

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

**Categoria 2**

**Engenharia de túneis – uma experiência de gestão do conhecimento.**

**AUTORES**

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

**INTRODUÇÃO**

Existe uma condição sempre presente nos empreendimentos metroviários: a forte relação entre o sistema de transporte urbano e a ocupação do espaço subterrâneo da cidade. A implantação de uma linha metroviária está muitas vezes associada a escavações subterrâneas, que impactam e são impactadas pelas edificações lindeiras e pelas redes de utilidade pública<sup>1</sup> situadas em seu entorno. A complexidade das obras subterrâneas executadas em áreas urbanas exige uma refinada engenharia, seja pelos desafios técnicos a serem enfrentados ou pela repercussão gerada quando da ocorrência de incidentes. Daí a necessidade de preparação do corpo técnico para atuar na elaboração de

---

<sup>1</sup> Infraestrutura de água, esgoto e comunicações.

## 4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

projetos e na construção de obras subterrâneas, em face de sua influência no meio urbano.

### MOTIVAÇÃO

Com a finalização do projeto básico e a contratação das obras do trecho Vila Prudente – Dutra, em 2014, a recém-formada equipe de engenharia da Gerência de Empreendimentos da Linha 2 – Verde demonstrou preocupação com as futuras demandas relacionadas ao projeto executivo e ao acompanhamento de aproximadamente 15 quilômetros de túneis de variadas dimensões, mecanizados e convencionais, nos mais variados materiais, desde rochas duras até solos moles.

Havia, portanto, uma enorme demanda para qualificação dos profissionais responsáveis pela elaboração do projeto executivo e pela fiscalização das atividades relacionadas à implantação civil num tema específico: engenharia de túneis. Porém, a crise econômica revelou a indisponibilidade de recursos para realização de treinamentos em grande escala para todos os profissionais envolvidos. O mercado, por sua vez, não oferece alternativas de capacitação nesta área do conhecimento: os cursos disponíveis são esporádicos, extensos,

#### 4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

incompletos e inadequados à realidade das condições técnicas e comerciais dos contratos firmados pela Companhia do Metropolitano de São Paulo.

Problemas complexos exigem soluções simples associadas a uma visão sistêmica. Uma experiência anterior de capacitação em Engenharia de Túneis, realizada por meio de convênio de cooperação entre a Universidade Corporativa – Unimetro e a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, em 2007, revelou o grande interesse dos profissionais metroviários pelo tema.

Ministrados por professores – mestres e doutores – com notório conhecimento, o Curso de Engenharia de Túneis da POLI/PECE era direcionado aos engenheiros de projeto e construção civil, iniciando um ciclo de reflexões e troca de informações. A continuidade do desenvolvimento dos conhecimentos relacionados a este tema por meio de apresentações de palestras de profissionais da empresa e do mercado no Programa de Inteligência Corporativa – PIC, promovido pela Universidade Corporativa. Contudo, a reedição do programa no mesmo modelo mostrou-se inviável pelo elevado investimento e pelo tempo necessário à revisão do conteúdo para adequá-lo à nova realidade do Metrô de São Paulo.

Considerando a reconhecida experiência obtida desde a implantação das primeiras linhas, o corpo técnico do Metrô de São Paulo propôs-se a preparar o

#### 4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

curso de engenharia de túneis ajustado o conteúdo do às demandas imediatas utilizando apenas os recursos internos.

