

PTR2377 – Princípios Básicos de Engenharia de Tráfego

1ª.Lista de Exercícios – 2º.semestre de 2014

Nome: _____ No.USP: _____

As questões 1 a 5 da Prova Teórica do site da disciplina são preliminares para resolução da lista de exercícios proposta a seguir. Não existem questões especificamente teóricas na lista de exercícios mas existem perguntas teóricas que fazem parte das questões práticas e devem ser respondidas (pelo menos de forma aproximada) para poder obter dados necessários para avaliar as perguntas práticas.

Antes de iniciar a resolução das questões propostas, é também importante esclarecer certos conceitos necessários para aplicação dos métodos de análise do HCM2010. Alguns destes conceitos estão listados a seguir e devem ser revisados. As questões preliminares e a questão 0 não devem ser entregues.

Questão 0: No que se refere à aplicação dos métodos de análise do HCM2010, esclarecer:

- quais fatores distinguem vias expressas de vias comuns, entre as vias estruturais;
- o que caracteriza as seções de entrelaçamento e como definir inicialmente sua área de influência;
- o que caracteriza os ramais de ligação e como definir inicialmente sua área de influência;

SEGMENTOS BÁSICOS:

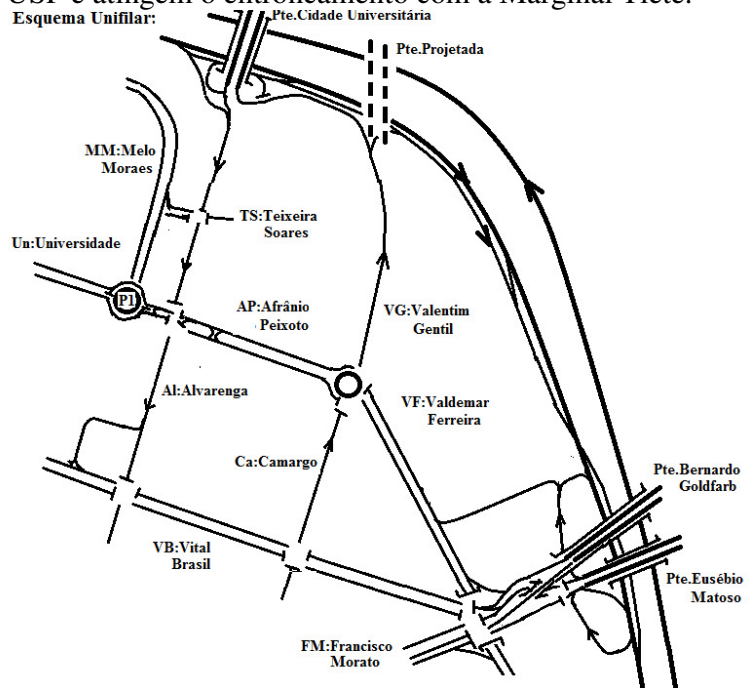
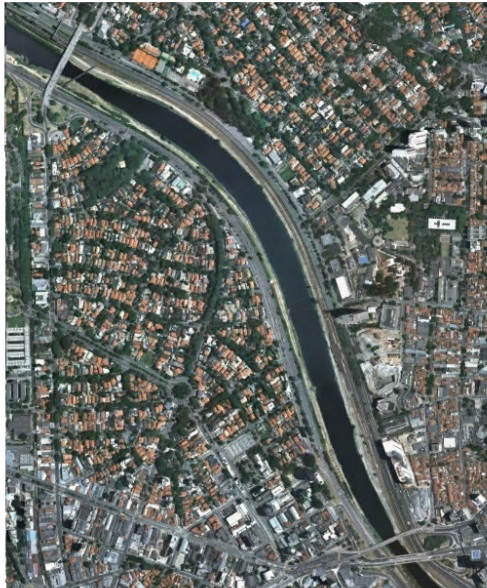
- qual a importância da velocidade de fluxo livre de um segmento básico e como estimá-la;
- quais fatores são considerados na estimativa analítica da VFL em segmentos básicos expressos;
- quais fatores são considerados na estimativa analítica da VFL em segmentos básicos comuns;
- como obter a capacidade de um segmento básico em veículos equivalentes e em veículos mistos;
- como obter a estimativa da demanda de tráfego em veículos equivalentes e em veículos mistos;
- como obter a estimativa da velocidade/densidade de tráfego e o nível de serviço correspondente;
- como identificar a condição de operação saturada e avaliar as condições da operação nas filas;

ENTRELAÇAMENTOS E RAMAIS:

- como estimar a VFL dos segmentos correspondentes a seções de entrelaçamento e ramais de ligação;
- que variáveis específicas afetam a operação de segmentos com entrelaçamentos e ramais;
- como caracterizar as condições específicas da demanda correspondente aos entrelaçamentos e ramais;
- como prever a capacidade em segmentos com entrelaçamentos ou ramais (equivalentes e mistos);
- como obter a velocidade/densidade de tráfego e o nível de serviço correspondente;

Nome: _____ No.USP: _____

Considere o trecho entre a Ponte Cidade Universitária e a Ponte Eusébio Matoso no sentido externo da Marginal Pinheiros, que é atualmente um dos trechos mais críticos no sistema de vias expressas de São Paulo. Há uma sucessão de gargalos potenciais no trecho considerado que, em função das flutuações cotidianas na demanda e na capacidade de tráfego, geram congestionamentos que facilmente tomam todo o trecho adjacente à Raia Olímpica da USP e atingem o entroncamento com a Marginal Tietê.



