



AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE NO PROCESSO CONSTRUTIVO DE ESCAVAÇÃO DE TÚNEIS MINEIROS (NATM) PARA METRÔS

Ricardo C. Dornelas (1); Ubiraci E. L. de Souza (2)

- (1) Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, Brasil – e-mail: ricardo.dornelas@poli.usp.br
(2) Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, Brasil – e-mail: ubiraci.souza@poli.usp.br

RESUMO

Proposta: A construção de metrôs tem se mostrado bastante interessante como caminho para melhorar o transporte urbano em cidades de grande porte. Tal solução, no entanto, envolve grandes investimentos e, portanto, deve ser bem estudada para que os recursos sejam bem utilizados. Dentro deste contexto, o entendimento da produtividade no uso dos equipamentos de escavação mostra-se bastante importante, no entanto, poucos são os trabalhos científicos encontrados versando sobre este tema. Segundo este cenário, este trabalho é feito com o objetivo de realizar uma avaliação da produtividade da mão-de-obra e dos equipamentos empregados no processo construtivo NATM - Túneis mineiros, procurando estabelecer seus valores e os fatores que a faz variar. **Método de pesquisa/Abordagens:** Tal estudo, de caráter exploratório, foi realizado tendo por caso estudado, um trecho da construção do metrô da cidade de São Paulo em 2007. **Resultados:** Os resultados apresentados ilustram a importância da utilização dos indicadores como subsídio na tomada de decisões. **Contribuições/Originalidade:** acredita-se que se tenha trazido elementos para que sejam realizadas discussões e pesquisas mais aprofundadas sobre o tema abordado.

Palavras-chave: produtividade; eficiência da mão-de-obra; eficiência de equipamentos, NATM.

ABSTRACT

Proposal: The subway construction has been quite interesting to improve the urban transport in big cities. This solution, however, involves great investments and, therefore, must be well studied. Inside this context, the understanding of the productivity in the execution of tunnels, shows itself very important, however, there are very few scientific studies about it. This work realizes an evaluation of the productivity of labour and equipments used in the the N.A.T.M. (New Austrian Tunnelling Method) excavation method, in order to establish productivity values and the factors that makes it vary. **Methods:** The exploratory character study was performed, taking by studied case, the construction of São Paulo's subway in 2007. **Findings:** The research indicates the importance of the use of indicators to allowance better decision. **Originality/value:** It is believed that has brought elements to be held more discussions and research about NATM productivity.

Keywords: productivity; labour efficiency; equipment efficiency, NATM.

1 INTRODUÇÃO

Em consequência do processo de crescimento da população no Brasil, algumas cidades brasileiras se deparam com sérios problemas relacionados ao espaço e à deficiência do transporte urbano público.

A ocupação do espaço subterrâneo é uma das alternativas, nas grandes cidades, que visa contornar, entre outros, dois grandes problemas: a falta de espaço e a deterioração do meio ambiente em superfície. A “Era Ambiental” do uso do subterrâneo baseia-se na máxima utilização possível desse espaço para fins de infra-estrutura, liberando a superfície para finalidades mais nobres, tais como moradia, trabalho, lazer e entretenimento.

Segundo CBT (2007), a maioria destes problemas pode ser resolvida apropriadamente com a utilização do espaço subterrâneo, fruto de um planejamento adequado quanto à sua ocupação.

Como maneira de obter uma perspectiva mais ampla e possibilitar uma melhor compreensão, o planejamento estratégico do espaço subterrâneo tem sido uma ferramenta indispensável no processo de tomada de decisão da ocupação do solo. De acordo com Nordmark (2000), em alguns países, este planejamento é compulsório; em outros, é feito pelos agentes envolvidos da cadeia produtiva. Em alguns países existe um planejamento estratégico geral, com todas as ações detalhadas e, em outros, o mesmo não acontece. O planejamento estratégico do espaço subterrâneo permite alcançar os seguintes resultados: o estabelecimento de visões e objetivos para o desenvolvimento ou a conservação de determinadas áreas da superfície; a previsão dos diferentes clientes, e as suas respectivas demandas, quanto ao uso da ocupação do solo em ambientes urbanos; nas licitações, a participação do governo federal e dos organismos financiadores. Desenvolver o planejamento estratégico para o uso do espaço subterrâneo não tem sido comum em diversos países, inclusive no Brasil, o que implica na falta de informações e de dados sobre esta prática e a necessidade do desenvolvimento de novas pesquisas de gestão que subsidiem o seu desenvolvimento.

