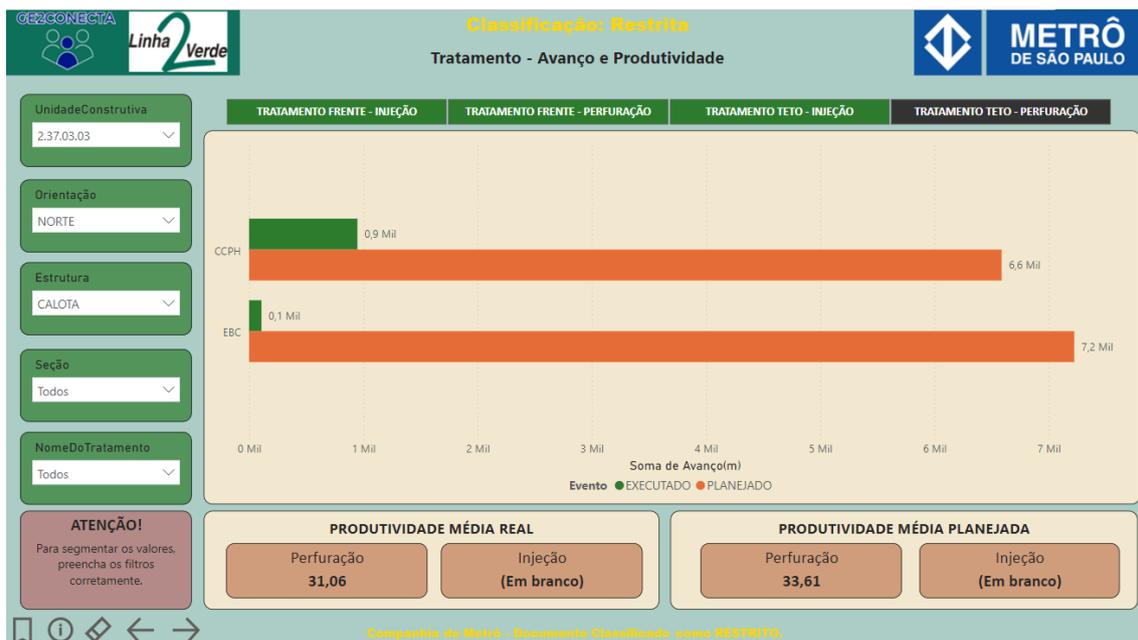


Figura 25 - 7ª tela: Tratamento: Avanço e Produtividade.

Considerando que o tratamento é um item de elevada importância estratégica para o avanço da obra, considerando custos, quantidades, prazos e segurança estrutural, esta tela foi dedicada para trazer e compilar as informações de projeto, planejamento e execução do serviço, bem como as taxas de produtividade real e planejada.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

No gráfico central, está representado um comparativo entre quantidade prevista e realizada, em metros, dos tratamentos por tipo. Nos cartões abaixo, estão comparadas as taxas de produtividade real e planejada.

São usados segmentadores específicos nesta página para separação das informações por Tipo de Tratamento e por Posição, além dos segmentadores padrão de Unidade Construtiva, Orientação do Túnel, Estrutura e Seção.