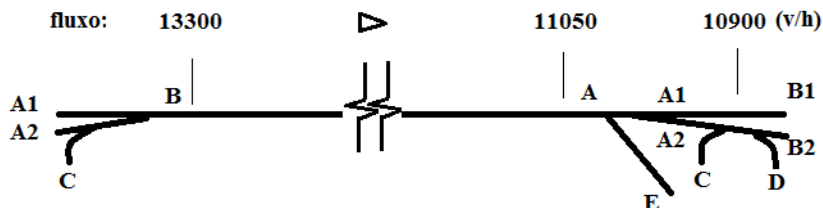
Os potenciais gargalos a serem avaliados são os seguintes:

- as seções sob a Pte.Cidade Universitária, onde há 2 pistas com o segmento básico na pista expressa em 5 faixas (adiante reduzidas para 4 faixas) e o segmento com entrelaçamento na pista auxiliar com 3 faixas (2 faixas vindas da Marginal e 1 faixa vinda do acesso da Pte.Cidade Universitária); esta seção vem após a saída para a Rua Alvarenga e um trecho extenso (com 2km) de 7 faixas, adjacente à Raia Olímpica da USP, que chega ao acesso da Av.Escola Politécnica e à Pte.Jaguará (400m antes);
- a seção restrita na pista expressa adiante, após o entrelaçamento, tem 5 faixas com a junção de 4 faixas da pista expressa (com supressão de 1 faixa do segmento básico anterior) e 1 faixa vinda da pista auxiliar (1 faixa adicional prossegue adiante na pista auxiliar dado que 2 faixas restantes tem de ser alocadas ao sentido oposto, em mão inglesa, para fazer a ligação com a Pte.Cidade Universitária vindo da continuação da Rua Camargo, pela Av.Valentim Gentil);
- as seções sob a Pte.Eusébio Matoso (e Bernado Goldfarb), onde também há 2 pistas com um segmento básico de apoio com 2 faixas (à esquerda) e o segmento de entrelaçamento com 6 faixas formado pela junção de 5 faixas da pista expressa anterior e 1 faixa da ligação de acesso no prolongamento da pista auxiliar (a Av.Magalhães de Castro) com entrada livre (adiante há uma redução para 5 faixas sob a Pte.Eusébio Matoso e uma nova ampliação para 6faixas a seguir); inclui também um entrelaçamento secundário após a Pte.Eusébio Matoso (gerado pela entrada da antiga alça de acesso);
- a seção adiante, formada pela junção das 2 faixas da pista de apoio (à esquerda) com as 6 faixas do segmento de entrelaçamento, tem a supressão de 1 faixa (cerca de 500m após a Pte.Eusébio Matoso), seguindo então com 7 faixas até a área de influência da Pte.Cidade Jardim (cerca de 2km adiante).

As características físicas e de tráfego nos trechos mencionados serão detalhados adiante. É recomendável percorrer o trecho como condutor ou observá-lo a partir das Pontes mencionadas para melhor compreensão (atenção: representação no Google Earth desatualizada, melhor no StreetView).

Nome: _____ No.USP: _____

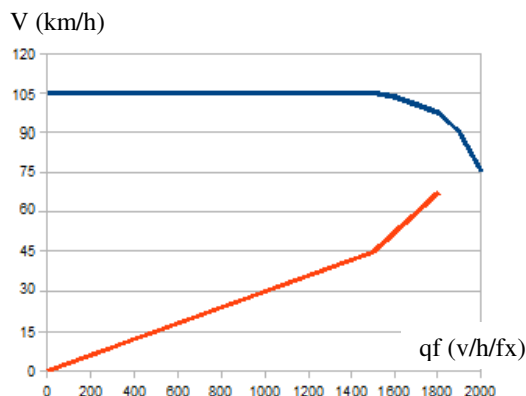
Considere o esquema abaixo para o trecho adjacente à Raia Olímpica da USP no pico da tarde:



Observação: fluxos no início do período de pico da tarde (A com fila; B sem fila).

Deve-se analisar a de viabilidade de um sistema de regulação da demanda na via principal (com regulação dos limites de velocidade usando PMVs-Painéis de Mensagem Variável em A) e no acesso pelo entrelaçamento em C (com semáforos de ciclo reduzido) para evitar a saturação do trecho gargalo no final do trecho (pela contenção do fluxo anterior) e preservar uma capacidade cerca de 10% maior. Hoje, nos picos da manhã e tarde, o fluxo escoado no entrelaçamento é 10800v/h e 10900v/h (com saturação), incluindo 1400v/h e 1750v/h vindos de C e excluindo 1800v/h e 1900v/h indo para E (o fluxo escoado no trecho adjacente à Raia Olímpica da USP é, portanto, 11200v/h e 11050v/h em cada período. A estimativa da demanda atual em cada período é de 12500v/h e 13300v/h, de manhã e à tarde. Admita que a capacidade potencial no entrelaçamento (sem saturação) é 10% maior que o fluxo de saturação observado e que o fluxo de saída em E é proporcional ao fluxo total escoado em A.

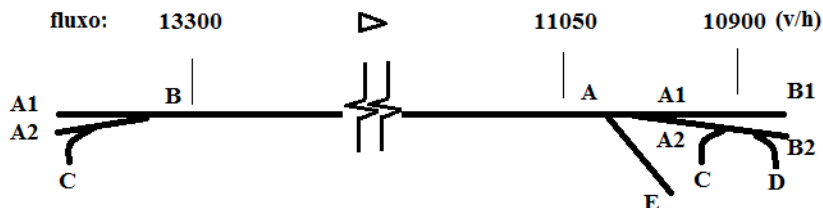
QUESTÃO 1: Admitindo a curva de operação fornecida abaixo para as faixas de tráfego da seção adjacente à Raia Olímpica da USP (7 faixas), compare as estimativas da velocidade de propagação do congestionamento nos picos da manhã e da tarde com os valores medidos (30km/h e 20km/h).



