

MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO: ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DE ÔNIBUS HÍBRIDOS NO TRANSPORTE PÚBLICO URBANO BRASILEIRO

(Artigo a ser submetido no Periódico Transportes)

Magdala Satt Arioli

Luis Antonio Lindau

Christine Tessele Nodari

Departamento de Engenharia de Produção e Transportes
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RESUMO

O setor de transporte é um dos principais emissores dos gases do efeito estufa (GEE) do planeta. Este trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade do desenvolvimento de um projeto de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) no setor de transporte a partir do uso de ônibus de tecnologia híbrido-diesel em frota de transporte público. Para tanto, aplicou-se uma metodologia aprovada de MDL em uma frota veicular de uma empresa de transporte público urbano e verificou-se a viabilidade do projeto quanto ao aspecto financeiro e quanto ao desenvolvimento de um MDL conforme os requisitos exigidos pelo Conselho Executivo. O projeto mostrou-se viável em ambos aspectos analisados: desenvolvimento de MDL no setor de transportes e financiamento.

ABSTRACT

The transportation sector is one of the major emitters of greenhouse gases. This study aimed to examine the feasibility of developing a clean development mechanism (CDM) project in the transport sector through the use of hybrid bus in a public transportation fleet. Therefore, it was applied an approved CDM methodology on a bus fleet of a public urban transportation company and it was verified the project viability according to the financial aspect and to the requirements made by the Executive Board of the UNFCCC. The project shows to be feasible in both aspects analyzed: development of CDM in the transportation sector and financially.

1. INTRODUÇÃO

O setor de transportes é uma das principais fontes de emissão dos gases de efeito estufa. Em 2004, o setor já era responsável por 23% das emissões globais de gases do efeito estufa (GEE) devido ao consumo energético, sendo que 72% dessas emissões de transportes são do transporte rodoviário (IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2007; Baumert *et al.*, 2005). O setor de transportes deverá ser uma dos setores com maior taxa de crescimento ao longo dos próximos 30 anos, aumentando a uma taxa anual de 2-3% (Price *et al.*, 2006). Perante este fato, as reduções dos poluentes atmosféricos decorrentes do setor de transportes tornam-se um meio de contribuição para combater o aquecimento global.

De acordo com a resolução Conama 03/90, os poluentes atmosféricos compreendem “... qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade”. Ramanathan e Feng (2008) denominam os gases poluentes atmosféricos como ABCs (*Atmospheric Brown Clouds*), e os classificam como o principal agente da mudança climática que liga os três principais problemas ambientais relacionados com a atmosfera: poluição do ar, buraco na camada de ozônio e aquecimento global.

O marco significativo para o combate do aquecimento global ocorreu em 1997 quando se firmou o Protocolo de Quioto. Esse acordo estabeleceu dois blocos de países: o bloco dos

países desenvolvidos, relacionados no Anexo I da Convenção, e que tem metas obrigatórias de redução de gases do efeito estufa; e os países em desenvolvimento, chamados Países Não-Anexo I, que não possuem obrigações de redução. Os países listados no Anexo I comprometem-se em reduzir emissões de GEE para um nível 5% inferior ao que foi registrado em 1990, entre o período de 2008 e 2012 (Lopes, 2002).

O Protocolo de Quioto determinou três mecanismos que permitem aos países desenvolvidos reduzir as emissões dos GEE, são eles: (i) Comércio de Emissões: permite aos países que possuem unidades de emissões de sobra para vender essa capacidade excedente para países que estão sobre as suas metas de redução de emissão de GEE; (ii) Implementação Conjunta: mecanismo por meio do qual um país pode implementar um projeto que leve a reduções de emissões em outro país, contabilizando a seu favor as emissões reduzidas, aplicável somente entre os países listados no Anexo I; (iii) Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: permite que um país Anexo I desenvolva um projeto de redução de emissões em países Não-Anexo I (Goldemberg, 2000).

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) visa à redução certificada de emissões de Gases do Efeito Estufa através de projetos realizados pelos países desenvolvidos (Anexo I) nos países em desenvolvimento, beneficiando, assim, o desenvolvimento sustentável nestes países. As atividades de projetos elegíveis para o MDL resultam em Reduções Certificadas de Emissões (RCEs). Uma unidade de RCE é igual a uma tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente (tCO_2e). Essas reduções poderão ser utilizadas como créditos de carbono pelos países desenvolvidos como forma de cumprimento de metas de redução de GEE (Protocolo de Quioto, 1997; Lopes, 2002).

O presente estudo visa analisar a viabilidade do desenvolvimento de um projeto de MDL em uma empresa de transporte público urbano, por meio de aplicação de uma metodologia já certificada de MDL. A metodologia prevê a redução de GEE através da introdução de veículos de baixa emissão nas frotas comerciais ou públicas. O cenário avaliado envolveu substituir ônibus convencionais, movidos a diesel, por ônibus híbrido-diesel. Por fim, foi realizada uma análise para verificar a viabilidade do projeto quanto ao aspecto financeiro e quanto ao desenvolvimento de um MDL.

O presente artigo desdobra-se em mais seis seções. Inicia-se com uma revisão das emissões atmosféricas no setor de transportes. Na seção 3, apresenta-se uma revisão bibliográfica do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. A quarta seção contemplou o método de aplicação do trabalho; enquanto que, na seção 5, foi apresentado o cenário de aplicação da metodologia. Os resultados obtidos da aplicação da metodologia e a sua análise foram apresentados na sexta seção. Por fim, na seção 7, foram realizadas as considerações finais acerca da pesquisa.

2. EMISSÕES ATMOSFÉRICAS NO SETOR DE TRANSPORTE

O setor de transportes exerce um papel fundamental no desenvolvimento industrial e econômico de uma nação, uma vez que proporciona acessibilidade a bens, serviços e atividades. Entretanto, a geração de externalidades é inerente aos transportes, e dentre elas estão o congestionamento, risco de acidentes, ruído e emissão de poluentes atmosféricos entre outras (Zegras, 2007; Rosa *et al.*, 2009).