Neste sentido, Assis (2006) (ex-presidente da ITA - Associação Internacional de Túneis), sugere que, para que haja uma melhoria técnica e a internacionalização do setor tunelero brasileiro, é necessário que os profissionais e pesquisadores brasileiros participem com mais freqüência dos congressos internacionais e que se comece a publicar o que é realizado pelas empresas aqui ou no exterior.

Inserido neste cenário, se encontra o estudo dos processos de escavação de túneis de metrô. Cuja dependência se relaciona com fatores como, por exemplo: a situação do local; as características do solo; tipo de escavação; e métodos da sustentação da cavidade utilizados.

Os equipamentos representam um dos importantes recursos físicos utilizados no processo de escavação de túneis. Os equipamentos participam do processo de transformação que, a partir dos materiais disponíveis, e com a participação da mão-de-obra, gera o serviço final.

A medição da produtividade pode ser um instrumento importante para a gestão dos equipamentos e da mão-de-obra, podendo subsidiar políticas para redução de custos e aumento da motivação no trabalho, (SOUZA, 2000).

Dentro deste contexto, este trabalho é feito com o objetivo de realizar uma avaliação da produtividade da mão-de-obra e dos equipamentos empregados no processo construtivo NATM - Túneis mineiros, procurando estabelecer seus valores e os fatores que os fazem variar.

Tal estudo, de caráter exploratório, foi realizado tendo por caso estudado um trecho da construção da Linha-4 Amarela, do metrô da cidade de São Paulo.

2 CONCEITOS DE PRODUTIVIDADE

2.1 Produtividade da mão-de-obra

Em face da importância do estudo da produtividade da mão-de-obra, há que se discutir como proceder à avaliação da mesma. Souza (2000, 2006) recomenda que, para se conseguir discutir produtividade, de uma maneira proveitosa, é necessário definir uma linguagem padronizada para o assunto.

Do ponto de vista físico, a produtividade da mão-de-obra poderia ser definida (ver Figura 1) como a eficiência (e, na medida do possível, a eficácia) na transformação do esforço dos trabalhadores em produtos de construção (a obra ou suas partes).



Figura 1 – Produtividade da mão-de-obra

Fonte: Souza (2006)

Aceita a definição de produtividade ilustrada na Figura 1, adota-se aqui o indicador denominado razão unitária de produção (RUP) como mensurador da produtividade, relacionando o esforço humano, avaliado em Homens x hora (Hh), com a quantidade de serviço realizado (eq.1):

$$RUP = \frac{Hh}{\text{Quantidade de serviço}} \quad (\text{eq.1})$$

Ressalta-se que, por definição, um valor alto de RUP indica produtividade pior que um valor baixo.

2.2 RUP potencial (RUP_{pot}) e RUP periódica (RUP_{per})

Souza (2000, 2006), definiu diferentes períodos de tempo aos quais se associarão as mensurações das RUP e, portanto, das entradas (H e h) e saídas (QS):

- a) o dia de trabalho, quando, a cada dia útil de serviço, medem-se entradas e saídas, calculando-se a RUP que, nesse caso, será denominada RUP diária (RUPd); quando a medição é feita por períodos, como, por exemplo, a cada cinco dias, ou a cada semana, o indicador será denominado a RUP periódica (RUPper);
- b) um período acumulado, quando as quantidades de entradas e saídas são aquelas acumuladas desde o primeiro dia do estudo até a data de sua avaliação; neste caso, tem-se a RUP cumulativa (RUPcum);
- c) RUP potencial (RUPpot) seria um valor da RUP diária (RUPd) associado à sensação de bom desempenho e que, ao mesmo tempo, mostra-se factível em função dos valores de RUPd detectados. Matematicamente a RUPpot é calculada como o valor da mediana das RUPd inferiores ao valor da RUPcum ao final do período de estudo

2.3 Produtividade de equipamentos

Sendo o foco deste estudo a produtividade no processo construtivo de escavação de túneis mineiros (NATM) para metrôs, a preocupação recai sobre os equipamentos e a mão-de-obra que os opera.

