Potential of the road-rail intermodality in mitigating CO_2 emissions: the case of São Paulo state cargo transport sector

Potencial da intermodalidade rodo-ferroviária na mitigação das emissões de CO_2: o caso do setor de transporte de cargas do Estado de São Paulo

Rodrigo Galbieri [1]
André Felipe Simões [1, 2]

[1]**Planejamento de Sistemas Energéticos / Faculdade de Engenharia Mecânica – UNICAMP**
galbieri@fem.unicamp.br
afsimoes@fem.unicamp.br

[2]**Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH) da Universidade de São Paulo (USP)**
afsimoes@usp.br

Abstract: The imbalance of the transportation matrix of the state of São Paulo has been considered critical: about 88.6% of the cargoes that circulated on the state used roads as a means and only 9.5% of this transportation was made through railways. This imbalance in favour of the road model, more energy-intensive, causes many economic problems; social and environmental impacts for São Paulo state. Namely, this causes higher consumption of fossil - based fuels (Diesel), therefore causing higher rates of pollutant emissions. Using as basis the studies for the infrastructure implementation, from the Master Plan of the Secretary of Transportation of the State of São Paulo, the main goal of this work is to show the potential for fuel economy (Diesel) and therefore the reduction of CO_2 emissions that can be accomplished by an effective implementation of the road-rail intermodal model within São Paulo.

Keywords: Railway intermodality, cargoes transportation, consumption of Diesel, CO_2 emission.

Resumo: O desbalanceamento da matriz de transporte de cargas paulista tem sido considerada crítica. No ano de 2006, cerca de 88,6% das cargas que circularam pelo Estado de São Paulo foram transportadas por meio de rodovias e apenas 9,5% por meio de ferrovias em toneladas-quilômetro-útil. Esse desbalanceamento em favor do modal rodoviário, mais energo-intensivo, causa inúmeros problemas econômicos, sociais e ambientais para o Estado de São Paulo, destacando-se: maior consumo de combustíveis fósseis (óleo Diesel) e maiores emissões de poluentes e gases de efeito estufa. Tendo como base os estudos de implementação das obras de infraestrutura do Plano Diretor da Secretária de Transportes do Estado de São Paulo (PDDT-Vivo 2000/2020), o principal objetivo deste Estudo é quantificar o potencial em economia de combustível fóssil (no caso o óleo Diesel) e diminuição das emissões de CO_2 associados à implementação da intermodalidade rodo-ferroviária no Estado de São Paulo.

Palavras-Chave: Intermodalidade rodo-ferroviária, transporte de cargas, consumo de óleo Diesel, emissões de CO_2.

1 Introdução

Energia é essencial para a humanidade na busca de vida saudável e produtiva; ela é necessária à produção de alimentos, vestuário e de outros bens básicos, para edificações, residências, comércio, hospitais e saúde, educação e para o transporte de carga e pessoas [1] [2] [3] [4]. Por outro lado, a produção de energia elétrica e de vapor predominantemente baseada em combustíveis fósseis, e o consumo direto desses combustíveis, têm como resultado a degradação do meio ambiente (destacando-se a poluição local do ar, a poluição regional por meio da chuva ácida e a poluição global com as emissões de gases) [1]. A humanidade tem se preocupado cada vez mais em promover uma reestruturação de suas economias, uma vez que o padrão energético mundial repousa em 92% sobre o uso de fontes fósseis de energia [5]. O consumo global de energia possui uma forte motivação para continuar crescendo [3], e a desigualdade regional do uso de energia pode trazer impactos para as gerações futuras.