Os poluentes atmosféricos emitidos pelos veículos automotores incluem: dióxido de carbono (CO₂); monóxido de carbono (CO); hidrocarbonetos (HC); aldeídos (R-CHO); óxidos de nitrogênio (NO_x); óxidos de enxofre (SO_x); material particulado (MP); ozônio (O₃) (Gomes, 2008). Os GEE são convertidos para CO₂ equivalente, a fim de uniformizar as quantidades dos diversos gases do efeito estufa numa só medida, possibilitando que estes sejam somados. As emissões dos GEE são convertidas em CO₂ equivalente a partir de um índice, o Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potential* – GWP), fornecido pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC, 1995).

As atividades de transporte estão fortemente ligadas ao PIB, e este por sua vez está ligado diretamente com o desenvolvimento de uma nação. Assim, o grande progresso que está ocorrendo nos países em desenvolvimento resulta no crescimento das atividades de transportes. Logo, propor políticas para redução de emissões de CO₂ na área de transporte é um compromisso internacional. No entanto, essas políticas devem ser bem desenvolvidas para serem flexíveis e amplas, além de focarem em reformas políticas de transportes no curto prazo, tecnologias em médio prazo e medidas de planejamento urbanístico e industrial a longo prazo (Schipper *et al.*, 2000).

O setor de transportes é o setor que apresenta um maior índice de crescimento de emissões de CO₂. Os países em desenvolvimento são responsáveis por tal crescimento, visto que o processo de urbanização nos países desenvolvidos encontra-se em fase de estagnação (Price *et al.*, 2006; Rosa *et al.*, 2009). No Brasil, entretanto, um estudo realizado pela Consultoria McKinsey (2008) apresentou emissões atenuadas no transporte numa projeção para o ano de 2030, devido à produção de etanol da cana de açúcar e ao aumento de utilização da tecnologia *flex fuel*.

Uma das metodologias mais difundidas para avaliar emissões provenientes do setor de transportes é a metodologia “ASIF”. Esta metodologia desenvolvida por Schipper *et al.* (2000) parte do princípio de que as emissões em transportes são resultado de quatro efeitos: (i) Atividades (*Activity*); (ii) Escolha Modal (*Structure*); (iii) Intensidade energética (*Intensity*); e (iv) Combustível (*Fuel*). Esses quatro efeitos compõem a metodologia denominada “ASIF”, demonstrada pela Equação 1.

$$G = A \times S \times I \times F \quad (1)$$

em que:

- G: quantidade de emissões de carbono do transporte analisado;
- A: atividades em transporte [pass.km];
- S: escolha modal [% pass.km];
- I: intensidade energética de cada modal [litros/pass.km]; e
- F: quantidade de CO₂ na exaustão dos combustíveis [quilogramas/litro].

O componente **A** indica o nível de atividade dos transportes, resultado direto da demanda de acesso às atividades econômicas e sociais. Geralmente, quanto mais desenvolvida uma sociedade, maior a atividade dos transportes. A Escolha Modal (**S**), assim como as Atividades (**A**), estão fortemente influenciada pela renda per capita e pela posse de veículos privados (Schipper *et al.*, 2000). A Intensidade energética (**I**) resulta de um conjunto de fatores, tal como o tipo do motor, tecnologias, e idade do veículo. As condições de condução também irão afetar na intensidade energética. Por último, o combustível utilizado (**F**) desempenha um

forte papel na metodologia, uma vez que as concentrações de GEE na exaustão diferem por tipo de combustível (Zegras, 2007).

3. MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO – MDL

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo foi criado para contribuir no desenvolvimento sustentável dos países em desenvolvimento, uma vez que oferece possibilidade dos países listados no Anexo I obterem reduções certificadas dos GEE através da realização de projetos que prevêm redução de emissões no países Não-Anexo I, onde se inclui o Brasil. O mercado do MDL é regulado pelo UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) e todos os projetos submetidos a esse mecanismo devem utilizar uma metodologia aprovada por esta entidade.

Em 2001 na Sétima Conferência das Partes (COP7), estabeleceu-se o Conselho Executivo responsável pela elaboração do ciclo de projeto do MDL. Determinou-se então o ciclo de projeto de MDL, constituído de seis etapas: (i) Elaboração do Documento de Concepção do Projeto – DCP; (ii) Validação/Aprovação; (iii) Registro; (iv) Monitoramento; (v) Verificação/Certificação; (vi) Emissão e aprovação das Reduções Certificadas de Emissões (RCE) (UNEP, 2004). As etapas 1,2 e 3 ocorrem antes da implementação do projeto, enquanto que as etapas 4, 5 e 6 ocorrem durante o período do projeto. Os proponentes do projeto podem optar por um período único de crédito de 10 anos ou por um período de 7 anos, renovável até duas vezes mais, ou seja, para um total de 21 anos (Zegras, 2007).

Há requerimentos mínimos que irão tornar o projeto elegível de realização, dentre eles destaca-se: adicionalidade, linha de base e abrangência do projeto. A adicionalidade é o critério fundamental para a elegibilidade do MDL. Um projeto de MDL é dito adicional se emissões antropogênicas de GEE são reduzidas abaixo do que ocorreriam na ausência do projeto. O requerimento linha de base é o cenário hipotético que representa as emissões antrópicas de GEEs que ocorram dentro da abrangência do projeto. A abrangência do projeto compreende todas as emissões de GEE sob controle dos participantes do projeto que sejam significativas e atribuíveis, de forma razoável, às atividades do projeto (Lopes, 2002). A figura 1 representa graficamente como devem se comportar as emissões da linha de base e do projeto para o projeto ser dito adicional.