Aplicando os conceitos apresentados na seção 2.1, a razão unitária de produção (RUP) relaciona-se com as horas demandadas do equipamento (disponível ou trabalhando), avaliado em Equipamento x hora (Eqh), com a quantidade de serviço realizado, conforme apresentado na eq.2.

$$RUP = \frac{Eqh}{\text{Quantidade de serviço}} \quad (\text{eq.2})$$

Estabelecendo critérios para se medir a RUP para os equipamentos, no que se refere às entradas, o cálculo do número de equipamentos-hora demandados é, genericamente, fruto do período de tempo dos equipamentos disponíveis ou trabalhando no serviço. As saídas podem ser consideradas de maneira bruta ou líquida. No que diz respeito ao período de estudo, pode-se estar lidando com a produtividade detectada para um determinado dia, assim como seu valor pode representar um estudo de longa duração.

3 DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Para atingir o objetivo deste trabalho, definiu-se, como estudo de caso, uma obra em execução do Metrô de SP, com dados relativos ao segundo semestre de 2007.

Em relação à produtividade, foram avaliados a Razão Unitária de Produção (RUP) e os seus fatores influenciadores, para o serviço de escavação do corpo da estação – rebaixo do núcleo (em solo), demandantes de mão-de-obra e equipamentos.

3.1 Escavação pelo método NATM

Segundo Campanhã (1995), “N.A.T.M.” (New Austrian Tunnelling Method) é um método de escavação em solo ou rocha que conduz a uma estabilização pelo alívio controlado de pressão. O alívio de tensão é efetuado intencionalmente; os valores das deformações e tensões são rigorosamente mediados e controlados de acordo com as necessidades.

A seqüência das atividades é apresentada, como segue:

- a) escavar a lateral esquerda;
 - b) fixar o pé da cambota;
 - c) projetar o concreto;
 - d) escavar a lateral direita;
 - e) fixar o pé da cambota;
 - f) projetar o concreto;
 - g) escavar a parte central;
 - h) fixar as telas;
 - i) projetar o concreto.

3.2 Rebaixo do núcleo (em solo)

A seção do túnel escavada, é referente à parte inferior, conforme ilustrado na Figura 2 e Figura 3.

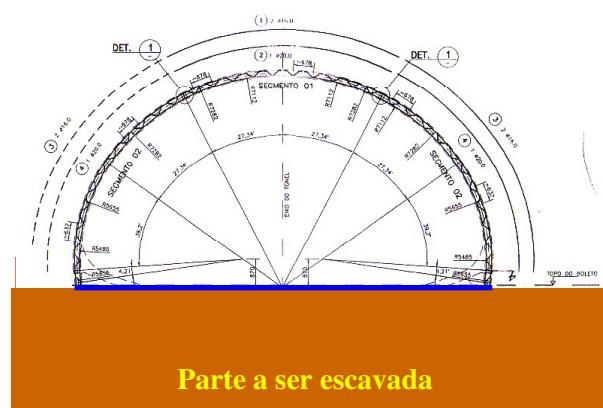


Figura 2 – Parte inferior do túnel a ser escavada



Figura 3 – Parte inferior do túnel sendo escavada

O esquema relativo à eficiência na transformação das entradas em saídas, para o processo de escavação do rebaixo do núcleo, é apresentado na Figura 4.