O setor de transporte, além de ser o setor mais dependente de petróleo é o que possui as maiores taxas de crescimento do consumo de derivados de petróleo, atualmente perfazendo cerca de 61,7% do consumo mundial [5]. O setor de transporte também é responsável por cerca de 13,1% das emissões de gases de efeito estufa (GEE) [6]. Sendo o setor que possui o maior crescimento dentre todos os setores econômicos, principalmente nos países atualmente chamados emergentes – Brasil, Rússia, China e Índia – [7], a preocupação com seus impactos aumentam no longo prazo. A tendência é que essa participação continue crescendo nas

próximas décadas, podendo alcançar cerca de 20% das emissões de GEE no ano de 2030 [3]. Como o Brasil ainda não possui um sistema de transportes maduro, isto é, ainda se encontra em fase de expansão da infraestrutura de transporte, devido ao crescimento econômico, corre-se o risco de tornar a movimentação de passageiros e de carga ainda mais intensiva em energia e consequentemente mais poluidora.

Outro grande problema do setor de transportes brasileiro está nas altas concentrações de automóveis em determinadas regiões, causando congestionamentos de quilômetros de distância constantemente. No estado de São Paulo, o problema, que atualmente já é grave, tende a piorar no médio e longo prazo, muito devido ao crescimento econômico e aumento das taxas de motorização. A macrometrópole (Região Metropolitana de São Paulo e mais o espaço geoeconômico que a envolve, delimitado pelo quadrilátero Sorocaba, Campinas, São José dos Campos e Santos) ilustra bem essa concentração de veículos e os seus problemas (Figura 1). Apenas por essa região trafegam cerca de 50% do fluxo total de mercadorias do estado de São Paulo [8], causando constantemente congestionamentos da ordem de quilômetros de distância, prejudicando a saúde e o bem estar da sua população e também a economia do estado. Por outro lado, justamente pelo fato de haver ainda muito que expandir em termos de sistema de transporte, emerge a oportunidade para o governo brasileiro e paulista (e para o setor privado) de realizar essa expansão de forma mais sustentável, aumentando, por exemplo, o uso de combustíveis alternativos (em especial, etanol e biodiesel).

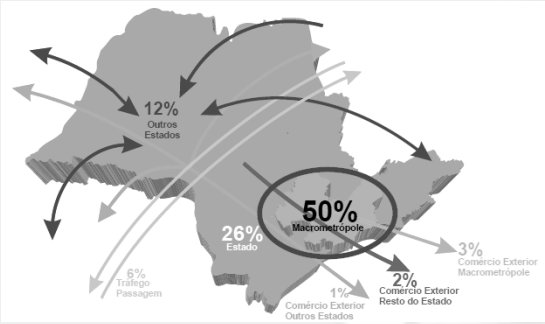

Figura 1: Fluxo de mercadorias no estado de São Paulo – em destaque a macrometrópole.

O maior emprego de recursos energéticos renováveis na frota rodoviária brasileira somada a uma melhora na eficiência energética do modal, por meio de veículos com motores mais eficientes e materiais mais leves, auxiliaria na mitigação das emissões de GEE [4] [7]. Outra estratégia fundamentada na sustentabilidade do setor de transportes brasileiro seria combater a predominância do modal rodoviário na matriz de transporte brasileira, principalmente no caso do transporte de carga, responsável por cerca de 58% da carga transportada pelo país [8]. Nesse contexto, cabe ressaltar que a intermodalidade pode vir a desempenhar papel decisivo, seja na busca de um setor de transporte mais sustentável [4], seja pelo grande potencial de economia de energia e de mitigação das emissões de GEE [9], e, além disso, pelo retardamento do avanço de congestionamentos e por aliviar diretamente os já existentes [10]. Portanto, a substituição parcial de transporte de carga via caminhões por transporte via vagões de trens, foco deste estudo, é deveras oportuna.

Nesse contexto, tendo como base os estudos em implementação de obras de infraestrutura do Plano Diretor da Secretária de Transportes do Estado de São Paulo (PDDT-Vivo 2000/2020), o principal objetivo deste estudo é quantificar a economia de combustível (óleo Diesel) e a diminuição das emissões de CO_2 que uma implementação efetiva da intermodalidade rodo-ferroviária[1] dentro do estado de São Paulo. Para tanto, projetou-se a evolução, até o ano 2029, da demanda de transporte de cargas no referido estado brasileiro. Em tal projeção, cotejou-se um aumento gradual da participação do modal ferroviário em detrimento do modal rodoviário na matriz de transporte de cargas paulista.