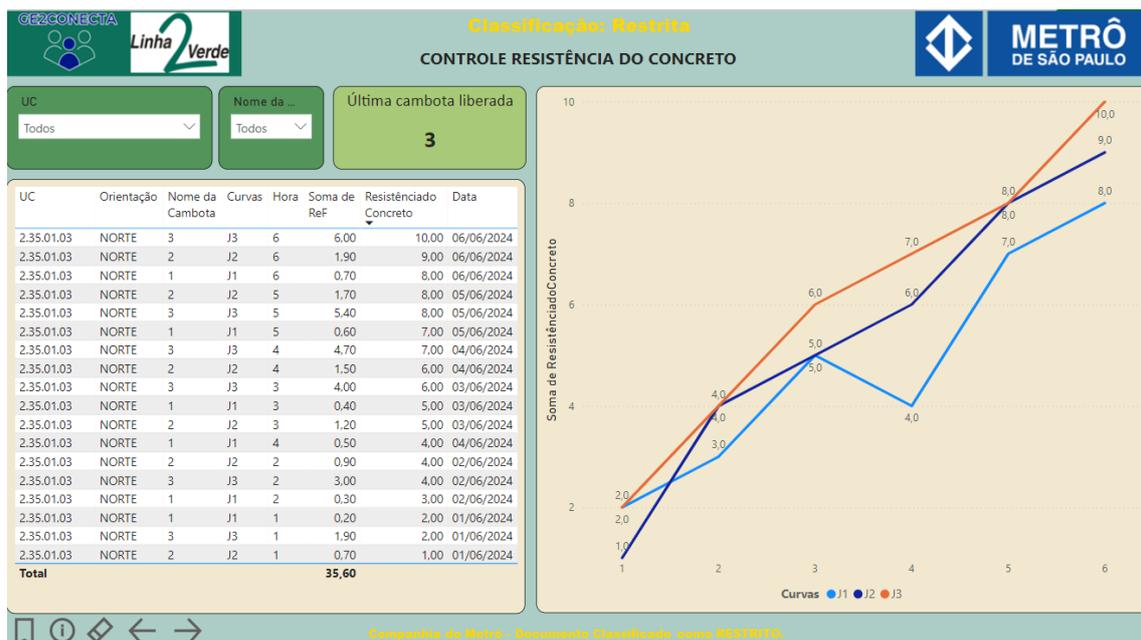
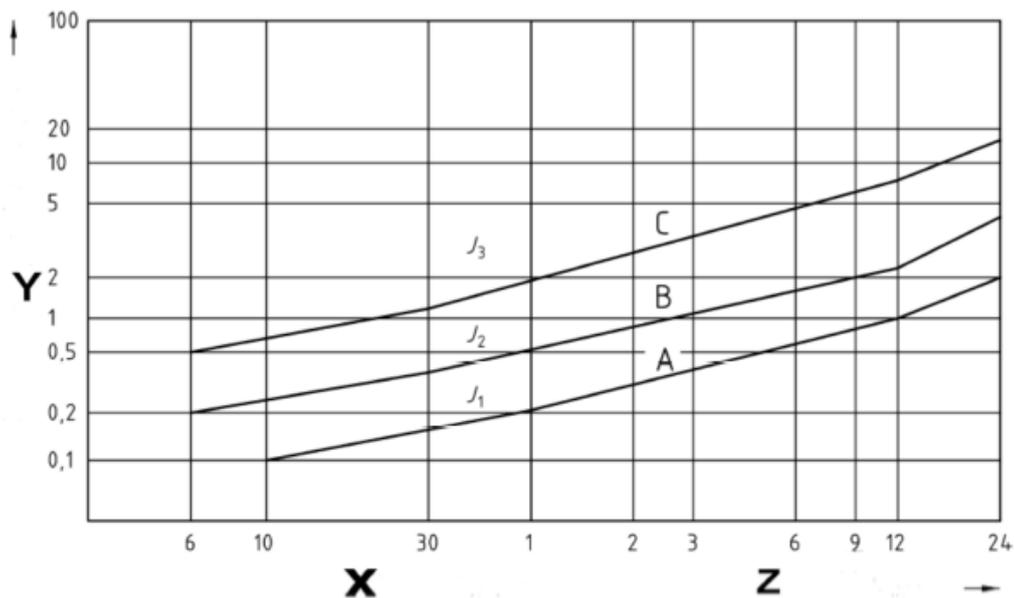


Figura 26 – 8ª tela: Resistência do concreto projetado.

Através da representação gráfica dentro dos parâmetros de norma *European Standard EN 14487-1 - Sprayed concrete – Part 1: Definitions, specifications and conformity* [9], usando os valores das curvas J1, J2 e J3 para especificar os parâmetros e limites de resistência do concreto projetado nas primeiras 24 horas, no gráfico a seguir ficam

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

representadas as resistências obtidas nas primeiras horas do concreto bem como a possibilidade de avanço pelo atingimento das resistências necessárias.



Legenda:
Y : Resistência à compressão f_c em N/mm^2
X : Minutos
Z : Horas

Da mesma maneira, fica indicado quando tal avanço não poderá ocorrer, por qualquer restrição de resistência, sendo passível de registro de não Conformidade ou, em determinados casos, de ação complementar para reforço.

Para a segmentação desta página, os dados podem ser filtrados por Unidade Construtiva e Número da Cambota de Avanço.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

GE2CONNECTA **Linha 2 Verde** **Classificação: Restrita** **INFORMAÇÕES** **METRÔ DE SÃO PAULO**

Este relatório em Power BI faz parte da solução de Acompanhamento e Fiscalização de Túneis em NATM desenvolvida pelo Grupo Focal GE2 - Conecta. O objetivo é propor um novo padrão para controle de atividades essenciais relacionadas ao avanço das Estruturas e dos Serviços que compõe os Túneis em NATM, bem como organizar as informações de Projeto, Planejamento e Execução de Obras numa mesma plataforma.