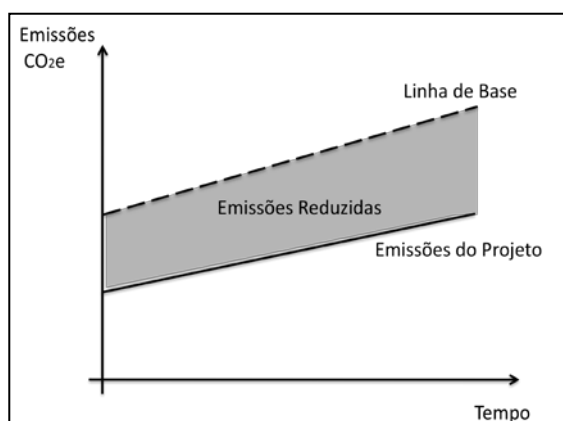


Figura 1 – Gráfico esquemático da linha de base e emissões do projeto (adaptado de Bode e Michaelowa, 2001)

Todos os projetos de MDL devem aplicar metodologia já aprovada, ou desenvolver uma nova metodologia que deverá ser submetida para aprovação. O processo de aprovação e registro de

um projeto de MDL é longo, e o risco de rejeição é alto. Os projetos são classificados conforme potencial de redução de CO₂ equivalente por ano: redução de até 60 ktCO₂ equivalente por ano, são projetos de pequena escala; reduções superiores a 60 ktCO₂ equivalente por ano, são de grande escala. Hoje, mais de 50% dos projetos em processo são de pequena escala, uma vez que estes passarão por um ciclo de projeto mais ágil, além do período de aprovação ser menor (Seres *et al.*, 2009; Grütter, 2007).

3.1 MDL e o Setor de Transportes

O MDL oferece a possibilidade de aumentar o financiamento para projetos de transportes, melhorar a capacidade de planejamento local e avaliação de projetos, além de expandir as oportunidades de transferência de tecnologia. No entanto, existem desafios que tornam complicada a viabilidade desses projetos de MDL no setor de transportes (Barías *et al.*, 2005). Atualmente a UNFCCC tem mais de 2300 projetos aprovados de MDL em andamento, dos quais somente 3 são da área de transportes (UNFCCC, 2010a). As metodologias já aprovadas de MDL contabilizam um total de 145, sendo apenas 8 metodologias aprovadas no setor de transportes (UNFCCC, 2010b). Esses dados comprovam que um MDL para o setor de transportes apresenta suas particularidades e empecilhos.

As considerações realizadas pelo Conselho Executivo devido à rejeição de projetos MDL em transportes abrangem algumas questões a respeito dos requerimentos para validação de um MDL. A primeira trata da abrangência do projeto, mais precisamente sobre a impossibilidade de apurar com precisão a fuga de gases (denominado *leakage*), devido ao efeito rebote, uma vez que a economia realizada no combustível pode dar margem para viagens adicionais, estando estas fora da abrangência do projeto. Outra consideração é sobre o realismo da linha de base e da adicionalidade. Entretanto, esses problemas não são exclusivos das atividades de projetos em transportes, podem simplesmente resultar de um DCP (Documento de Concepção de Projeto) mal desenvolvido (Kuriyama *et al.*, 2004; Zegras, 2007).

Fenham *et al.* (2010) reporta 36 projetos de MDL em transportes tramitando na UNFCCC. Desses 36 projetos, 3 são projetos aprovados, 28 estão sobre validação, 4 tiveram validação negada e 1 foi validado, mas está em revisão. Retornando à metodologia ASIF, a maioria desses projetos compreendem os componentes “SI”, pois envolvem uma alteração da tecnologia de transporte e uma melhora na intensidade energética do veículo. Os outros projetos abrangem apenas os componentes “F” ou “I”. Na tabela 1, foram distribuídos os 36 projetos de acordo com o tipo e quantidade de cada projeto.

Tabela 1: Projetos MDL no setor de transportes em processo na UNFCCC

Tipo projeto	Quantidade
Alteração modal: rodoviário-ferroviário	5
Alteração combustível: biodiesel	8
BRT (<i>Bus Rapid Transit</i>)	13
<i>Cable cars</i>	1
Metrô - eficiência operação	1
Motocicletas elétricas	5
Sistema regenerativo freios - ferrovias	3

Um dos projetos de BRT listados na tabela 1 representa o único projeto de larga escala até então aprovado pelo Conselho Executivo no setor de Transporte. O projeto desenvolvido é de um sistema de BRT, o *TransMilenio*, em Bogotá, na Colômbia. As atividades de projeto iniciaram no final de 2000, e em 2007 já contabilizavam uma redução de 3,8 milhões tCO₂e, com previsão de redução de até 13,5 milhões tCO₂e até a conclusão do projeto. As reduções de GEE foram causadas basicamente pela renovação da frota (veículos com maior capacidade de passageiros e mais eficientes no seu consumo) e pelas melhorias na infra-estrutura. Essas mudanças proporcionaram uma maior atratividade do transporte coletivo, pelo fato do BRT ser um transporte rápido, seguro, confiável e conveniente (Grütter, 2007).

O projeto do *TransMilenio* foi um grande marco para projetos de MDL em transportes. O projeto foi o primeiro a ser registrado, e é o único projeto de larga escala em andamento atualmente. Os outros dois projetos aprovados são de pequena escala. Um dos projetos é em Delhi, na Índia, e o projeto compreende a instalação de sistema de freio regenerativo no metrô de Delhi, com potencial de redução anual em torno de 41 mil tCO₂e. O outro projeto é na Colômbia, em Medellín. O projeto envolve instalação de *Cable cars* para substituir uso de ônibus. O potencial de redução previsto nesse projeto de Medellín é de 17 mil tCO₂e ao ano (UNFCCC, 2010a).

3.2 MDL e troca de tecnologia

O MDL que compreende a troca de tecnologia envolve a substituição da tecnologia atual que emite GEE por uma nova tecnologia que emitirá menos ou, até mesmo, não emitirá GEE. Essas tecnologias no setor de transportes são representadas pelos veículos híbridos, veículos elétricos, entre outros. Relacionando com a metodologia ASIF, o MDL de troca de tecnologia pode abranger uma melhora na intensidade energética (I) se for considerar o veículo híbrido, e troca de combustível (F) quando veículo elétrico.