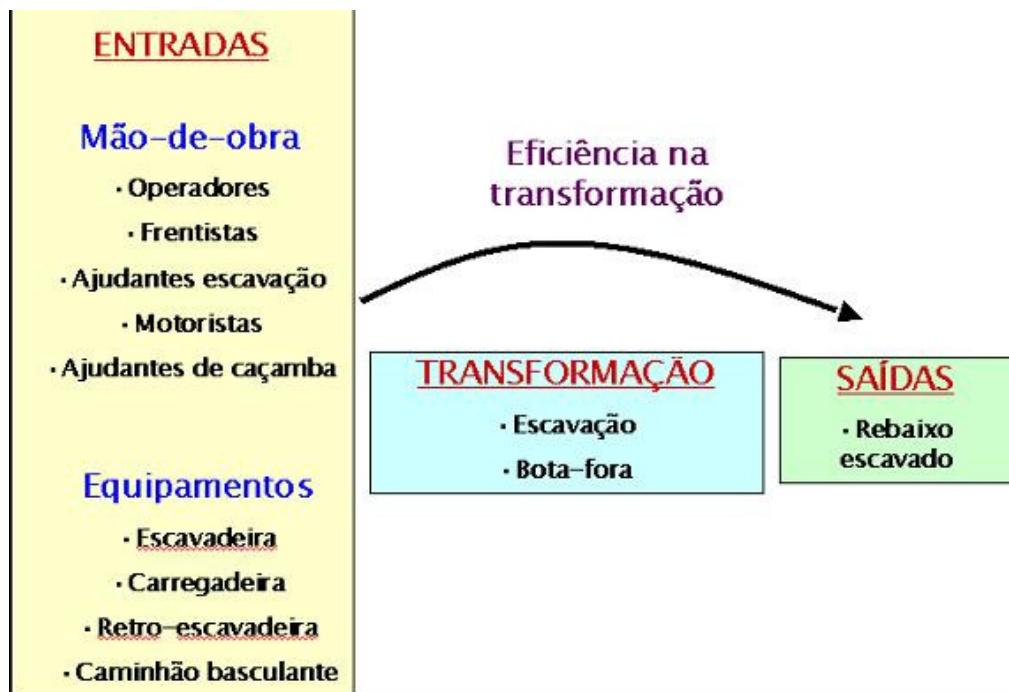


Figura 4 – eficiência na transformação das entradas em saídas para o processo de escavação do rebaixo do núcleo

Observações gerais:

A quantidade de dados é referente ao período de um mês, totalizando vinte e quatro medições ao todo, sendo:

- a) cada período de trabalho tem seis dias;
 - b) cada dia tem três turnos de 8 horas (24 horas de trabalho de segunda a sábado).

4 PRODUTIVIDADE ENCONTRADA

4.1 Mão-de-obra de apoio à escavação do rebaixo do núcleo

A equipe é formada de encarregados, frentistas e ajudantes que auxiliam na escavação do rebaixo do núcleo.

As RUPpotencial, RUPperiódica e RUPpotencial de projeto (definida em orçamento), relativas à mão-de-obra empregada como apoio na escavação do rebaixo do núcleo, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – RUPpotencial, RUPperiódica e RUPpotencial de projeto: mão-de-obra de apoio à escavação

RUPpot	RUPper
Hh/m ³	Hh/m ³
0,2606	0,3087

As RUPs referentes aos diferentes períodos de medição, são apresentadas na Figura 5.