O Programa de Desenvolvimento Profissional com foco na Engenharia de Túneis teve como objetivo promover a reciclagem e atualização profissional de engenheiros, arquitetos, geólogos e tecnólogos que atuam nas áreas de planejamento, projeto e implantação de empreendimentos de metrô. A capacitação dos profissionais deveria incluir disciplinas específicas de geologia, mecânica dos solos e das rochas, estruturas de concreto e condicionamento de maciços, aspectos que condicionam a opção por túneis convencionais ou mecanizados, possibilitando conhecer e simular a implantação de escavações subterrâneas em diferentes contextos, bem como tratar os riscos associados a este tipo de construção. Ao longo do curso abordou-se, além dos aspectos construtivos dos túneis, poços e valas, a interação entre maciços e estruturas, o condicionamento e a instrumentação de maciços e estruturas, a utilização de concreto moldado e projetado e a impermeabilização de estruturas. Foram enfatizadas as interferências com estruturas urbanas e a gestão de riscos em obras subterrâneas, conforme Tabela 1.

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Tabela 1- Programa do Curso Engenharias de Túneis

Palestra	Tema
1	A geologia e sua importância na geotecnia
2	Investigações geotécnicas e noções de classificação geomecânica
3	Túneis Convencionais
4	Túneis Mecanizados
5	Túneis mecanizados - Aspectos construtivos sob a ótica da obra
6	Túneis em Solo
7	Túneis em Rocha
8	Aspectos Construtivos de Túneis, Poços e Valas sob a ótica da obra
9	Interação maciço-estrutura
10	Visita Técnicas a TBM
11	Instrumentação de maciços e estruturas
12	Condicionamento de maciços
13	Serviços geotécnicos em obras Subterrâneas - Rebaixamento
14	Concreto projetado - tecnologia, controle e execução
15	Concreto Moldado – tecnologia, controle e execução na frente de obra
16	Impermeabilização de Estruturas Subterrâneas - tecnologia, controle e execução
17	Valas, Poços e Emboques
18	Interferências com a infraestrutura urbana. Aspectos de projeto e casos reais sob a ótica da obra
19	Gerenciamento de riscos em empreendimentos subterrâneos
20	Palestra Magna: Peculiaridades e Desafios da Engenharia de Túneis Urbanos

#### 4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

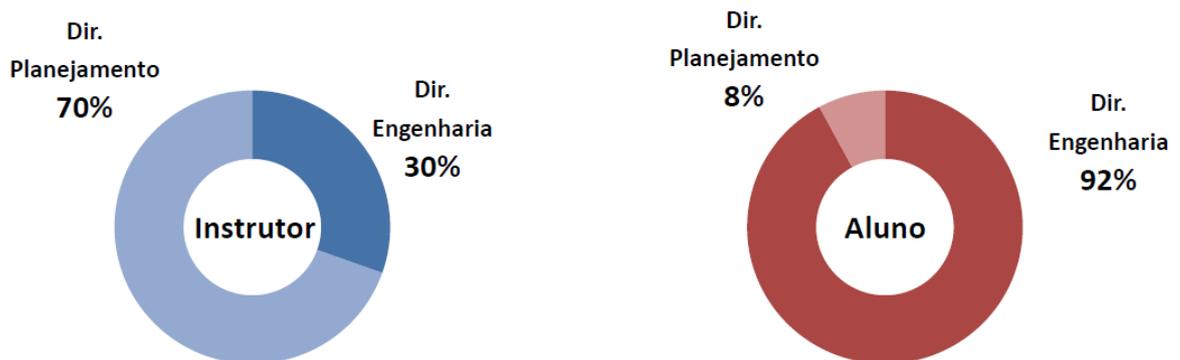
A proposta foi discutida e amadurecida junto aos especialistas. O curso começou a ser formatado em meados de 2015, momento em que foram definidos os temas das 20 palestras, elaboradas as ementas, identificados os profissionais metroviários com elevada proficiência ou experiência nos diferentes temas que, posteriormente, seriam convidados a elaborar os conteúdos e ministrar as palestras. Foi então elaborada uma ementa do Curso, ajustando os conteúdos para abranger todos os temas e subtemas, evitando repetições e possibilitando aos palestrantes estabelecer referências entre as diferentes palestras. Contando com a experiência da Unimetro na coordenação e detalhamento da tarefa, esses profissionais foram preparados para transmitir o conhecimento para as equipes de projeto civil e de fiscalização das obras.