QUESTÃO 1 (bônus): Qual a relação entre os fluxos escoados atualmente na seção de entrelaçamento e na seção adjacente à Raia Olímpica da USP com as suas capacidades com e sem saturação?

Nome: _____ No.USP: _____

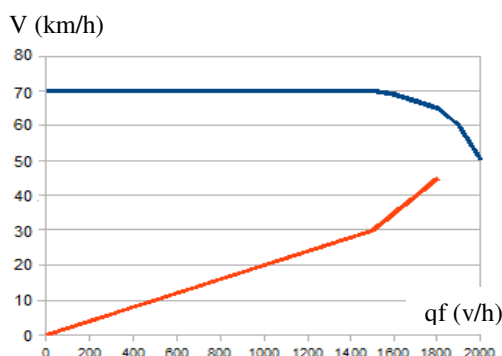
Considere o esquema abaixo para o trecho adjacente à Raia Olímpica da USP no pico da tarde:



Observação: fluxos no início do período de pico da tarde (A com fila; B sem fila).

O gargalo de capacidade considerado é a seção com o entrelaçamento entre CD e A2B2 e a seção adjacente A1B1 (com saturação, o fluxo observado nesse trecho é de 10900v/h). A repartição de fluxo entre as pistas sob a Ponte Cidade Universitária tem atualmente 6750v/h em A1B1 e 2400v/h em A2B2 (além de 1750v/h vindos de C). Na hipótese anteriormente admitida, a capacidade poderia ser aumentada em 10% (para cerca de 12000v/h), se não houver saturação no trecho considerado.

QUESTÃO 2: Admita que a regulação da demanda deve ser feita apenas pela retenção de fluxo em C deve ser obtida instalando um semáforo com a capacidade reduzida. Qual deve ser a capacidade imposta pelo semáforo em C? Admitindo a curva de operação abaixo na aproximação do semáforo e adotando um tempo de ciclo de 40segundos, qual deve ser o tempo de verde efetivo para a aproximação de C? No período de pico com duração de 30minutos, qual seria a estimativa de fila média e final com base nas fórmulas de sobre-fila e fila regular se $Q=1900\text{v/h}$ em C (admita fila inicial nula)?



QUESTÃO 2 (bônus): Considerando o controle de velocidade com um PMV instalado na seção A, qual deveria ser sua capacidade imposta para evitar a saturação no gargalo existente? Como o PMV estaria instalado no trecho normal adjacente à Raia Olímpica (com 7 faixas), como obter este efeito?

Nome: _____ No.USP: _____

Considerando o trecho adjacente à Raia Olímpica da USP, deve-se verificar a curva de operação admitida anteriormente, utilizando os critérios do US.HCM2010. A seção transversal é a seguinte:



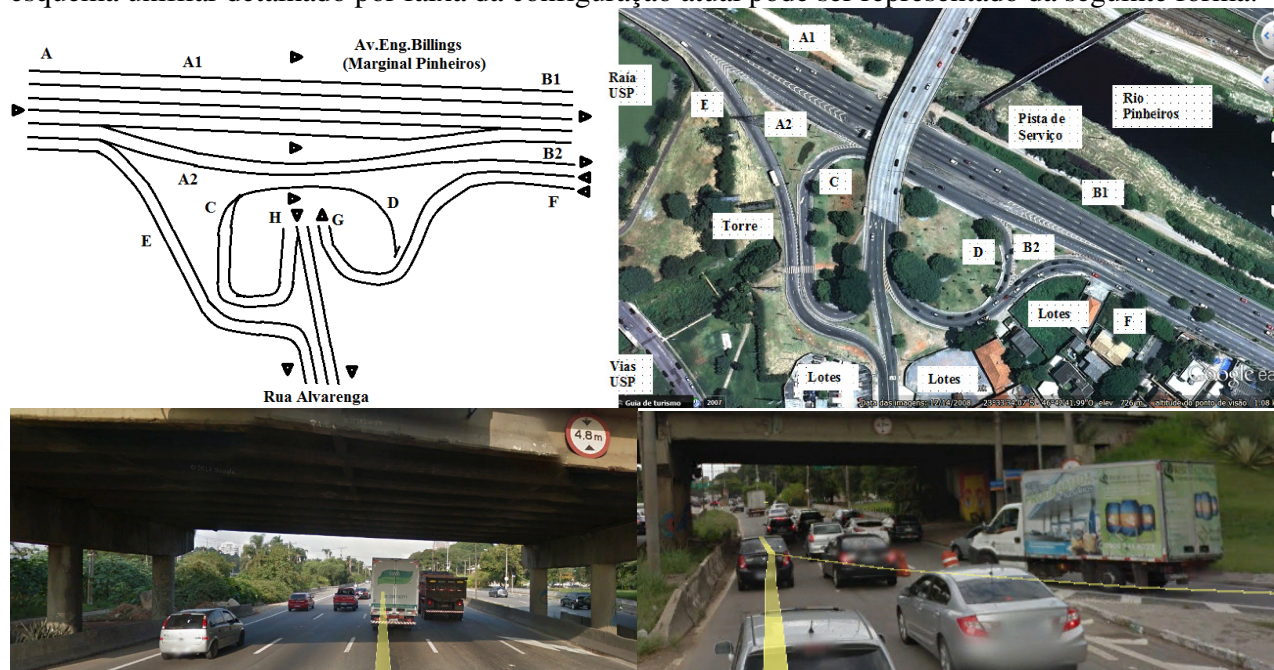
O trecho tem cerca de 2km. No início do trecho há a incorporação de 2 faixas vindas da pista auxiliar anterior e de 1 faixa vinda da Av.Escola Politécnica, praticamente na mesma seção. No final do trecho há uma bifurcação em 2 pistas antes do entrelaçamento sob a Pte.Cidade Universitária. Antes do início do trecho, a cerca de 400m, existe a Pte.Jaguareé. Ainda existem as ligações correspondentes aos antigos ramais de entrada e saída da interconexão na Pte.Jaguareé mas seus fluxos de tráfego são hoje bastante reduzidos visto que a entrada e saída foram deslocados para a Av.General Vidal (300m antes da Pte.Jaguareé) e para a Av.Escola Politécnica (adjacente ao início do trecho da Raia Olímpica da USP). Desde o entroncamento com a Marginal Tietê (o Cebolão), a 2,4km, ainda existem 1 ramal de entrada na pista expressa e 1 ramal de saída da pista expressa, a 1,6km e a 0,8km da Pte.Jaguareé. Após o entrelaçamento sob a Pte.Cidade Universitária, tem-se a Pte.Eusébio Matoso a 1,8km adiante. No trecho intermediário, há 1 ramal de saída da pista expressa e 1 ramal de entrada na pista expressa, a 1km e a 1,5km da Pte.Cidade Universitária. Sob a Pte.Eusébio Matoso há um entrelaçamento composto (a junção de um entrelaçamento principal e outro secundário). Segue-se um trecho extenso de 2km até a Pte.Cidade Jardim em que há apenas uma redução de 8 para 7 faixas, a 500m da Pte.Eusébio Matoso, além da bifurcação e ramais do entrelaçamento sob a Pte Cidade Jardim. Note que a separação em pista expressa e pista auxiliar aparece e desaparece em diversos trechos, tornando dúbia a característica operacional do trecho todo. A análise deve examinar hipóteses alternativas para a característica da via descrita acima (após o Cebolão e antes da Pte.Cidade Jardim). Admita trecho em nível e 5% de veículos pesados (e as demais características dos dados de campo).