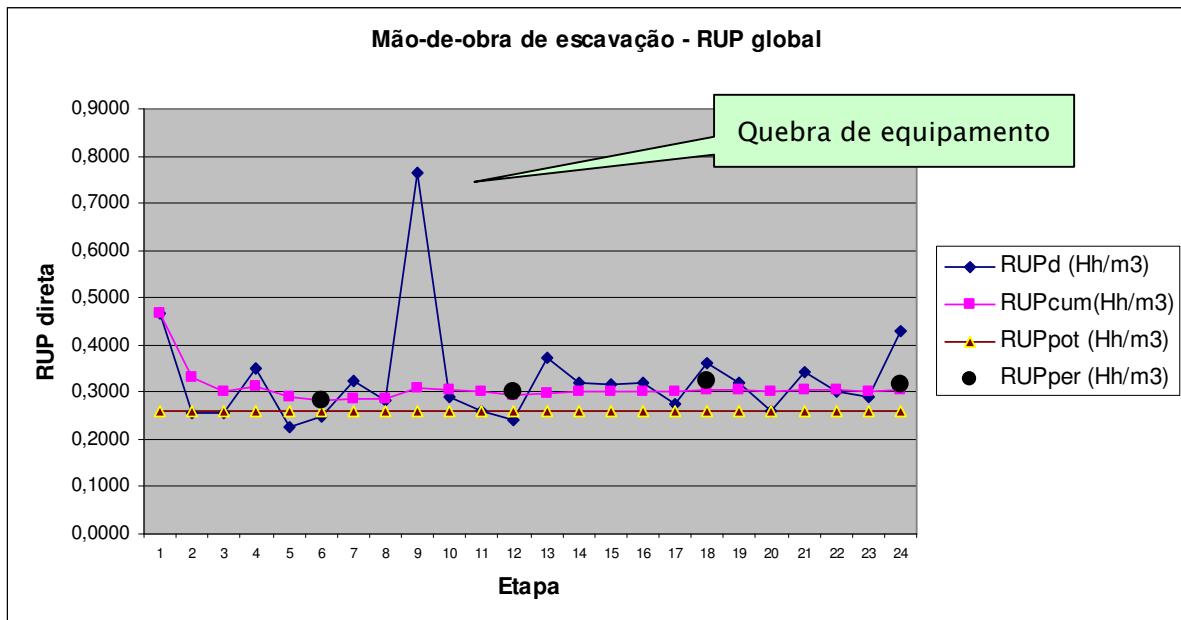


Figura 5 – Mão-de-obra de escavação - RUP global

4.2 Equipamentos empregados na escavação do rebaixo do núcleo

4.2.1 Retro-Escavadeira

Buscou-se acompanhar os momentos em que a retro-escavadeira estava trabalhando e disponível para o serviço.

As RUPpotencial, RUPperiódica e RUPpotencial de projeto (definida em orçamento), relativas ao uso da retro-escavadeira para a escavação do rebaixo do núcleo, são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – RUPpotencial, RUPperiódica e RUPpotencial de projeto: retro-escavadeira

Escavadeira trabalhando			Escavadeira disponível		
RUPpot	RUPper	RUP SIURB	RUPpot	RUPper	RUP SIURB
Eh/m ³	Eh/m ³	Eh/m ³	Eh/m ³	Eh/m ³	Eh/m ³
0,0282	0,354	0,0500	0,0411	0,0443	0,0500

As RUPs referentes aos diferentes períodos de medição, relativos à retro-escavadeira trabalhando e disponível, são apresentadas na Figura 6 e Figura 7.