Enquanto os conteúdos eram detalhados, a Unimetro fez uma prospecção do público-alvo junto às Gerências de Empreendimento, o que totalizou uma demanda de mais de 150 profissionais. Face ao elevado número de potenciais participantes, foi solicitada a priorização da indicação dos profissionais, preferencialmente novos profissionais das áreas de projeto e implantação de empreendimentos de expansão, em reconhecimento ao seu desempenho profissional. A participação nesta primeira turma foi limitada a 61 profissionais, dos quais 23 palestrantes e 38 alunos. Este recurso tinha por objetivo

**4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

possibilitar que os palestrantes pudessem alinhar os respectivos conteúdos a partir do acompanhamento das palestras ministradas pelos colegas.

Análise estatística realizada sobre os participantes da primeira turma do curso Engenharia de Túneis indicou que os palestrantes tiveram origem, em sua maioria, na área de Planejamento (70%). Do total de 38 vagas de alunos, 92% foram destinadas prioritariamente às Gerências de Empreendimentos, conforme apresentado na Figura 1.



**Figura 1 - Áreas de origem dos instrutores e alunos**

Esse mesmo levantamento identificou a origem dos participantes em relação à estrutura de carreiras da empresa. Dentre os palestrantes, 61% pertencem à carreira Universitária e 26% à carreira de liderança (gestão), enquanto que a carreira técnica e assessoria somadas totalizam 13%. Em relação aos alunos, 84% pertencem à carreira Universitária e 3% à carreira de liderança (gestão),

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

enquanto que as carreiras técnica e assessoria somadas totalizam 14%, conforme apresentado na Figura 2.

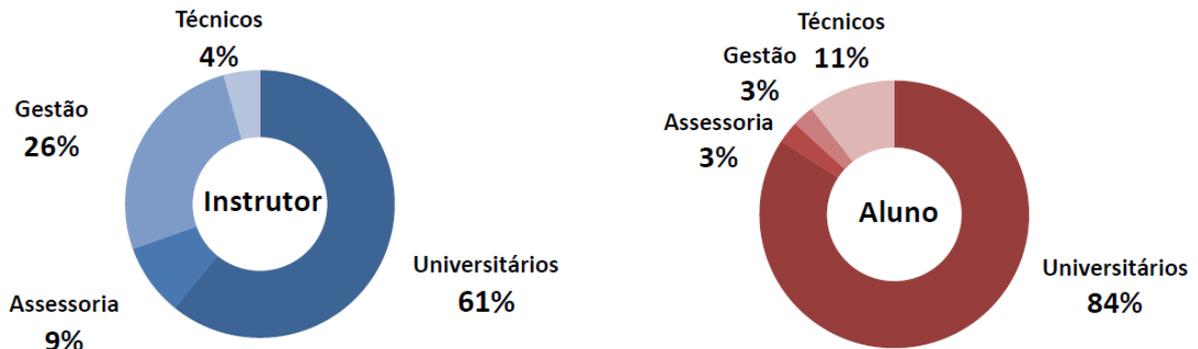


Figura 2 - Carreira dos palestrantes e alunos

Por fim, o levantamento identificou a experiência dos participantes – palestrantes e alunos – considerando a data de admissão no Metrô. Nesse sentido, observa-se, entre os alunos, a concentração de jovens profissionais, conforme apresentado na Figura 3.