2 Ações planejadas no modal rodoviário

A melhoria e possível otimização do fluxo de carga geral – que, de acordo com as projeções do PDDT-Vivo 2000/2020, poderá atingir aproximadamente um bilhão de toneladas em 2020 – são questões fundamentais do plano estratégico de transportes de São Paulo. Não obstante, a cadeia logística da qual ela faz parte deve apresentar flexibilidade suficiente para poder, além do transporte propriamente dito, atender com eficiência operacional e econômica às necessidades de estocagem, agregação de valor e distribuição. O contêiner é a tecnologia por excelência do transporte de carga geral, permitindo que as transferências inter ou intramodais sejam feitas com prazos e custos menores. Essas razões determinam que o sistema intermodal mais indicado a ser implementado no estado de São Paulo seja majoritariamente rodo-ferroviário.

Objetivando a mudança da matriz de transporte de cargas dentro do estado de São Paulo, com o aumento da participação do modal ferroviário e consequente diminuição da participação do modal rodoviário, a Secretaria de Transporte, por meio do PDDT-Vivo, propôs uma série de melhorias na infraestrutura de transporte no estado. Os principais projetos[2] (alternativas) envolvendo o modal rodoviário, propostos pelo PDDT-Vivo 2000/2020, objetivando a continuidade futura do transporte de cargas no estado de São Paulo são: (1) Implantação do Rodoanel Mário Covas, com 170 km de extensão, ligando dez rodovias, circundando o núcleo urbano da RMSP (trecho Oeste concluído em outubro de 2002; trecho Sul concluído em abril de 2010; trecho Leste em construção e trecho Norte ainda em fase de estudos); (2) Início das obras complementares da pista descendente da Rodovia dos Imigrantes; (3) Duplicação e construção de novas rodovias; (4) Construção de terceiras faixas em trechos localizados; (5) Ampliação da malha de estradas vicinais; e (6) Recuperação do pavimento da malha existente. Já em relação ao modal ferroviário, os principais projetos (alternativas) propostos

[1] O termo "rodo-ferroviário" é usado neste artigo para designar a intermodalidade "rodoviária-ferroviária", distinguindo-se do termo formal "rodoferroviária".

[2] Alguns já executados, como a duplicação da Rodovia dos Imigrantes e o prolongamento da Rodovia dos Bandeirantes.

pelo PDDT-Vivo, objetivando a mudança de matriz de transporte conforme apresentada anteriormente, são apresentados na Figura 2.

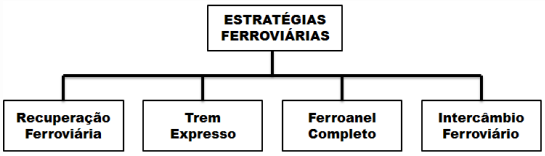

Figura 2: Organograma das estratégias ferroviárias previstas pelo PDDT-Vivo 2000/2020.

A alternativa "recuperação ferroviária" visa a atualizar o nível técnico e operacional da malha, aumentando os ganhos de produtividade decorrentes da operação em moldes privados. Os investimentos mínimos avaliados para que se cumpra essa proposta são de cerca de R$ 1,2 bilhões [8].

Tais incrementos de produtividade estão associados à gestão privada das ferrovias, cujos benefícios não teriam, ainda, sido percebidos pelo mercado. Comparativamente, a recuperação pressupõe que o transporte ferroviário imprimirá maior confiabilidade nos serviços prestados, significando cumprimento de prazos contratados, maior segurança, minimização de acidentes e redução do índice de perdas.