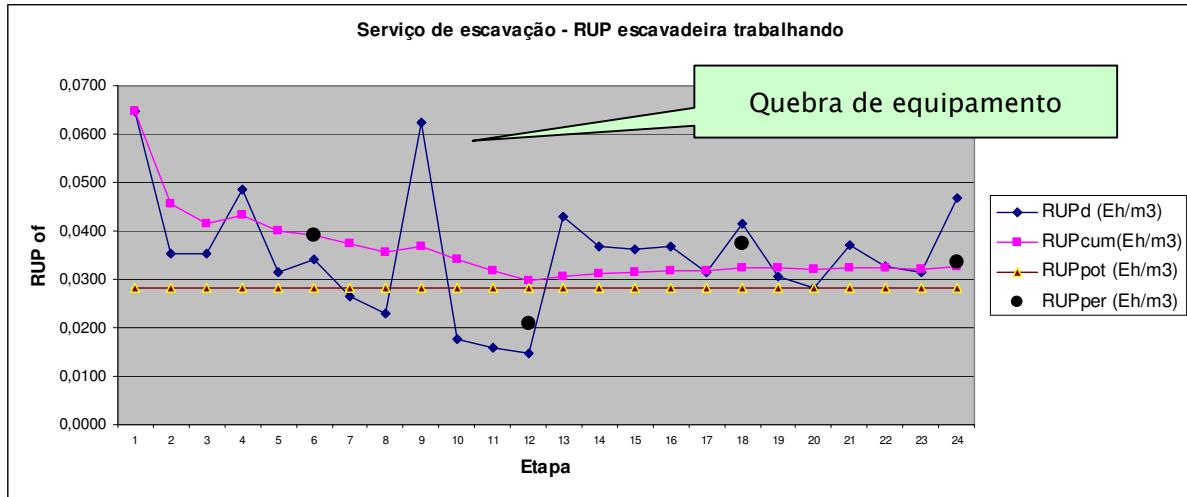


Figura 6 – Serviço de escavação - RUP retro-escavadeira trabalhando

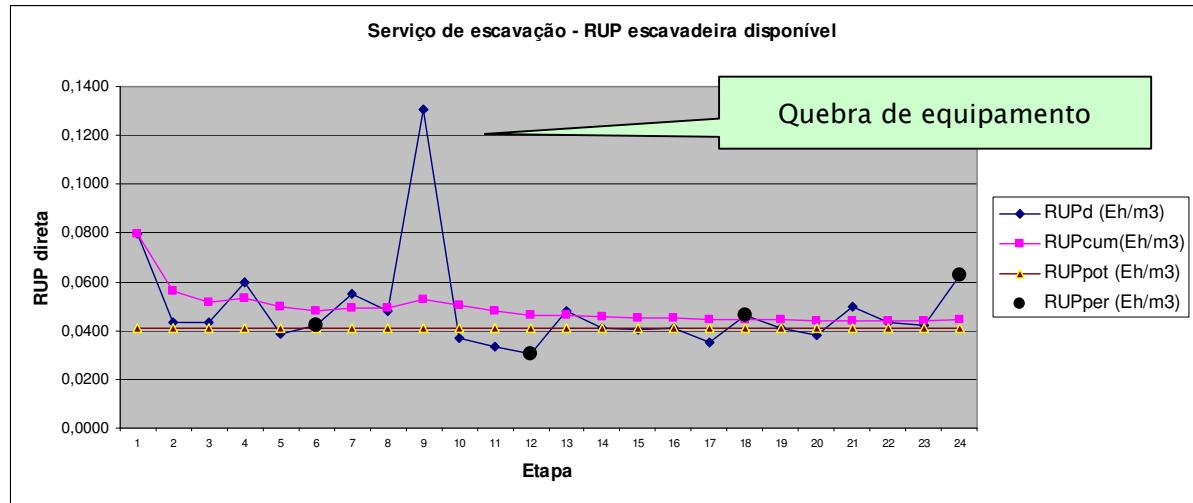


Figura 7 – Serviço de escavação - RUP retro-escavadeira disponível

4.2.2 Retro-rompedor

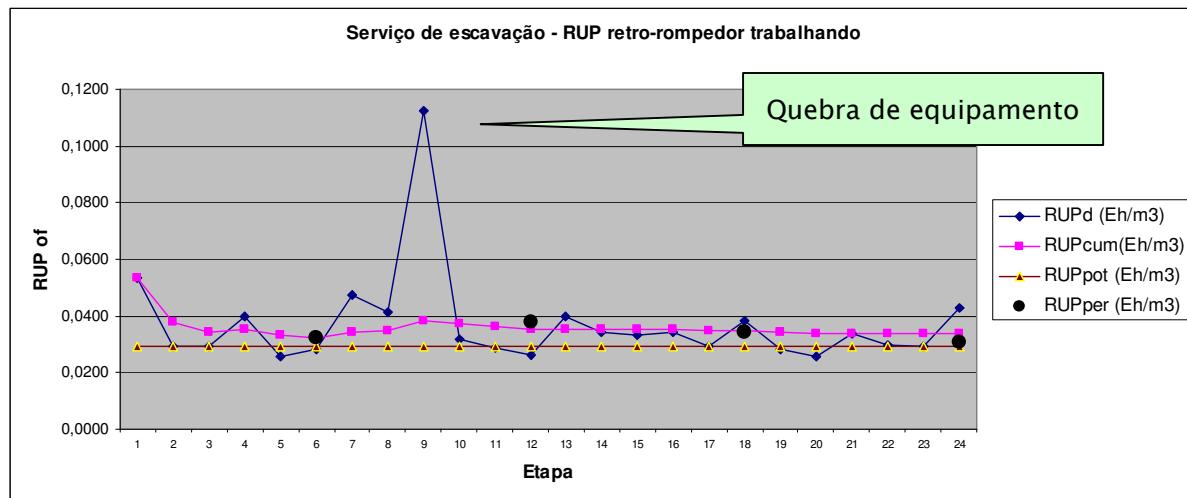
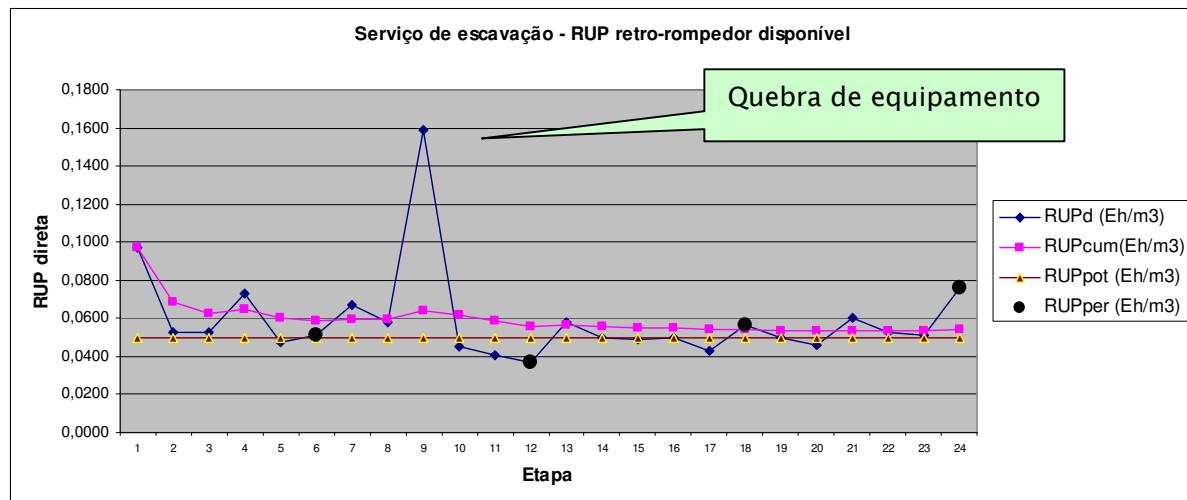
Buscou-se acompanhar os momentos em que o retro-rompedor estava trabalhando e disponível para o serviço.

As RUPpotencial, RUPperiódica e RUPpotencial de projeto (definida em orçamento), relativas ao uso do retro-rompedor, como apoio para a escavação do rebaixo do núcleo, são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – RUPpotencial, RUPperiódica e RUPpotencial de projeto: retro-rompedor

Retro-rompedor trabalhando		Retro-rompedor disponível	
RUPpot	RUPper	RUPpot	RUPper
Eh/m ³	Eh/m ³	Eh/m ³	Eh/m ³
0,0290	0,0333	0,0500	0,0444

As RUPs referentes aos diferentes períodos de medição, relativos ao retro-rompedor trabalhando e disponível, são apresentadas na Figura 8 e Figura 9.

**Figura 8 – Serviço de escavação - RUP retro-rompedor trabalhando****Figura 9 – Serviço de escavação - RUP retro-rompedor disponível**

5 FATORES INFLUENCIADORES DA PRODUTIVIDADE

Fatores relacionados à escavação em geral são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Fatores relacionados à escavação em geral

Tipo de fator	Fator apontado	Comentários