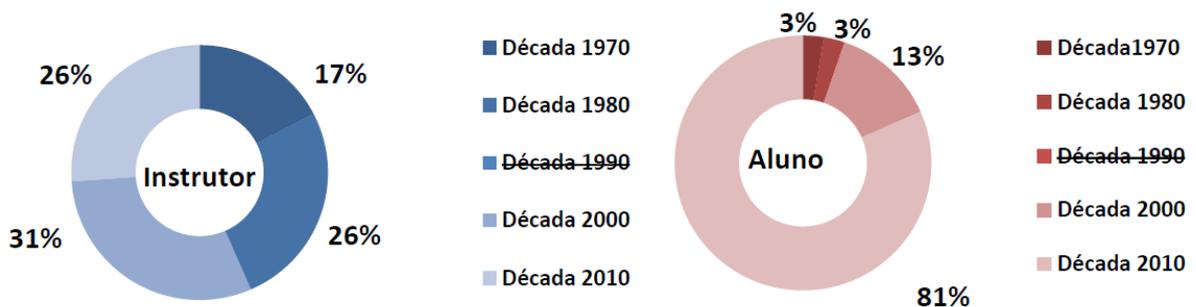


Figura 3 - Distribuição dos instrutores e alunos, por gênero

#### 4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

O Curso teve início em Fev/2016 e foi encerrado em Jun/2016. O programa foi ministrado por meio de ciclo de palestras visando o compartilhamento dos conhecimentos e experiências vividas ao longo dos 48 anos de história. A aula magna foi ministrada pelo Prof. Dr. André Pacheco de Assis, da Universidade de Brasília.



**Figura 4 - Aula Magna do Prof. Dr. André Pacheco de Assis**

A preparação das palestras contou com a dedicação do coordenador do curso juntamente com cada um dos palestrantes, visando integrar os diferentes temas e conteúdos do programa. A experiência de preparação do conteúdo, em conjunto com os palestrantes, possibilitou aprofundar o conhecimento dos profissionais nas áreas especializadas e a revisar e sistematizar os conceitos e as práticas de cada área.

#### 4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

As aulas teóricas presenciais eram precedidas de um artigo para leitura prévia, complementadas com textos, vídeos, artigos e exercícios de fixação para avaliação da compreensão dos temas abordados durante as palestras. As palestras foram filmadas e todos os conteúdos foram gradativamente disponibilizados na plataforma virtual Moodle, acessível a todos os participantes, conforme apresentado na Figura 5. Esse recurso possibilitou a disseminação do conhecimento para aqueles que, eventualmente, não puderam comparecer aos encontros presenciais. Durante a realização do curso a troca de informações e dados entre os alunos e os instrutores ocorreu com naturalidade e entusiasmo, além da valorização do trabalho de cada profissional da área.

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

The screenshot shows a Moodle course page with the following sections:

- Meus Cursos**: Home, Portal Unimetro, Estação Conhecimento
- Aula 2 - Investigações geotécnicas e noções de classificação geomecânica**
- Leitura Prévia**:
  - Texto - Avaliação da qualidade das sondagens geotécnicas à percussão nos projetos metroviários 1.7Mb Documento PDF
  - Investigações de campo 1.5Mb Documento PDF
- Materiais de Aula**:
  - Aula 2 - Investigações geológicas-geotécnicas para obras de Metrô - parte 1 14Mb Documento PDF
  - Aula 2 - Investigações geológicas-geotécnicas para obras de Metrô - Parte 2 18.8Mb Documento PDF
- Atividade**:
  - Exercício Prático - Aula 2 - Investigações geotécnicas e noções de classificação geomecânica
- Vídeos**:
  - Vídeos da Aula 2 - Investigações geotécnicas e noções de classificação geomecânica
- Saiba mais...**:
  - Diretrizes para Investigações de Campo em Projetos de Túneis 1.5Mb Documento PDF
  - Planning and site Investigation in tunnelling 1.9Mb Documento PDF
  - Aplicação do televisoramento óptico na análise de estabilidade das paredes da vala da Estação Largo do Taboão - Linha 4 Amarela Fase 3 Metrô SP 341Kb Documento PDF
  - Perspectivas de Aplicação do ensaio sísmico "Cross hole" 996.8Kb Documento PDF

On the right sidebar, there is a navigation menu with links to Aula 18, Aula 19, Aula 20, and Meus cursos. Below it is a **CALENDÁRIO** for March 2016, showing dates 1 through 31. Further down is a **CHAVE DE EVENTOS** section with icons for global events, course events, group events, and user events. At the bottom of the sidebar is the **ÚLTIMAS NOTÍCIAS** section, which includes a link to 'Acrescentar um novo tópico...' and two news items: 'videos Aula 2' (26 Feb, 14:09) and 'Videos da Aula 1' (22 Feb, 15:54). At the very bottom of the sidebar is the **PRÓXIMOS EVENTOS** section.