A outra proposta apresentada pelo PDDT-Vivo de suma importância para o aumento da participação do modal ferroviário na matriz de transporte paulista é a construção dos tramos Norte e Sul do Ferroanel. A construção dos tramos Norte e Sul do Ferroanel tem papel essencial no arcabouço intermodal, pois eles facilitam a movimentação regional de cargas e urbana de passageiros.

O Tramo Sul interliga as linhas da FERROBAN (atualmente ALL) com as da MRS ao sul da RMSP, viabilizando tráfego mútuo entre as duas ferrovias, notadamente, para aqueles de passagem de Minas e Rio de Janeiro para a Região Sul e vice-versa. Esses fluxos têm se intensificado em função da maior demanda por produtos siderúrgicos – produzidos no Rio de Janeiro e Minas Gerais – e pelas indústrias automobilísticas instaladas no Paraná e Rio Grande do Sul. Além disso, o Tramo Sul viabiliza maior integração de acesso ao Porto de Santos de cargas provenientes do Vale do Paraíba e do leste da RMSP, através da conexão das linhas da MRS (bitola larga) com entroncamento da bitola estreita da Ferroban em Evangelista de Souza. O Tramo Norte permite a movimentação de cargas, principalmente de contêineres, da região de Campinas para o Porto de Santos via cremalheira, além da transposição de comboios entre o Interior do Estado e o Vale do Paraíba. Os investimentos previstos são da ordem de R$ 925 milhões [8].

Já a proposta de intercâmbio operacional entre ferrovias corresponde à possibilidade de tráfego mútuo entre as ferrovias. Uma empresa ferroviária pode captar cargas em áreas servidas por outra, sendo esta remunerada pelo uso da via. Esta possibilidade operacional abre também espaço para estimular a competitividade na exploração de mercados, que de outra forma estariam restritos ao atendimento de uma única empresa.

E por fim, e não menos importante, a alternativa "trem expresso" de carga considera a possibilidade do uso de trens de carga com uma dada configuração física e operacional que capacita a ferrovia, em alguns eixos, a captar parcela do mercado de carga geral (fracionada), tradicionalmente movimentada pelo modo rodoviário. Nesse contexto, a Figura 3 mostra a localização da implantação dos trens expressos no estado de São Paulo e dos Centros Logísticos Integrados (CLI).

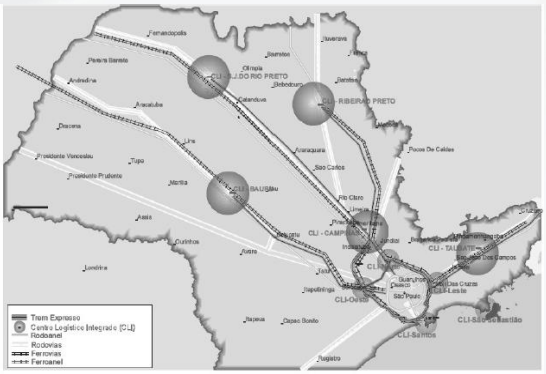

Figura 3: Mapa da localização dos trens expressos e dos CLIs previstos no PDDT-Vivo 2000/2020.

De acordo com o PDDT-Vivo 2000/2020, para que a alternativa trem expresso consiga fazer com que uma parte considerável das cargas antes transportadas pelo modal rodoviário migre para o modal ferroviário, é necessária uma série de condições físicas e operacionais, tais como: existência de grandes terminais intermodais para alimentar o sistema; modernos equipamentos de carga e descarga que garantam tempo reduzido de permanência dos comboios nos terminais; operação de trens com velocidades médias de 50 km/h (a velocidade média nas ferrovias tradicionais é de 10 km/h e a dos caminhões é de 78 km/h em rodovia de pista dupla; funcionalidade do sistema garanta confiabilidade dos prazos, segurança da carga; custos ferroviários são similares aos rodoviários para distâncias médias em torno de 150-200 km. Os investimentos previstos na alternativa trem expresso, incluindo as CLIs, são da ordem de R$ 1,575 bilhões [8].