Conteúdo	Detalhamento de projeto	Quanto mais detalhado melhor
	Variabilidade no projeto	Quanto menos variável melhor
	Tipo de solo	Quanto menos rígido melhor
	Comprimento do túnel	Quanto maior, mais distância a percorrer
	Seção do túnel	Quanto maior, mais material a ser escavado e o trabalho é mais fácil
	Maciço	O avanço permitido é em função do tamanho do túnel
Contexto	Equipamentos em geral	Manutenção dos equipamentos evita paralisações da frente de trabalho
	Equipamentos de escavação	Ideal ter pelo menos, 1 escavadeira, 1 retro-rompedor e 1 carregadeira por turno
	Caminhão de transporte do solo (bota-fora)	Pode melhorar o ritmo da escavação
	Acompanhamento das caçambas	Ideal ter pelo menos dois ajudantes acompanhando
	Período (manhã, tarde ou noite) de escavação	De noite é melhor
	Dia da semana de escavação	Sábado é o pior dia
	Experiência em escavação	Quanto maior a experiência do operador e do líder de frente, melhor
	Qualidade do acesso dos caminhões betoneira no canteiro	Pensar o canteiro para não se criarem dificuldades
	Movimentação	A maior a movimentação de pessoas e equipamentos relacionados a outras atividades, piora o trabalho
Anormalidades	Limpeza	Quanto mais limpo (desobstruído) o túnel, melhor
	Quebra do equipamento de escavação	Pode paralisar a escavação
	Falta dos pés das cambotas	Pode atrasar muito a escavação
	Acidentes de trabalho	É o maior receio dos encarregados