Figura 5 – Utilização da Plataforma Virtual Moodle.

O material produzido ao longo das 20 palestras resultou em uma quantidade expressiva de material didático de cada um dos temas, apresentados e disponibilizados aos participantes. A Tabela 2 apresenta um resumo em números do Curso de Engenharia de Túneis.

**4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

**Tabela 2- Números gerais do Curso de Engenharia de Túneis.**

<b>aulas teóricas</b>	<b>67 h</b>
<b>visita técnica</b>	<b>3 h</b>
<b>aula magna</b>	<b>2 h</b>
<b>slides das aulas teóricas</b>	<b>4002 (média 222/ palestra)</b>
<b>artigos pra leitura prévia</b>	<b>25 textos/artigos</b>
<b>material complementar – “saiba mais”</b>	<b>71 textos/artigos + 7 vídeos</b>
<b>exercícios complementares</b>	<b>25</b>
<b>palestrantes</b>	<b>23</b>
<b>alunos</b>	<b>38</b>

Apesar da elevada carga teórica e da utilização de recursos expositivos por meio de palestras e encontros presenciais, apresentado na Figura 6, houve uma preocupação em trazer, seja para o ambiente de sala de aula, recursos que pudessem auxiliar a compreensão dos temas abordados. Nesse sentido, a Figura 7 apresenta uma das aulas práticas de análise de amostras de solo.

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 6 - Vista geral dos participantes em aula expositiva.



Figura 7 - Aulas práticas de análise de amostras de solo

#### 4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Uma visita técnica à tuneladora da Linha 5-Lilás proporcionou maior entendimento sobre o funcionamento deste equipamento, conforme apresentado na Figura 8.



**Figura 8 - Vista técnica à tuneladora da Linha 5 - Lilás.**

#### **ANÁLISE DOS RESULTADOS**

A cada encontro, além do registro da presença, foram avaliados o conteúdo, o material e os recursos didáticos utilizados, a adequação da carga horária e da infraestrutura do local das aulas. Paralelamente, foram acompanhados o nível de aproveitamento dos alunos e o desempenho dos instrutores. A figura 9 apresenta uma planilha resumo da avaliação realizada.