Apresenta-se, a seguir, uma estimativa do potencial de redução tanto no consumo de óleo Diesel, quanto nas emissões de CO_2 que uma modificação na matriz de transporte de cargas no estado de São Paulo, nos moldes previstos pelo PDDT-Vivo 2000/2020, pode gerar no período de 2009 a 2029.

3 Matriz de transporte e custo

A Tabela 1 apresenta comparação entre os investimentos necessários por TKU transportado entre os modais ferroviário e rodoviário para os casos do Brasil e dos Estados Unidos (EUA). Cabe ressaltar que, neste caso, optou-se pela comparação entre Brasil e EUA principalmente em vista das dimensões tipicamente continentais de ambas as nações (ou seja, em tese, as matrizes de transporte dessas nações poderiam ser caracteristicamente similares).

A observância dos dados da Tabela 1 deixa patente o quão centrada no modal rodoviário é a matriz de transportes do Brasil. Já no caso dos EUA, há um equilíbrio maior entre esses dois meios de transporte (no caso, os dois meios mais utilizados por ambos os países em foco). Constata-se também que tanto para o caso brasileiro quanto para a realidade norte-americana, o modal rodoviário está associado a elevado custo relativo (face ao modal ferroviário, no caso) em US$ por mil TKU. Isto se deve, em parte, à menor eficiência energética do modal rodoviário frente ao modal ferroviário [12]. Consequentemente, este panorama traduz-se também (e de modo geral) em menor geração de impactos ambientais (como emissão de gases do efeito estufa, por exemplo) para o caso do modal ferroviário (em comparação ao rodoviário) [13].

Tabela 1: Custos associáveis aos modais rodoviário e ferroviário no caso do Brasil e dos Estados Unidos por TKU transportado, em US$ para o ano de 2008 [11].

Modal	% TKU (Brasil)	US$ por mil TKU (Brasil)	% TKU (EUA)	US$ por mil TKU (EUA)
Rodoviário	67,7%	US$ 117	27,7%	US$ 323
Ferroviário	21,7%	US$ 17	41,5%	US$ 20

4 Projeções do consumo de óleo Diesel e das emissões de CO_2

As projeções do PDDT-Vivo 2000/2020 preveem crescimento da economia paulista. Entretanto, esse crescimento depende da oferta de um adequado serviço de transporte, tanto para a movimentação eficiente de bens e pessoas, como para a produção de novos serviços e facilidades públicas. Sem investimentos em obras de infraestrutura, principalmente na ampliação da disponibilidade de infraestrutura do modal ferroviário, como citado anteriormente, o crescimento econômico do estado de São Paulo e por consequência do Brasil ficará seriamente comprometido.

De acordo com o PDDT-Vivo (2000), já em 2020 as projeções indicam que a população do estado crescerá 20%, elevando-se a 43 milhões de pessoas. A indústria, agroindústria e a infraestrutura de transportes contribuirão mediante suas relações comerciais com cerca de US$ 400 bilhões no Produto Nacional Bruto Anual. A renda per capita do estado de São Paulo, em 2020, estará entre US$ 9.000 e US$ 13.000, contra uma média nacional que deverá situar-se entre US$ 5.900 e US$ 8.300.

O consumo de mercadorias, a produção e o volume de bens movimentados crescerão mais de 70%. Enquanto o montante de mercadorias manufaturadas deverá aumentar, o setor fabril deverá declinar sua participação percentual na economia. Em relação à atual situação, reduzir-se-á a dimensão média dos produtos manufaturados e crescerá o valor das cargas por unidade de peso. Essa tendência deverá estimular uma mudança na maneira como as mercadorias são movimentadas [8].