O veículo de tecnologia híbrido-diesel é definido como um veículo que pode extrair energia de propulsão a partir de duas fontes de energia: motor convencional a diesel e um sistema de armazenamento de energia recarregável, motor elétrico. Os veículos podem ser híbrido série ou híbrido paralelo. No híbrido série o motor elétrico é responsável pela locomoção do veículo, enquanto que o motor a combustão é apenas um auxiliar para carregar a bateria. No híbrido paralelo as duas fontes podem trabalhar para locomoção do veículo, seja independente ou de forma combinada (Wayne *et al.*, 2003).

Estudo realizado em Santiago do Chile sobre a possibilidade de substituir a frota de ônibus convencional, movida a diesel, por ônibus híbrido-diesel revelou-se atraente para desenvolvimento de MDL, pois o projeto tem grandes chances preencher um dos principais requerimentos de um MDL, adicionalidade (Zegras, 2007; Zegras *et al.*, 2008). Essa mudança, além de reduzir emissões de CO₂, pode proporcionar outros importantes benefícios locais como melhor qualidade do ar e redução do ruído dos veículos (Barías *et al.*, 2007; Kellaway, 2007).

Os ônibus híbridos são vistos como um elemento importante na redução de dióxido de carbono e emissões nocivas no setor de transportes. Estes ônibus já aparecem em números significativos em algumas frotas de ônibus urbanos na Europa, e a implantação desta tecnologia no Brasil é uma possibilidade bem realista (D'Agosto e Ribeiro, 2004). No entanto, vale ressaltar que, embora alguns projetos tenham sido bem sucedidos, outros

apresentaram problemas de bateria e falha para conseguir economizar combustível previsto no serviço (Kellaway, 2007). E, ainda que o desempenho dos ônibus híbridos seja similar aos ônibus convencionais, a velocidade máxima e a aceleração do ônibus híbrido são ligeiramente inferiores (Wall *et al.*, 2008).

4. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O desenvolvimento do presente trabalho foi realizado em duas etapas. A primeira etapa consistiu na aplicação da metodologia de escala pequena, “Introdução de veículos/tecnologias de baixa emissão em frotas comerciais”, disponibilizada pela UNFCCC, sob o código AMS-III.S. (UNFCCC, 2010b). Na etapa seguinte, foram analisados os resultados verificando se estes atendiam a todos os requisitos impostos pela UNFCCC e, por fim, concluiu-se a viabilidade do projeto de MDL proposto.

A primeira etapa da aplicação da metodologia atendeu alguns dos requisitos pertencentes à metodologia AMS-III.S. e de grande importância para a viabilidade do projeto. Os requisitos analisados foram: (i) abrangência do projeto; (ii) linha de base das emissões do projeto; (iii) emissões do projeto; (iv) cumprimento da adicionalidade e; (v) monitoramento e verificação das emissões.

No passo (i) demonstrou-se a área de abrangência das emissões do projeto. Foi indispensável limitar a área de compreensão das emissões para comprovar que todas as emissões provenientes da atividade estão sob controle dos participantes do projeto. A metodologia AMS-III.S. não exige o cálculo da “fuga dos gases”, desse modo, não foi necessário calcular as possíveis emissões que por ventura não estejam na abrangência do projeto.

O passo (ii) resultou da aplicação das equações 2 e 3, fornecidas na AMS-III.S.. Na equação 2, foi calculado o fator de emissão de CO₂ por passageiro.

$$BEF_i = \frac{\sum_j \sum_l D_i \times \eta_{BLV_i} \times NCV_j \times EF_{CO_2,j}}{P_i \times dp_i} \quad (2)$$

em que: BEF_i: fator de emissão de CO₂ por passageiro na linha de base pelo veículo *i* [t CO₂/passageiro.km]
D_i: distância total percorrida no ano pelo veículo *i* [km]
η_{BLV,i}: coeficiente de consumo do veículo *i* [quantidade combustível/km]
NCV_j: valor calorífico combustível *j* [MJ/Unidade quantidade combustível]
EF_{CO₂,j}: fator de emissão de CO₂ do combustível *j* usado no veículo *i* [tCO₂/MJ]
P_i: total passageiros no ano no veículo *i*
dp_i: distância média viajada por ano por passageiro no veículo *i*

Ainda no passo (ii), foram obtidas as emissões geradas pela rota selecionada no ano *y* a partir da equação 3.

$$BE_y = \sum P_{i,y,k} \times BEF_i \times dp_{i,y} \quad (3)$$

em que: BE_y: emissões da linha de base no ano *y* [tCO₂/ano]
P_{i,y,k}: total passageiros no ano no veículo *i*, no ano *y*, na rota *k*

BEF_i: fator de emissão de CO₂ por passageiro na linha de base
 [tCO₂/passageiro.km]
 dp_{i,y}: distância média viajada por ano por passageiro no veículo *i* [km]

No passo (iii) calcularam-se as emissões do projeto com o uso do ônibus híbrido na frota urbana. Utilizou-se a equação 4 para obter quantidade de emissões.

$$PE_y = \sum_j \sum_i FC_{i,j,y} \times NCV_j \times EF_{CO_2,j,y} \quad (4)$$

em que: PE_y: emissões total do projeto no ano *y* [tCO₂/ano]
 FC_{i,j,y}: consumo do combustível *j*, no veículo *i*, no ano *y* [quantidade combustível]
 NCV_j: valor calorífico combustível [MJ/Unidade quantidade combustível]
 EF_{CO₂,j,y}: fator de emissão de CO₂ do combustível usado no veículo *i*, no ano *y* [tCO₂/MJ]

No item (iv), demonstrou-se a adicionalidade do projeto. Para tanto, estimou-se o potencial de redução de emissões de CO₂ subtraindo o resultado obtido no item (iii) pelo valor obtido em (ii). E, para demonstrar que o projeto é adicional, estabeleceu-se um cenário futuro para os próximos 10 anos. No cenário futuro pressupôs-se de que a população irá crescer, porém os padrões de deslocamento e as tecnologias veiculares e de combustíveis se manterão os mesmos de hoje. Então, foram projetadas as emissões da linha de base e as emissões do projeto no cenário futuro e verificou-se se o projeto é adicional.