QUESTÃO 3: Obtenha a capacidade e a curva de operação para o segmento básico adjacente à Raia Olímpica da USP (7 faixas) considerado como trecho expresso ou como trecho comum com base nos critérios propostos pelo US.HCM2010. Qual seria sua opção preferida? Como considerar o efeito decorrente da existência de controle de velocidade ($VL=90\text{km/h}$) no trecho, fiscalizado com radares?

QUESTÃO 3 (bônus): Qual seria a estimativa de velocidade no pico da tarde, antes da fila e na fila?

Nome: _____ No.USP: _____

Considere o entrelaçamento existente sob a Pte.Cidade Universitária, com extensão de 100m. Um esquema unifilar detalhado por faixa da configuração atual pode ser representado da seguinte forma:



No pico da tarde, os dados fornecidos correspondem à operação saturada com 6750v/h em A1B1, 2400v/h em A2B2 (75% para D) e 1750v/h em CD (20% para D). Admita novamente os critérios do US.HCM2010, trecho em nível e 5% de pesados (e as demais características dos dados de campo).

QUESTÃO 4: Qual a velocidade de fluxo livre correspondente ao entrelaçamento considerado como trecho comum? Considerando uma demanda de 2800v/h em A2B2 e de 1900v/h em CD, qual a capacidade normal do trecho? Qual a previsão resultante para as velocidades operacionais dos fluxos entrelaçantes e não entrelaçantes? O resultado é consistente com os dados coletados referentes à operação saturada? Propor uma configuração para reduzir o número mínimo de mudanças de faixas.

QUESTÃO 4 (bônus): Considerando a demanda de 2800v/h em A2B2 e de 1900v/h em CD, qual a extensão necessária para operar o entrelaçamento sem saturação? Proponha 2 intervenções para obter a extensão adequada, considerando as restrições locais, e discuta seus pontos favoráveis e desfavoráveis.

Nome: _____ No.USP: _____

Após o entrelaçamento sob a Pte.Cidade Universitária, a Marginal Pinheiros tem o número de faixas reduzido de 7 para 6 (isto considerando que 1 faixa da pista auxiliar é usada para escoar seu fluxo, enquanto as 2 outras faixas da pista auxiliar servem ao sentido oposto, operando em mão inglesa, invertida pela esquerda). Esta redução no número de faixas está evidenciado na ilustração a seguir:



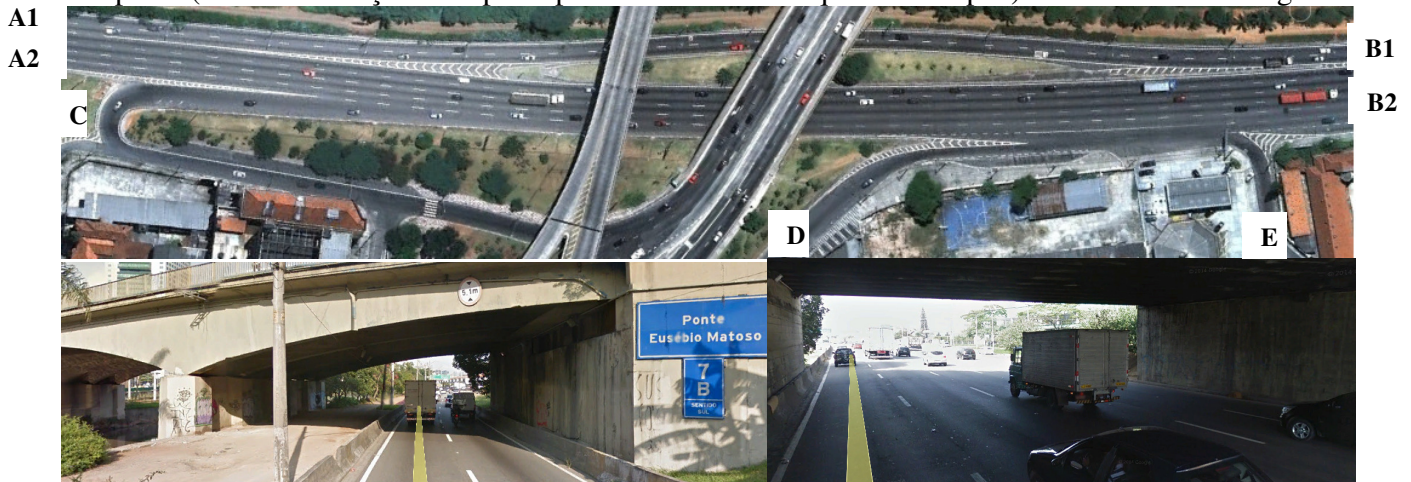
As faixas operando em mão inglesa são uma característica inusitada na operação da pista auxiliar das Marginais, implantada para conectar o binário de acesso formado pelas ruas Alvarenga e Camargo com a Pte.Cidade Universitária (no sentido centro). Originalmente, ambos os sentidos eram atendidos pela Rua Alvarenga e o binário foi implantado prevendo a construção de uma nova ponte. O esquema de operação em mão inglesa foi implantado como uma opção temporária (que perdura até hoje). Na situação atual, a questão é verificar se o entrelaçamento deve ser melhorado, dada a restrição adiante.

QUESTÃO 5: Considere a pista expressa posterior à Pte.Cidade Universitária operando com 5 faixas (a outra faixa utiliza a pista auxiliar) em um cenário em que o entrelaçamento anterior deixa de ser um gargalo e escoaria uma demanda de 13000v/h, sendo 11500v/h destinados à pista expressa (a pista auxiliar escoaria 1500v/h). Adotando os critérios do US.HCM2010 e admitindo novamente trecho em nível e 5% de veículos pesados, verifique como é possível evitar o gargalo adiante nesse cenário.

QUESTÃO 5 (bônus): Como a implantação da nova ponte (projetada) alteraria o cenário examinado? Considerando os diversos movimentos a serem atendidos (em direção ao centro e em direção oposta), proponha um esquema de circulação para o trecho externo da Marginal utilizando a nova ponte.

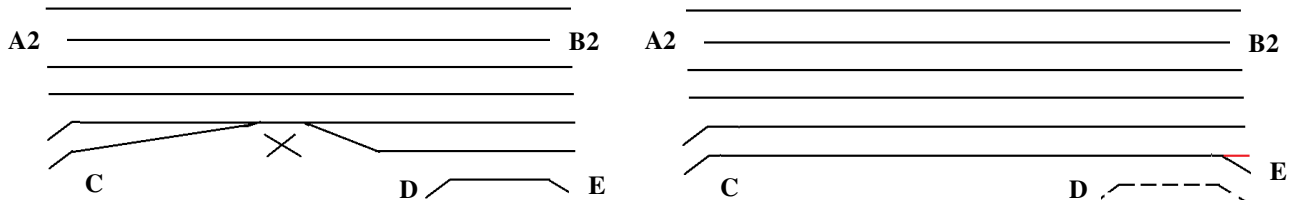
Nome: _____ No.USP: _____

O entrelaçamento sob a Pte.Eusébio Matoso (e Bernardo Goldfarb) corresponde a uma entrelaçamento composto (há um entrelaçamento principal e um secundário que se sobrepõe) como mostrado a seguir:



- configuração real:

- modelo admitido para análise:



Note que a configuração real tem diversas particularidades. A seção sob a Pte.Eusébio Matoso tem largura total de 14m entre as faces dos pilares (há barreiras de concreto para proteção dos pilares na aproximação da seção, sem outros dispositivos adicionais). É preciso definir um modelo simplificado de análise e utilizar os resultados com cuidado. No esquema proposto, a estimativa de capacidade deve considerar que a configuração adotada assume 6 faixas e o trecho mais restritivo da configuração real tem 5 faixas (sob a Pte.Eusébio Matoso, mas em trecho muito curto onde pelo menos os veículos leves prosseguem em 6 “faixas” reais). O efeito do entrelaçamento secundário deve considerar as mudanças de faixas geradas em DE somadas às do entrelaçamento principal de A2B2 com CE na estimativa de velocidade (pela característica da seção, assume-se que não há efeito correspondente na capacidade).

QUESTÃO 6: Considere que, no pico da manhã (mais crítico), a demanda em A2 é de 7000v/h (500v/h para E) e em C é de 3500v/h (700v/h para E), admitindo trecho comum com 400m, em nível (5% de pesados). A demanda específica em D é de cerca de 200v/h (toda direcionada a B2). Qual sua estimativa para a velocidade de fluxo livre e para a capacidade no entrelaçamento? Qual sua estimativa da velocidade para os fluxos entrelaçantes e não entrelaçantes?

QUESTÃO 6 (bônus): Proponha um modelo de análise alternativo e discuta sua aplicação.