A partir dessas tendências, a Secretária de Transportes do Estado de São Paulo, por meio do PDDT-Vivo 2000/2020, construiu um cenário futuro baseado em taxas de crescimento que encontram referências no desempenho histórico da economia brasileira. Com isso, estimou as demandas futuras de transportes dentro do estado de São Paulo, por modal, em valores absolutos (TKU) e por participação (%). O PDDT-Vivo 2000/2020 estimou que a demanda de transporte de carga crescerá cerca de 3,3% ao ano (no total de toneladas transportadas), taxa essa um pouco inferior à de aumento médio do PIB estadual. Esse desempenho pode ser explicado pela tendência de especialização da economia estadual paulista na produção de serviços e bens de maior valor agregado. Em relação à produção de transportes do estado de São Paulo, o crescimento é de cerca de 3,9% ao ano (no total de carga transportada em TKU), valor que foi utilizado nas projeções inerentes a este estudo [8].

Parte substancial do aumento da demanda de transporte de carga geral está associada aos fluxos de comércio exterior. O incremento da carga geral a taxas superiores à média reflete o perfil de expansão da economia paulista, com crescimento das atividades nos setores de maior conteúdo tecnológico. O crescimento estimado de carga associado ao setor industrial (carga geral, contêiner, papel e celulose) responderá por cerca de 78% da demanda futura de transporte. Esse perfil de crescimento tem impacto relevante nos tipos de acondicionamento, transbordo e transporte, com reflexos no sistema logístico: estímulo ao uso de contêineres e automação nos transbordos [8].

As projeções do consumo de combustível por modal realizada neste estudo têm como base as projeções da produção de transporte do PDDT-Vivo para o período compreendido entre 2000 e 2020, com algumas diferenças, a saber:

- O ano base utilizado neste estudo é 2006 e não 2000, pois é o ano mais recente em que a DERSA[3] calculou a matriz de transporte de cargas do estado de São Paulo [14].
- Em relação aos investimentos em infraestrutura previstos pelo PDDT-Vivo em 2000 (principalmente em relação ao ferroanel e aos trens expressos) muito pouco havia sido realizado até o momento. Portanto, nas projeções da demanda de carga realizada neste estudo, foi pressuposto que mudando as projeções da participação dos modais ferroviário e rodoviário da matriz de transporte paulista do ano 2009 para 2029, em vez de 2000 para 2020, como previa o PDDT-Vivo, não acarreta maiores erros, já que o tempo total estimado pela Secretária de Transportes do Estado de São Paulo permaneceu o mesmo. O período de 21 anos (2009 a 2029) foi escolhido por se enquadrar nos períodos de

[3] Desenvolvimento Rodoviário S.A: é uma sociedade de economia mista brasileira, controlada pelo Governo do Estado de São Paulo, cujo objetivo é construir, operar, manter e administrar rodovias e terminais intermodais, algumas delas mediante remuneração por praças de pedágio.

validação de créditos de carbono normatizados pelo Conselho Executivo da Convenção Quadro das Nações Unidas Sobre Mudanças Climáticas (CQNUMC) – períodos de 7 anos.

- No período 2000 - 2020, de acordo com o PDDT-Vivo, a produção de transporte deverá crescer a uma taxa de aproximadamente 3,9% ao ano no estado de São Paulo. Essa mesma taxa de crescimento foi mantida até 2029, sendo iniciada em 2006.

- No ano 2029, no Cenário BAU (business as usual), as participações dos modais ferroviário e rodoviário serão iguais às do ano 2006 (88,6% em TKU para o modal rodoviário e 9,5% em TKU para o modal ferroviário). Já no Cenário Alternativo, no ano 2029, as participações dos modais ferroviário e rodoviário serão as mesmas da projeção almejada pelo PDDT-Vivo para o ano 2020.

- O acréscimo da participação do modal ferroviário é realizado a uma taxa constante (9,46% ao ano), a fim de que sua participação atinja 31,3% na matriz de transporte de carga de São Paulo até o ano de 2029. O decréscimo da participação do modal rodoviário para que atinja 65,4% de participação na matriz de transporte de carga de São Paulo, também para o ano de 2029, foi calculado ano a ano pela diferença do crescimento da produção de transporte no Cenário BAU menos o incremento da participação do modal ferroviário no Cenário Alternativo. O início da mudança é o ano de 2009.