Através de dados organizados no Sharepoint, os visuais são criados e podem ser modificados de acordo com as necessidades dos usuários, através dos contextos de filtros e segmentadores. Neste aspecto é importante ressaltar que para obter os valores representados graficamente nas telas, é necessário o preenchimento correto dos filtros, em geral, indicando U.C., Orientação do Túnel, Seção, Tipo de Rebaixamento, Turno, entre outros.

Deste modo, qualquer filtro não preenchido gera valores somados. Fato que pode ocasionar equívocos na tomada de decisão, bem como outros inconvenientes para a gestão.

A atualização deste relatório está pré-programada para ocorrer diariamente às 13 e às 20 horas, de acordo com as fontes de dados conectadas. Sendo assim, o registro e atualização dos avanços passa a depender da atualização das fontes de dados pelos responsáveis. A ausência de atualizações gera descompasso da informação e pode implicar em equívocos na tomada de decisão, bem como outros inconvenientes para a gestão.

Para o correto preenchimento das fontes de dados, serão apresentadas orientações e treinamentos com cada responsável de modo a dirimir eventuais desencontros. Numa próxima fase, está prevista a automação da aquisição de dados, bem como a implementação de um aplicativo para inserção de informações em tempo real.

Na disponibilização deste relatório para a sua Unidade Construtiva, mantenha-se atualizado com os membros do Grupo Focal GE2 - Conecta.

Companhia do Metrô - Documento Classificado como RESTRITO.

Figura 27 - 9ª tela: - Informações aos usuários.

Considerando que grande parte dos usuários dos sistemas ainda não possui familiaridade com controle em Power BI ou com a metodologia adotada, o grupo que desenvolveu o sistema entendeu necessário criar uma página orientativa com os primeiros passos e principais pontos de dúvida na utilização do sistema. Destacando especialmente a necessidade de segmentação dos dados, popularmente conhecidos como “filtros”, para evitar quaisquer equívocos no entendimento dos dados.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CONCLUSÕES

O NATM é um método de escavação sequencial que se adapta as condições geológicas do local e utiliza o próprio solo como suporte temporário, complementado por suportes secundários como concreto projetado, chumbadores e arcos metálicos. A sua fiscalização é fundamental para garantir a segurança, a durabilidade e a eficácia da estrutura.

O desenvolvimento de um aplicativo que abrange os processos de fiscalização permite maior eficácia e uma tomada de decisão mais assertiva. Com o aplicativo NATM, foi possível a reduzir os erros relacionados a quantidade, controle de atrasos, acompanhamento dos índices de produtividade por serviços e antecipação de problemas. Além disso, com os dados armazenados, cria-se um repositório que pode ser utilizado para futuros projetos.

O desenvolvimento do aplicativo também proporcionou o questionamento dos processos de fiscalização e como poderia haver melhorias, destaca-se a oportunidade de difundir informações entre os envolvidos e centralizar todas as informações em um único local e não em uma só pessoa. No entanto, para isso será necessário a mudança cultural de todos envolvidos.

Assim como qualquer mudança, a adoção deste sistema em larga escala depende do convencimento das diversas partes que compõe a fiscalização de obra.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Como é parte das premissas o desenvolvimento dos projetos com melhorias contínuas, com a entrada de novos membros no grupo e expansão da base de dados, novas ideias e visuais poderão surgir.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] *Alun Thomas (2019). Sprayed Concrete Lined Tunnels – 2nd ed. Abingdon, UK: Taylor & Francis.*
- [2] *Levent Özdemir (2006). North American Tunneling. Abingdon, UK: Taylor & Francis.*
- [3] *Sauer, G. E., & Eisenstein, Z. (2006). The NATM - The Austrian Tunnelling Method. Trans Tech Publications.*
- [4] *Bieniawski, Z. T. (1984). Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling. A.A. Balkema.*
- [5] *Jäger, W., & Galler, R. (2017). Innovative NATM tunneling. Springer.*
- [6] *Turban, E., Sharda, R., Delen, D., & King, D. (2011). Business Intelligence: A Managerial Approach. Pearson Education.*
- [7] Microsoft Learn, 2024. O que é o sharepoint?. Disponível em: <https://support.microsoft.com/pt-br/office/o-que-%C3%A9-o-sharepoint-97b915e6-651b-43b2-827d-fb25777f446f#:~:text=As%20organiza%C3%A7%C3%B5es%20usam%20o%20Microsoft,Internet%20Explorer%2C%20Chrome%20ou%20Firefox>. Disponível em 22 maio.2024.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

[8] Microsoft Learn, 2024. O que é o serviço do Power BI?. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/pt-br/power-bi/fundamentals/power-bi-service-overview>. Disponível em 14 abr.2024.

[9] Norma European Standard. EN 14487-1 2023: Sprayed concrete – Part 1: Definitions, specifications and conformity.