Para finalizar a primeira etapa, estabeleceu-se um plano de monitoramento e verificação das emissões (v) para o controle do projeto. O plano de monitoramento é muito importante uma vez que as Reduções Certificadas de Emissões dependerão diretamente de como estará sendo monitorado o projeto, e se os dados refletem a realidade. Finalizando os itens de (i) a (v), concluiu-se esta etapa inicial.

Após levantamento de todos os dados na etapa inicial, na segunda etapa estimou-se um custo de investimento inicial do projeto com a compra de novos veículos e o possível ganho com as Reduções Certificadas de Emissões. Assim, foi analisada a viabilidade do projeto quanto ao aspecto financeiro e quanto ao desenvolvimento e aprovação de um MDL conforme os requisitos exigidos pelo Conselho Executivo.

5. CENÁRIO DA APLICAÇÃO

O estudo foi realizado numa empresa pública de transporte coletivo da cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. É a mais antiga empresa de transporte coletivo do país em atividade e já foi considerada pela Associação Nacional dos Transportes Públicos a melhor empresa de ônibus urbano do Brasil. Atualmente, a empresa detém 27 linhas em Porto Alegre, conduzindo diariamente 270 mil pessoas e percorrendo um total de 69 mil quilômetros. O quadro operacional conta com cerca de 1.600 funcionários, entre motoristas, cobradores, mecânicos e outros profissionais.

Selecionou-se apenas uma linha de ônibus da empresa para fazer análise do estudo. A linha selecionada denominou-se Linha Piloto. A Linha Piloto é uma linha que liga zona norte e zona sul da cidade de Porto Alegre. Seu trajeto percorre pontos bem importantes como,

centros comerciais, hospitais, universidade e colégios. A figura 2 ilustra o itinerário da Linha Piloto em um mapa de Porto Alegre.

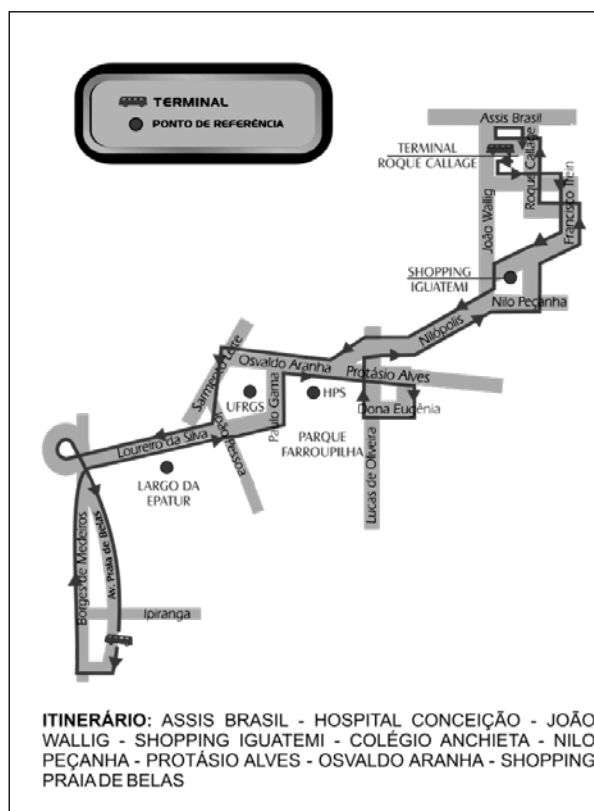


Figura 2 – Trajeto Linha Piloto

A empresa forneceu dados da Linha Piloto referente ao ano de 2009 para posterior aplicação da metodologia AMS-III.S. Alguns dos dados fornecidos foram: total de veículos da frota, valor de veículo, capacidade de passageiros, coeficiente de consumo médio de combustível pela frota, distância total percorrida no ano, distância média viajada por passageiros da linha, e total de passageiros em 2009. Os dados são apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Informações da Linha Piloto

Informações Linha Piloto – ano 2009	
Total veículos	16
Preço médio veículo novo (R\$)	420.000
Capacidade média veículo [passageiros sentados]	54
Capacidade média veículo [passageiros sentados e em pé]	91
Média consumo ($\eta_{BLV,i}$) [l/km]	0,5272
Distância total percorrida no ano (D_i) [km]	977.401,66
Distância média viajada por passageiro por ano (dp_i) [km]	3.776,00
Total passageiros (P_i)	4.654.350,00

O veículo de baixa emissão a ser introduzido na frota é de tecnologia híbrida. O modelo é o Volvo 7700 Híbrido. De acordo com os dados fornecidos pelo fabricante, este modelo

consome até 35% menos combustível, emite até 50% menos gases poluentes que os ônibus convencionais em operação na Europa, tem capacidade para transportar até 95 passageiros e pesa apenas 200 kg a mais que o modelo convencional (Volvo, 2010).

Este ônibus híbrido tem uma configuração híbrida paralela, o que significa que o ônibus tem um motor diesel e outro elétrico, que tracionam o veículo de forma simultânea ou independente. O fabricante avalia que este modelo tenha o mesmo ciclo de vida que os modelos convencionais. Quanto à manutenção do veículo, segundo o fabricante, a frequência de manutenção deve ser igual ou até menor, se comparada com os ônibus convencionais (Volvo, 2009). O valor do modelo pode variar conforme as especificações do cliente, mas uma estimativa fornecida pelo fabricante foi de R\$680 mil.