A Tabela 2 explicita a demanda de transporte de cargas no estado de São Paulo no ano 2006, de acordo com dados fornecidos pela DERSA [14]. Mostra também a demanda projetada para dois cenários futuros: BAU (sem mudanças das participações dos modais rodoviário e ferroviário em relação ao ano de 2006) e Alternativo (com mudanças das participações dos modais rodoviário e ferroviário), implementado de acordo com as premissas explicitadas anteriormente.

Tabela 2: Matriz de transporte de carga do estado de São Paulo: consolidada (2006) e projetada (2029).

MODAL	ANO 2006		ANO 2029 BAU		ANO 2029 ALTERNATIVO	
	10^9 TKU	%	10^9 TKU	%	10^9 TKU	%
Rodoviário	122,6	88,6	296,9	88,6	219,1	65,4
Ferroviário	13,1	9,5	31,8	9,5	104,9	31,3
Hidroviário	0,8	0,5	-	-	-	-
Dutoviário	1,4	1.0	-	-	-	-
Cabotagem	-	-	-	-	-	-
Aeroviário	0,5	0,4	-	-	-	-
Total	138,4	100	335,1	-	335,1	100

Conforme se observa na Tabela 2, o total de cargas transportada no ano 2006 é de 122,6x109 TKU para o modal rodoviário e de 13,1x109 TKU para o modal ferroviário. De acordo com as projeções do PDDT-Vivo, espera-se que em 2020 o modal rodoviário aumente o volume de cargas transportadas para 164,1x109 TKU e o modal ferroviário aumente para 78,2x109 TKU [8]. Essa Projeção é difícil de concretizar, pois como já foi comentado, pouco se fez em relação à infraestrutura dentro do estado de São Paulo para que tal mudança ocorra. Por tal motivo, nas projeções realizadas neste estudo, o ano de 2029 foi escolhido. Nesse contexto, cabe mencionar que se considerou tal ano mais plausível que as mudanças de participações da matriz de transporte de cargas prevista no PDDT-Vivo se concretizem.

Utilizando a mesma taxa de crescimento prevista pelo PDDT-Vivo para o período 2000/2020, apenas mudando o período para 2007/2029, projeta-se que no ano 2029 o total de cargas transportadas no estado de São Paulo aumente para 335,1x109 TKU, com dois possíveis cenários: (a) o BAU, com o modal rodoviário contribuindo com 296,9x109 TKU de carga transportada e o modal ferroviário com apenas 31,8x109 TKU; e (b) o Alternativo, no qual o modal rodoviário contribui com 219,1x109 TKU e o modal ferroviário com 104,9x109 TKU.

A diferença na produção de transporte entre os dois cenários analisados neste estudo é de cerca de 26% menor no cenário Alternativo, em relação ao BAU, para o modal rodoviário e de cerca de 230% superior no cenário Alternativo, também em relação ao BAU, para o modal ferroviário. Em termos percentuais de participação na matriz de transporte de carga, a participação ferroviária deverá aumentar de 9,5% em 2006 para 31,3% em 2029. Já a participação rodoviária deverá diminuir de 88,6% para 65,4% no mesmo período.

Após o cálculo ano a ano da produção de transportes do estado de São Paulo em TKU, calculou-se o consumo de Diesel de cada modal, ano a ano e por período, por meio dos valores de consumo médio dos modais rodoviário e ferroviário: 18,5 litros de Diesel por 1.000 TKU e 6,3 litros de Diesel por 1.000 TKU, respectivamente [8]. A etapa seguinte foi o cálculo das emissões de dióxido de carbono pela combustão de óleo Diesel dos modais rodoviário e ferroviário, utilizando para isso a metodologia top down do IPCC. Por fim, foi realizado um estudo financeiro potencial das possíveis receitas com as possíveis vendas dos créditos de carbono (Certificado de Emissões Reduzidas - CER).