Nome: _____ No.USP: _____

Após o entrelaçamento sob a Pte.Eusébio Matoso, a junção entre as pistas dos segmentos básicos principal (6 faixas) e de apoio (2 faixas) tem 8 faixas numa extensão de apenas 500m. Adiante, a faixa direita é suprimida e seguem 7 faixas até a Pte.Cidade Jardim (outro gargalo eventual de capacidade).



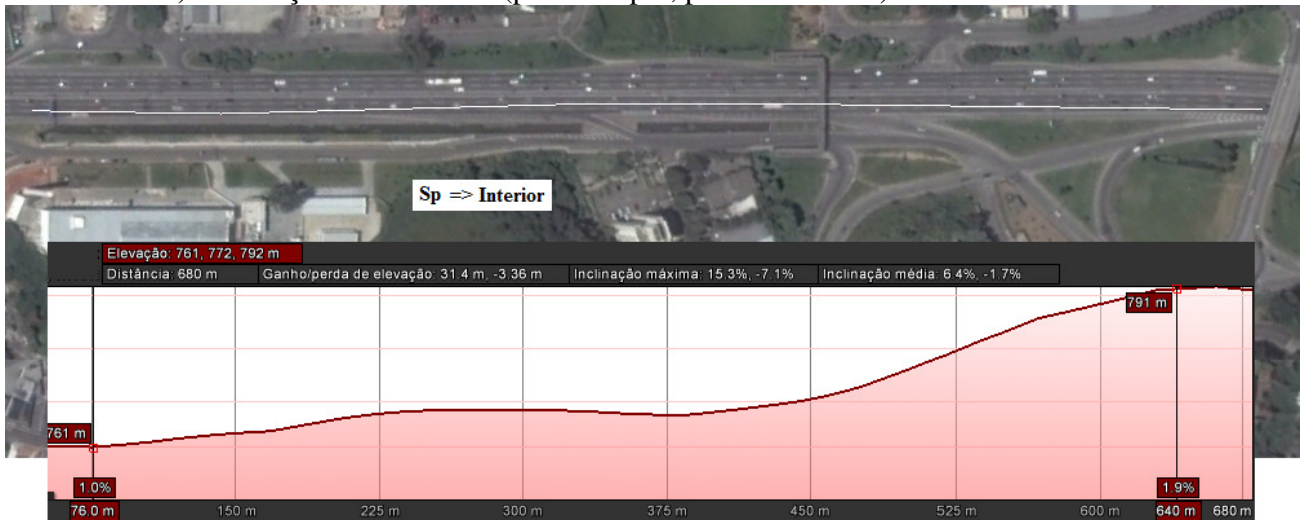
Deve-se avaliar se a redução do número de faixas é um gargalo potencial para um cenário de eliminação dos gargalos nos entrelaçamentos da Pte.Cidade Universitária e Pte.Eusébio Matoso.

QUESTÃO 7: Considere que o trecho adiante da supressão de faixa (com cerca de 2km) tem um aclave de 2% e admita 5% de veículos pesados (as demais características devem ser obtidas dos dados de campo). Examine as estimativas de Velocidade de Fluxo Livre e a Capacidade obtidas com as hipóteses de trecho expresso e trecho comum. Qual é sua opção para a estimativa aplicável ao trecho considerado? Admitindo que a demanda adiante, no cenário em análise, é de 12500v/h, qual sua previsão para as condições de operação correspondentes e para a velocidade de operação do tráfego.

QUESTÃO 7 (bônus): Considerando a sucessão de potenciais gargalos de capacidade em um sistema expresso, como pode ser identificado pela observação direta da operação qual é o gargalo crítico em um dado dia? Qual princípio deveria ser adotado para projetar o sistema para ter operação adequada?