6. RESULTADOS DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Esta seção contém os resultados encontrados a partir da aplicação dos passos descritos nos procedimentos metodológicos.

6.1 Aplicação da metodologia AMS-III.S.

Na etapa (i) definiu-se a abrangência do projeto, a qual se limita ao percurso da linha, ilustrado na figura 2. Também foram considerados os deslocamentos adicionais, como deslocamento até depósito dos veículos e até posto para abastecimento de combustível. No entanto, nenhum desses deslocamentos deverá sair do controle dos participantes do projeto, pois os veículos passarão a ser monitorados.

No passo (ii) foram calculadas as emissões da linha de base a partir das equações 2 e 3. Primeiro aplicou-se a equação 2. As variáveis $\eta_{BLV,i}$, D_i , P_i e dp_i são apresentadas na tabela 2. Para as variáveis NCV_j (MJ/Unidade quantidade combustível) e $EF_{CO_2,j}$ (tCO_2/MJ) a metodologia AMS-III.S. sugere usar dados fornecidos pelo país concedente, então utilizou-se um único fator de emissão, fornecido no Inventário de Emissões de Fontes Móveis Brasileiro (Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006), 2,799 $kgCO_2$ por litro de diesel. Assim, chegou-se no fator de emissão de CO_2 por passageiro que é $8,21 \times 10^{-8} tCO_2/passageiro.km$. Com o resultado da equação 2, calculou-se então, a linha de base do ano 2009 com equação 3. As emissões da linha de base da Linha de ônibus Piloto são de aproximadamente 1,45 $ktCO_2$ por ano.

No passo (iii) foram obtidas as emissões do projeto. As emissões foram calculadas com base na equação 4. Como o veículo de estudo é de tecnologia híbrida, devem ser considerados o consumo do motor elétrico e do motor a diesel. O motor elétrico do Volvo Híbrido é alimentado por uma bateria de lítio e íon que é recarregada durante tração dos freios. Portanto, não há emissão de GEE oriundas da parte elétrica do motor.

Para cálculo das emissões provenientes do motor de combustão a diesel, considerou-se que o Volvo Híbrido consome 35% menos combustível que ônibus atual, sendo assim, se antes o veículo consumia 0,53 litros/km, o Volvo Híbrido consumirá 0,34 litros/km. A variável $FC_{i,j,y}$ é o consumo do diesel, no veículo híbrido, e supôs-se o ano de 2009. Assim, multiplicou-se o coeficiente de consumo do ônibus híbrido pela distância total percorrida pelo ônibus na Linha Piloto no ano de 2009. O fator de emissão permanece 2,799 $kgCO_2/litro$. Desse modo, pela equação 4 foram estimadas as emissões de CO_2 na Linha Piloto com uso do Volvo Híbrido, e obteve-se 0,95 $ktCO_2$ no ano de 2009.

No passo (iv), primeiramente, analisou-se o potencial de redução de emissões, que é de aproximadamente 0,5 ktCO₂ ao ano. Para estimar as emissões da linha de base para os anos de 2009 até 2018, considerou-se o fator de emissão por passageiro, resultado da equação 2 (BEF_i). Conforme o cenário futuro, manteve-se a distância média viajada por passageiro ao ano, e para estimar o total de passageiros ao ano, considerou-se uma taxa de crescimento de 0,58% para cidade de Porto Alegre (IBGE, 2009). Esses dados foram reaplicados para o período de duração do projeto, 10 anos, de acordo com a equação 3. Os resultados ao longo de 10 anos resultaram na projeção para linha de base.

As emissões do projeto foram estimadas seguindo os mesmos cálculos da projeção da linha de base. Então, primeiro, calculou-se o fator de emissão por passageiro para o veículo híbrido, a partir da equação 2. O total de passageiros para os anos seguintes foi considerado o mesmo que o utilizado na linha de base, assim como foi considerada a mesma distância média viajada por passageiro por ano. Por fim, aplicando a equação 3 foi obtida a projeção das emissões futuras para atividade de projeto com ônibus híbrido. A figura 3 ilustra graficamente as projeções da linha de base e das emissões do projeto, representando, assim, a adicionalidade do projeto.

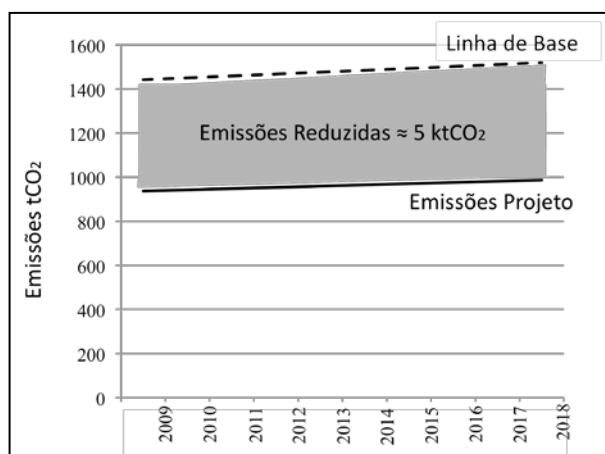


Figura 3 – Representação das emissões da linha de base e do projeto

Por fim, no passo (v) foi estipulado um plano de monitoramento e verificação das emissões do projeto. O plano consiste em um sistema de gerenciamento da frota, no qual todos os ônibus serão equipados com sistema GPS, com o qual serão verificadas diariamente as distâncias percorridas, velocidade média, entre outros dados. O volume de passageiros será controlado pelo sistema de bilhetagem eletrônica, e a distância média viajada pelos passageiros será verificada pelas pesquisas de embarque/desembarque.

6.2 Análise de resultados

O custo do investimento inicial foi baseado na compra de novos veículos. O custo unitário do Volvo 7700 Híbrido é de aproximadamente R\$680 mil, como a frota da Linha Piloto é composta por 16 ônibus, o investimento seria de R\$10,88 milhões. Em 10 anos, na hipótese da aprovação do projeto e considerando o cenário futuro, os possíveis ganhos seriam: R\$150 mil com as RCE, considerando R\$30 cada tonelada de CO₂ (ICE, 2010) e R\$3,5 milhões com a economia do consumo do combustível.