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Percebe-se que, embora o período de coleta de dados corresponda a quatro períodos de medição, os resultados obtidos por esta metodologia, apontam diversas reflexões, tais como:

- para mão-de-obra de apoio à escavação, a RUPper e a RUPpot permitem realizar reflexões por parte do orçamento e por parte da equipe de produção (verificação do orçado e realizado);
- tanto para a retro-escavadeira como para o retro-rompedor, quando os equipamentos estavam disponíveis, as RUPs foram maiores do que quando os equipamentos estavam trabalhando (permite uma reflexão por parte da equipe de produção);
- as RUPs relativas ao retro-rompedor indicam que o equipamento está sub-utilizado.

Em relação aos fatores influenciadores da produtividade, algumas ações, visando à melhoria da produtividade, podem ser citadas como:

- a) reduzir outras atividades e intensificar a escavação no período da noite (tem melhor produtividade);
- b) manter manutenção preventiva nos equipamentos;
- c) intensificar treinamentos para os líderes dos frentistas (quanto mais experiente, mais uniforme a seção escavada);
- d) melhorar a limpeza do túnel.

Os resultados apresentados ilustram a importância da utilização dos indicadores como subsídio na tomada de decisões, não somente de cunho orçamentário, como também, nas avaliações do nível de eficiência da mão-de-obra e dos equipamentos.

Apresentou-se, assim, um breve estudo de avaliação da produtividade no processo construtivo de túneis de metrô, trazendo ao meio técnico, acadêmico e à sociedade a oportunidade de maior conhecimento de seus indicadores.

A partir deste trabalho, acredita-se que se tenha trazido elementos para que sejam realizadas discussões e pesquisas mais aprofundadas sobre o tema abordado.

7 REFERÊNCIAS

ASSIS, A. P. **Subterrâneo em revista**. Téchne, São Paulo, ed. 114, ano 14, p. 22, set.2006.

CAMPANHÃ, C. A. “NATM em Solo e Rocha”. In: SIMPÓSIO SOBRE TÚNEIS URBANOS. **Anais**. TURB: ABGE, CBT, São Paulo, 1995.

CBT. **Urban problems and underground solutions** Brazilian Tunnelling Committee (CBT), Brazil, 2007. Disponível em: <http://www.ita-aites.org/cms/303.html>. Acesso em: 21 mai. 2007.

DORNELAS, R. C. **Estudo da Produtividade e do Consumo de Materiais na Execução de Túneis de Metrô pelo Método NATM**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil – PCCPCC-5833, Produtividade na Construção Civil, São Paulo, 2007.

NORDMARK, A. Planning and Mapping of Underground Space an Overview. Separata de: _____. **Tunnelling and Underground Space Technology**. Vol. 15, Nº. 3. Bron Cedex: Elsevier Science Ltd., 2000. p. 271-286.

SIURB, Secretaria de Infra-estrutura Urbana de São Paulo. **Composicoes de Custos InfraEstrutura jul2007**. Disponível em: <<http://portal.prefeitura.sp.gov.br/secretarias /infraestruturaurbana>>. Acesso em: 02 de dezembro de 07.

SOUZA, U. E. L. Como medir a produtividade da mão-de-obra na construção civil. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais**. Universidade Federal da Bahia, 2000.

SOUZA, U. E. L. **Como aumentar a eficiência da mão-de-obra: manual de gestão da produtividade na construção civil**. Pini, São Paulo, 2006.