Nome: _____ No. USP: _____

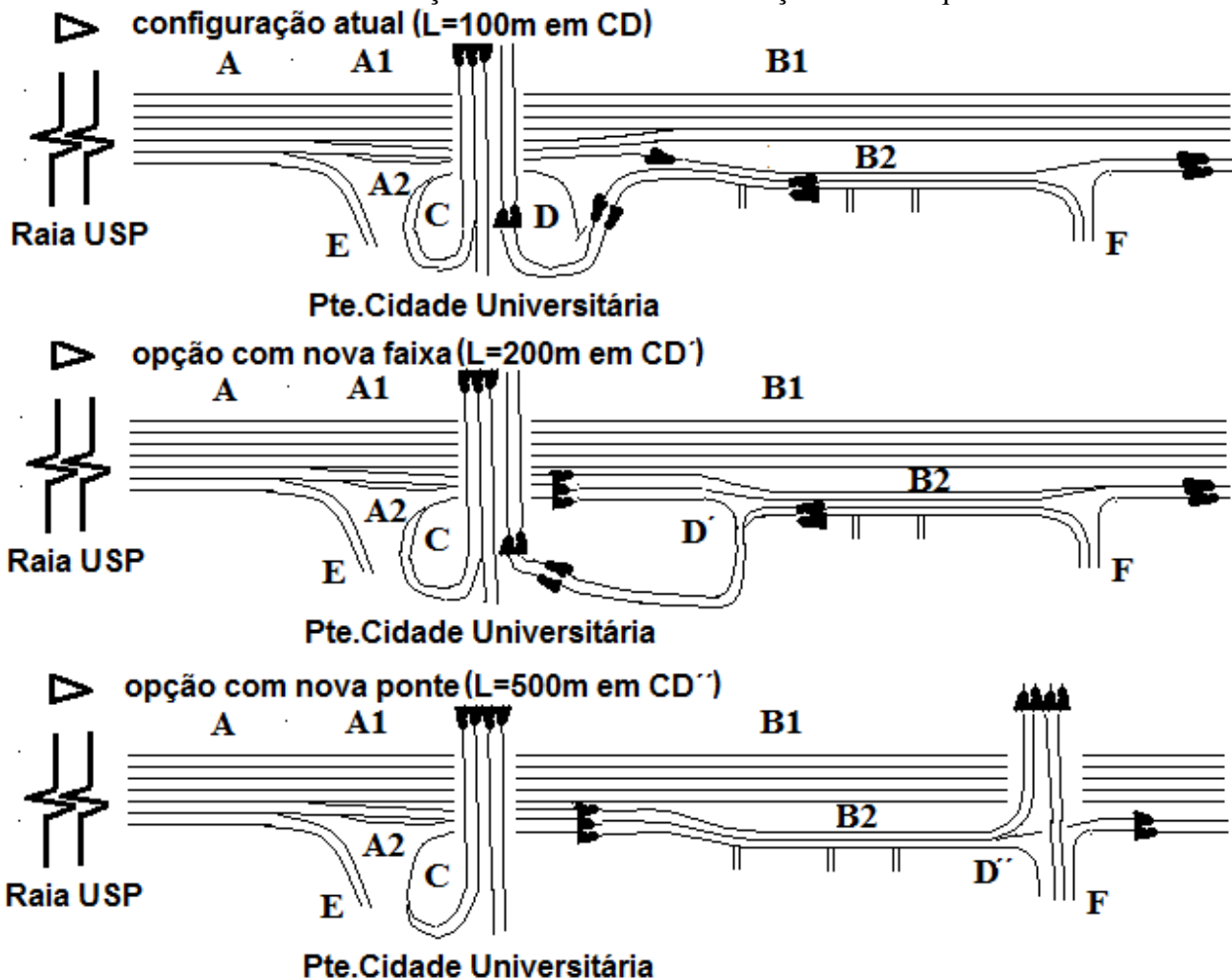
A rodovia Raposo Tavares tem um alinhamento horizontal inadequado e diversos trechos em forte aclive decorrentes do projeto original que foram mantidos quando da duplicação. O esquema a seguir refere-se ao trecho com 3 faixas do aclive existente no sentido Sp=>Interior do Km19, onde uma pista marginal foi implantada no sentido interior (de forma a acomodar novos empreendimentos que podem aumentar significativamente o tráfego atual). É crítico validar os métodos de análise e optar de forma esclarecida por parâmetros adequados em função das alterações introduzidas no HCM2000 (e mantidas no HCM2010) em relação às anteriores (por exemplo, pelo HCM1997).



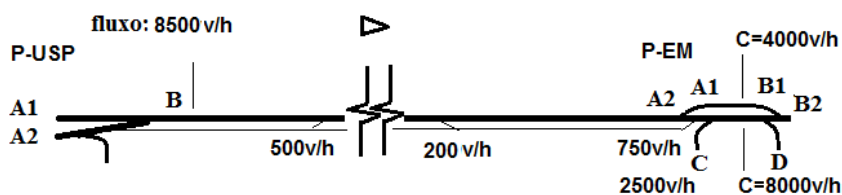
QUESTÃO 8: Com base no US.HCM1997 e no US.HCM2010, compare a Velocidade de Fluxo Livre estimada. Considerando 12% de veículos pesados, compare a capacidade estimada com base no US.HCM1997 e no US.HCM2010, para um trecho em nível e para a rampa acima. Como você avalia as estimativas, baseando-se na informação operacional de que a rampa representa um gargalo relevante?

QUESTÃO 8 (bônus): Como explicar a mudança dos fatores de equivalência das versões do HCM analisadas? Como utilizá-las para prever a velocidade de operação na presença de veículos pesados?

As estratégias mais pretensiosas de intervenção na região junto à Pte.Cidade Universitária (o atual gargalo no trecho, em conjunto com a seção restrita sob a Pte.Eusébio Matoso), foram resumidas na implantação de uma faixa adicional até F (mantendo a operação invertida, em mão inglesa, na pista auxiliar) ou na implantação da nova Pte.Projetada sobre o Rio Pinheiros no prolongamento da Av.Valentim Gentil até a Av.Antônio Baturia (com as pontes operando em mão única, a opção usaria as 3 faixas da pista auxiliar no sentido normal de tráfego, eliminando a operação em mão inglesa), além do aumento da distância de entrelaçamento de CD. As intervenções estão esquematizadas abaixo.



A análise inicial destas intervenções admitiu que não existem gargalos adiante (o entrelaçamento sob a Pte.Cidade Universitária seria o gargalo) mas existe uma restrição igualmente preocupante sob a Pte.Eusébio Matoso/Bernardo Goldfarb. O trecho entre estes gargalos potenciais tem 1,8km e 5 faixas, com ramais intermediários (entrada e saída antes da junção entre a pista auxiliar e expressa no final do trecho, na seção onde é criada a pista de apoio A1B1 à esquerda, com 2 faixas, e é iniciada a seção de entrelaçamento A2B2 sob a Pte.Eusébio Matoso/Bernardo Goldfarb), conforme o esquema a seguir.



Observação: fluxos no início do período de pico da manhã (A e B com fluxo intenso).