Para verificar se os ganhos proporcionados pelo projeto se justificam em termos financeiros, considerou-se a frota atual da Linha Piloto e supôs-se que o investimento para a compra dos

ônibus convencionais seria em torno R\$6,7 milhões para os 16 veículos da frota. Em uma projeção para período de 10 anos, a compra do ônibus híbrido se justificou, pois os ganhos com os créditos de carbono e com a economia proporcionado pelo consumo do novo veículo tornam a aquisição vantajosa. Na tabela 3 são apresentados dados comparativos entre ônibus híbridos e o ônibus convencional utilizado atualmente na Linha Piloto.

Tabela 3: Ônibus híbridos x Ônibus convencional

	ônibus híbrido	x	ônibus convencional
investimento frota (16 veículos)	R\$10.880.000		R\$6.720.000
$\eta_{BLV,i}$ [l/km]	0,34		0,53
D_i [km]	977.402		977.402
quantidade litros por ano [l/ano]	334.956		515.286
litro diesel [R\$]	R\$2		R\$2
consumo em R\$ (10 anos)	R\$6.699.113		R\$10.305.727
Reduções Certificadas de Emissões	(-)R\$151.447		R\$0
investimento + despesas + ganhos	R\$17.427.666		R\$17.025.727

Quanto à elegibilidade do projeto, analisando os requisitos que tornam um projeto de MDL viável, foi possível delimitar a abrangência do projeto, e de acordo com a metodologia aplicada, não foi necessário estimar a “fuga dos gases”. Para determinar a linha de base obteve-se dados de fontes seguras e confiáveis, tornando real as emissões da linha de base, assim como as emissões do projeto proposto. Conseguiu-se constatar um dos requisitos mais importante para a realização de um MDL, a adicionalidade do projeto. E o plano de monitoramento e verificação das emissões mostrou-se factível. Desse modo, o projeto provou-se viável.

O potencial de redução de poluentes atmosféricos proporcionado pelo projeto é uma pequena parcela do que pode vir a ser o potencial de redução, se houver, ao longo dos anos, uma substituição dos veículos de toda a frota urbana de transporte público da cidade de Porto Alegre. Como o projeto mostrou-se viável em ambos aspectos analisados, espera-se que os projetos no setor de transportes passem a representar uma parcela mais significativa na contribuição contra o aquecimento global.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Reduções de poluentes atmosféricos provenientes do setor de transporte contribuem para o desenvolvimento sustentável de uma nação e proporcionam uma melhor qualidade de vida para os cidadãos. Este trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade do desenvolvimento de um projeto de MDL no setor de transporte a partir do uso de ônibus de tecnologia híbrido-diesel em frota de transporte público. Para tanto, aplicou-se uma metodologia aprovada de MDL em uma frota veicular de uma empresa de transporte público urbano e verificou-se a elegibilidade do projeto conforme aspectos financeiros e os requisitos exigidos pelo Conselho Executivo da UNFCCC.

Selecionou-se uma linha de transporte público urbano da cidade de Porto Alegre e aplicou-se a metodologia da UNFCCC. A partir da aplicação da metodologia, estimou-se: abrangência do projeto, linha de base, emissões do projeto, adicionalidade e plano de monitoramento. Com

base nos resultados obtidos, concluiu-se que em um horizonte de 10 anos, a substituição dos ônibus convencionais de motor a diesel por ônibus híbrido poderá proporcionar uma redução 5 ktCO₂, além de proporcionar uma melhoria na qualidade do ar e uma redução dos ruídos proveniente dos ônibus.

O projeto de introdução de veículos híbridos na frota de transporte público mostrou-se viável em termos de desenvolvimento de um MDL para setor de transporte e em termos financeiros. Com isso os projetos em transportes podem se tornar mais atrativos para investidores e empresas de transportes. Resta agora que os fabricantes dos modelos híbridos estejam preparados para suprir as necessidades de uma substituição total de uma frota urbana, já que, comercialmente, as frotas parecem ser viáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barías, J. L.; Browne, J.; Sanhueza, E.; Silsbe, E.; Winkelman, S. e C. Zegras (2005) Getting on Track: Finding a Path for Transportation in the CDM. Final Report. Disponível em <<http://www.iisd.org/publications/pub.aspx?pno=690>> Acesso em 20.08.2010
- Baumert, K. A.; Herzog, T.; e J. Pershing (2005) *Navigating the Numbers: Greenhouse Gas Data and International Climate Policy*. World Resources Institute. Disponível em: <<http://www.wri.org/publication/navigating-the-numbers>>
- Bode, S. e A. Michaelow (2001) Avoiding perverse effects of baseline and investment additionality determination in the case of renewable energy projects. *Hamburg Institute of International Economics*, Discussion Paper, n. 148. Disponível em: <<http://www.econstor.eu/bitstream/10419/19403/1/148.pdf>>
- D'Agosto, M. A. e S. K. Ribeiro (2004) Performance evaluation of hybrid-drive buses and potential fuel savings in Brazilian urban transit. *Transportation*, v31, p.479-496.
- Fenham, J.; Antonsen, R.; Staun, F. e M. Karavai (2010) UNEP Risoe CDM/JI Pipeline Analysis and Database November 1st 2010. Disponível em: <<http://cdmpipeline.org>> Acesso em 10.11.2010.
- Goldemberg, J. (2000) Mudanças climáticas e desenvolvimento. *Estudos Avançados*, vol.14, n.39, p. 77-83.
- Gomes, V. A. (2008) Modelo de Avaliação da Poluição Atmosférica devido ao fluxo de Veículos em cidades de pequeno porte. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: <http://www.webposgrad.propp.ufu.br/ppg/producao_anexos/009_VivianiAntunesGomes.pdf> Acesso em 15.11.2009
- Grütter, J. M. (2007) The CDM in the Transport Sector. Module 5d. Sustainable Transport: A Sourcebook for Policy-makers in Developing Cities Disponível em: <www.gtz.de/de/dokumente/en-cdm-transport-sector-2007.pdf> Acesso em 01.09.2009
- IBGE (2009) Indicadores e dados básicos Brasil 2009. Disponível em <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/idb2009/a03cap.htm>> . Acesso em 10.11.2010.
- Intercontinental Exchange (ICE) Dados do mercado de carbono. Disponível em <<https://www.theice.com/productguide/ProductDetails.shtml?specId=814666>> Acesso em 15.11.2010
- IPCC (1995) Climate Change 1995: The Science of Climate Change: Summary for Policymakers and Technical Summary of the Working Group I Report. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.htm> Acesso em 01.09.2009
- IPCC (2007) Climate Change 2007: Synthesis Report. Geneva, Switzerland. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm> Acesso em 01.09.2009
- Kellaway, M. J. (2007) Hybrid Buses – What their batteries really need to do. *Journal of Power Sources*, v.168, p.95-98.
- Kuriyama, K.; Tanaka, K.; Shibahara, N.; Kato, H. e Y. Hayashi (2004) A life Cycle assessment approach for examining the feasibility of transport projects as a CDM Program. *Journal of Global Environment Engineering*, Vol. 10, p. 157-165.
- Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, (1997). Disponível em <<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng>> Acesso em 25.10.2009
- Lopes, I. V. (2002). O mecanismo de desenvolvimento limpo: guia de orientação. Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas.
- McKinsey&Company 2009. Caminhos para uma economia de baixa emissão de carbono no Brasil. Disponível em <http://www.mckinsey.com.br/sao_paulo/carbono.pdf> Acesso em 20.09.2009
- Ministério da Ciência e Tecnologia (2006) Primeiro Inventário Brasileiro de emissões antrópicas de gases do