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

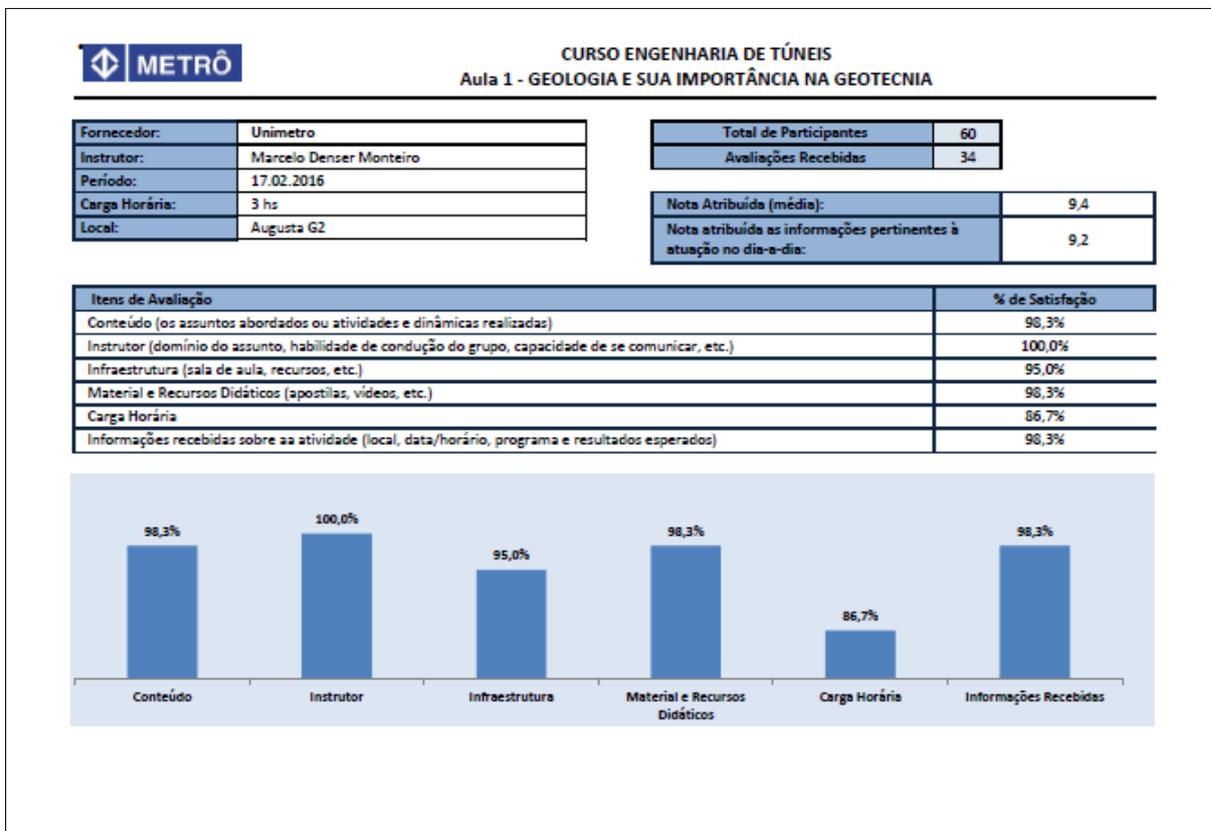


Figura 9 - Planilha de Avaliação

A motivação para a repetição desta experiência em outras áreas do conhecimento necessárias ao desenvolvimento dos empregados foi valorizada nos depoimentos dos participantes, transcritos a seguir:

*“Excelente e enriquecedora iniciativa da Companhia: demonstra interesse de compartilhamento de conhecimento entre todos os colaboradores. Importantíssima troca de conhecimento entre execução e projeto. O conhecimento passado nesse treinamento*

#### 4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

*auxilia muito na comunicação com equipe de projeto, no acompanhamento do projeto e planejamento.”*

*“Palestrantes seguros, com domínio pleno de conteúdo... Sabem usar vários exemplos práticos! Transmitem o conhecimento com muita paixão, gerando em todos nós a curiosidade.”*

*“Assunto importantíssimo, de conhecimento obrigatório para o exercício de minhas funções na obra. Conteúdo complexo e extenso tratado de forma clara e objetiva. O curso ajuda a compreender como atuar na solução de problemas. Sabemos da importância da teoria... Porém, é bastante interessante quando há uma ligação com a parte prática. Palestras dosam as questões teóricas e práticas. Aula extremamente prática e muito didática.”*

*“Material de aula bem preparado, bons exemplos gráficos. Material prévio excelente, disponibilizado antes das aulas. Assunto bastante técnico e com grande profundidade, mas necessário para o domínio do tema.”*

#### 4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

O elevado grau de satisfação dos alunos pode ser observado no e-mail recebido em um dos alunos, transcrito a seguir:

*“Senhores, gostaria de informar a todos que a escavação do túnel do acesso secundário Pinheiro da Estação Borba Gato foi finalizado. Gostaria de agradecer e parabenizar a participação de todos os envolvidos nesse processo. O resultado final foi muito positivo, tanto no âmbito técnico e financeiro, como na questão de relacionamento entre áreas distintas da Companhia, e também para o engrandecimento profissional de todos os envolvidos. Tivemos a oportunidade de aplicar o conhecimento adquirido durante o curso de túneis de forma prática. Sabemos que a metodologia aplicada foi uma exceção dentro da Companhia, espero que essa metodologia se torne padrão para as demais frentes de obra. Em nome da fiscalização do departamento, nosso muito obrigado!”*

#### CONCLUSÕES

A experiência de realização de um curso interno de engenharia de túneis resultou muito positiva para todas as áreas envolvidas. Ao longo de todo o processo pode ser constatado que houve valorização e reconhecimento da

#### 4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

expertise interna, priorizando a identificação e indicação de profissionais para elaborar os conteúdos e ministrar as palestras, proporcionando a atualização e reciclagem de profissionais com experiência em engenharia de túneis, o compartilhamento de conhecimentos entre esses profissionais, especialistas em suas áreas de atuação, e a introdução do conhecimento para novos profissionais. O entrosamento entre os palestrantes – antes, durante e após o curso – traz consigo a melhoria do clima organizacional e a disponibilidade para atuação conjunta na solução dos desafios que possam vir a ser apresentados. Como ganhos indiretos, pode ser observada a integração entre diferentes gerações – profissionais experientes e iniciantes – e a integração entre áreas – de projeto e de obra, de planejamento e de engenharia. Destaca-se ainda o compartilhamento de conhecimento e a troca de experiências entre as equipes de projeto e implantação de empreendimentos e os ganhos advindos da interação entre os profissionais, ajudando os participantes a atuar na solução de problemas cotidianos. Apesar da complexidade do tema, o conteúdo foi tratado de forma clara e objetiva, com apresentação de casos de sucesso e de lições aprendidas, trazendo para discussão os problemas vivenciados pelas equipes, evitando-os nos próximos empreendimentos.

#### 4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Para a empresa, há de se registrar ainda a economia decorrente do uso dos recursos internos – profissionais e instalações, uma vez que o custo foi limitado ao h/h dos palestrantes, apresentados na Figura 12– seja para preparar ou para ministrar a palestra.



**Figura 1 – Palestrantes do curso com o Prof. Dr. André Pacheco de Assis**

Sob a ótica da gestão do conhecimento, destaca-se a oportunidade de registrar e sistematizar o conteúdo relacionado ao tema Engenharia de Túneis, considerado um conhecimento crítico da organização. Os próximos passos incluem a revisão de todo o conteúdo e a produção de vídeo-aulas que possam ser disponibilizadas para os demais profissionais da empresa.

**4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ASSIS, A. P. Projetos de túneis: Considerações finais. Seminário Internacional South American Tunneling – SAT 2012, no **3º CBT Congresso Brasileiro de túneis**, São Paulo: 2012.

CELESTINO, T.B., KOSHIMA, A., TELLES, R.C.D., ASSIS, A. **Túneis do Brasil**. CBT, 2006. Túneis metroferroviários: Rocha, H.C. e Hori, K.- CBT ABMS DBA: 2006, p. 112-185.

NEGRO, A.; et al. **Túneis em Solos da cidade de São Paulo** – ABMS: 1992.

LEITE, R. L. L. **O Impacto das escavações profundas e contenções na vizinhança de obras urbanas**. Gerência de Concepção de Projetos. Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô. São Paulo: 2006.

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO - METRÔ. **Guia de gestão de empreendimentos de expansão**. São Paulo: 2013.

FERREIRA, A. A.; SANTOS, I. L. P. Como Implantar Projetos Metroferroviários.

**18ª Semana de Tecnologia Metroferroviária** - AEAMESP. São Paulo: 2012.