Foram avaliadas as seguintes alternativas para eliminar o gargalo sob a Pte.Cidade Universitária:

- 2 opções de intervenção para o entrelaçamento CD' com implantação da nova faixa (eliminando a supressão da faixa na pista expressa e adicionando uma faixa na pista auxiliar) e deslocamento da saída para 200m (não há alteração na Rua Alvarenga, além da implantação das 2 faixas de acesso no seu sentido oposto), representadas abaixo:

Circulação de saída pela Rua Hans Staden:

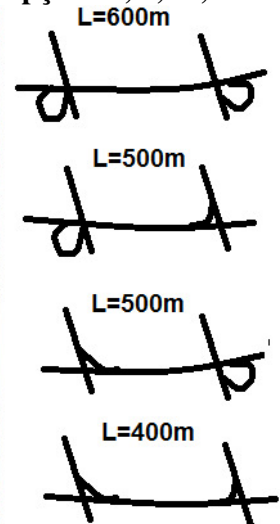
Desapropriação e criação de nova alça de saída:



- as opções de intervenção para o entrelaçamento CD'' com implantação da nova ponte e deslocamento da saída para 400 a 600m. As opções para o entrelaçamento correspondem a utilizar alças de retorno ou ligações direcionais. A opção com alça de entrada e saída direcional é mostrada abaixo (admita que cada ligação direcional reduz a distância de entrelaçamento em cerca de 100m):

Criação da nova ponte com alça de entrada e saída direcional (II)

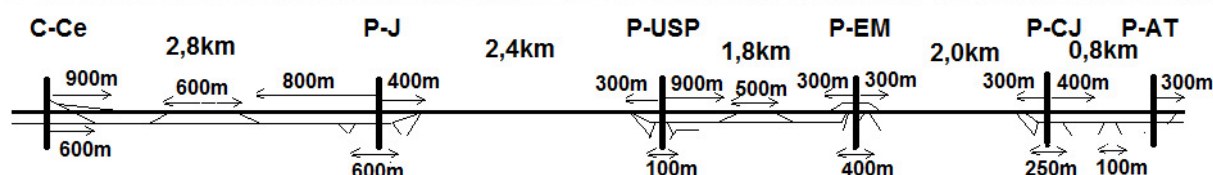
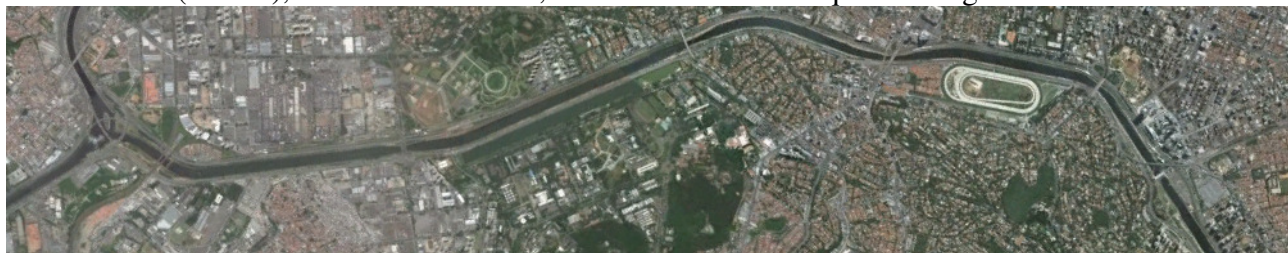
Opções: I,II,III,IV



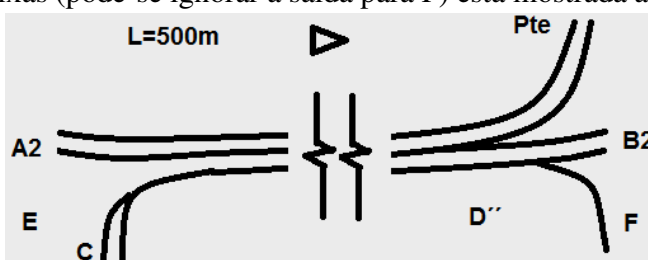
O congestionamento nos picos corresponde a um custo social ao redor de R\$10 a 50milhões/ano, uma faixa adicional (pelo menos até F, 1km adiante) tem um custo de R\$5milhões/km (faixa de 3,60m e barreira separadora) e a Ponte projetada na continuação da Av.Valentim Gentil (mencionada na introdução à prova) tem um custo de cerca de R\$100 milhões (300m com seção de 23m). A alternativa de abandonar os trevos originalmente projetados e passar a circular por quadras urbanas adjacentes (para aumentar a distância de entrelaçamento e melhorar a capacidade e velocidade), tem impactos locais indesejáveis a serem ponderados (que em certa medida afetam a Rua Alvarenga, a Rua Camargo e a Av.Valentim Gentil, desde a criação do binário atualmente existente).

Nome: _____ No.USP: _____

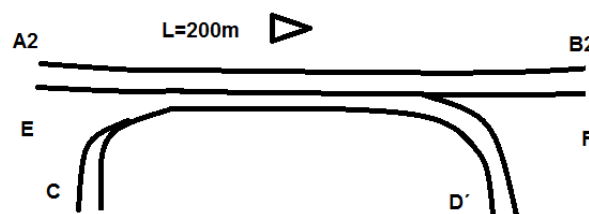
As características do entorno da pista expressa (e da pista auxiliar) nas imediações da Pte.Cidade Universitária (P-USP), o trecho em análise, estão resumidas no esquema a seguir.



A configuração do entrelaçamento para a nova ponte, com 2 faixas vindas da pista auxiliar e 1 faixa do acesso (a entrada no acesso de C tem suas 2 faixas reduzidas para 1 faixa antes do entrelaçamento) e ambas as saídas do entrelaçamento tem 2 faixas (pode-se ignorar a saída para F) está mostrada abaixo.



A configuração com o esquema alternativo, com a nova faixa apenas, está representado a seguir.



Admita trecho em nível e 5% de veículos pesados (tome as demais características dos dados de campo). No entanto, no esquema com ramais opostos, o acesso à Pte utiliza uma rampa de 6% em 150m.