- efeito estufa. Disponível em: <http://homologa.ambiente.sp.gov.br/proclima/publicacoes/relatorios_referencias/setor_energetico/3.pdf> Acesso 5.11.2010.
- Price, L.; de la Rue du Can, S.; Sinton, J.; Worrell, E.; Nan, Z.; Sathaye, J. e M. Levine (2006) Sectoral trends in global energy use and greenhouse gas emissions. Ernest Orlando Berkeley National Laboratory, Environmental Energy Technologies Division, Berkeley, CA. Disponível em: <<http://ies.lbl.gov/iespubs/56144.pdf>> Acesso em 20.10.2009.
- Queiroz, J. F. (2007) Introdução do Veículo Híbrido no Brasil: Avanço Tecnológico aliado à qualidade de Vida. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Disponível em <<http://www.mecanica-poliusp.org.br/05pesq/cont/pdf/711.pdf>> Acesso 15.11.2009.
- Ramanathan, V. e Y Feng (2009) Air pollution, greenhouse gases and climate change: Global and regional perspectives. *Atmospheric Environment*, vol. 43, n.1, p. 37-50
- Resolução Conama N.º 003 de 28 de junho de 1990. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>> Acesso 12.09.2010
- Rosa, M. V. F.; Obelheiro, M. R.; Bottesini, G. e L. A. Lindau (2009) Estimando as emissões atuais e futuras do transporte urbano no Brasil. Disponível em <<http://www.cntdespoluir.org.br>> Acesso em 20.09.2009
- Schipper, L.; C. Marie-Lilliu e R. Gorham (2000) Flexing the Link between Transport and Greenhouse Gas Emissions: A Path for the World Bank. Paris: International Energy Agency. Disponível em <<http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/flex2000.pdf>>
- Seres, S.; Haites, E. e K. Murphy (2009) Analysis os technology transfer in CDM projects: An update. *Energy Policy*, vol.37, n.11.
- United Nations Environment Programme (UNEP) (2004) CDM Information and Guidebook. 2nd Edition Disponível em <<http://www.cd4cdm.org/Publications/cdm%20guideline%202nd%20edition.pdf>> Acesso 15.11.2009.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (2010a) CDM: Project Activities, Registered. Database, Disponível em <<http://cdm.unfccc.int/Projects/registered.html>> Acesso em 10.09.2010.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (2010b) Approved Baseline and Monitoring Methodologies. Disponível em <<http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/approved.html>> Acesso em 30.08.2010.
- Volvo (2009) Press Information. Disponível em <http://www.volvo.com/NR/rdonlyres/7737EF52-7784-456F-9C01-329A8CBAE1A9/0/ENG_Pressinfo_Volvo_Hybrid.pdf> Acesso em 25.10.2010.
- Volvo (2010) Brochura Volvo 7770 Híbrido. Disponível em <<http://www.volvobuses.com/bus/brazil/pt-br/onibus/urbanos/volvohibrido/Pages/default.aspx>>. Acesso em 25.10.2010.
- Wall, G.; Felstead, T.; Richards, A. e M. Mcdonald (2008) Cleaner vehicles buses in Winchester. *Transport Policy*, v.25, p.55-68.
- Wayne, W. S.; Clark, N. N.; Nine, R. D. e D. Elefante (2003) A Comparison of Emissions and Fuel Economy from Hybrid-Electric and Conventional-Drive Transit Buses. *Energy & Fuels*, v.18, p.257-270.
- Zegras, P. C. (2007) As IF Kyoto mattered: The clean development mechanism and transportation. *Energy Policy*, v.35, p.5136-5150.
- Zegras, C.; Chen Y. e J. Grütter (2008) Potentials and Challenges for Using the Clean Development Mechanism for Transport-Efficient Development: A Case Study of Nanchang, China. Paper accepted for presentation at Transportation Research Board 2009 Annual Meeting. Disponível em <<http://web.mit.edu/czegras/www/Papers.htm>> Acesso em 10.09.2010.