Nos cálculos do consumo de combustível (óleo Diesel) para a construção da linha do projeto e da linha de base[4] foi tratada somente a energia usada diretamente pelos diferentes modos de transporte, não levando em conta a energia utilizada, por exemplo, para a construção e manutenção da infraestrutura de transportes como as estradas, ferrovias, pontes, estações etc, ou a energia gasta para extração e processamento dos combustíveis ou ainda para a fabricação dos diferentes veículos.

[4] A linha do projeto é o total de Diesel consumido no período 2009 a 2029 mantendo a matriz de transporte com os mesmos percentuais de 2006. A linha de base é o total de Diesel consumido no período 2009 a 2029 com a mudança gradual das participações dos modais rodoviário e ferroviário até que atinjam 65,4% e 31,2%, respectivamente, no ano de 2029.

Nas projeções deste estudo também não foram considerados possíveis ganhos em eficiência energética dos caminhões e trens ao longo dos anos analisados e nem a introdução do biodiesel, pois esse tratamento tornaria as projeções por demais complexas e incertas. Foi considerado que todo o aumento da participação ferroviária será realizado com trens a Diesel.

5 Resultados e discussões

O crescimento da produção de transporte dos modais rodoviário e ferroviário, conforme as premissas adotadas neste estudo, é de 3,92% ao ano (de 2007 a 2029) para o Cenário BAU, para ambos os modais. Já para o Cenário Alternativo, o modal ferroviário cresce 9,46% ao ano (de 2007 a 2029) e o modal rodoviário cresce de forma a suprir a demanda de transporte de carga objetivando manter a soma de crescimento dos dois modais em 3,92% ao ano (também de 2007 a 2029). Esse crescimento da demanda por transporte é igual ao do Cenário BAU. A Figura 4 mostra as projeções de crescimento dos modais rodoviário e ferroviário, em bilhões de TKU.

Essa taxa de crescimento maior, no período analisado, do modal ferroviário em relação ao modal rodoviário no Cenário Alternativo, proporciona a diminuição da diferença de participação da matriz de transporte de cargas do estado de São Paulo de 79,1% (88,6 menos 9,5) para 34,1% (65,4 menos 31,3) para o ano de 2029, tornando assim a matriz de transporte de cargas paulista menos desbalanceada no futuro. Mediante a análise da Figura 4, nota-se que a diferença entre a quantidade de carga transportada pelos modais rodoviário e ferroviário, no ano de 2029, no Cenário Alternativo (diferença entre a 3º linha e a 2º linha) é significantemente menor do que a diferença no Cenário BAU (diferença entre as linhas superior e inferior).

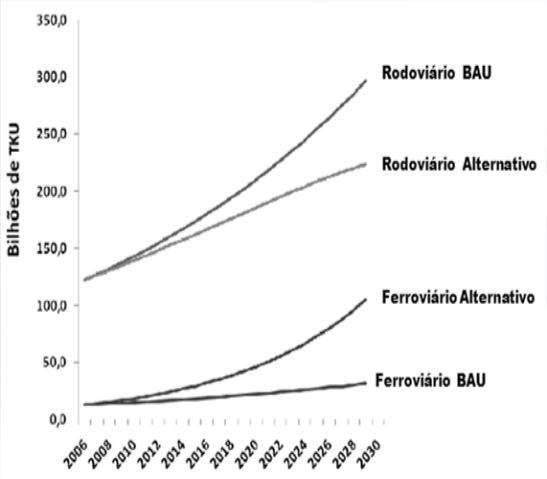

Figura 4: Projeções de crescimento da carga transportada no estado de São Paulo, em bilhões de TKU, pelos modais rodoviário e ferroviário, para os Cenários BAU e Alternativo.

No período analisado (2009 a 2029), o consumo total de óleo Diesel do modal ferroviário é muito inferior ao consumo do modal rodoviário nos dois cenários analisados, cerca de 3,51% no cenário BAU, e cerca de 8,46% no cenário Alternativo. Mesmo no ano 2029, no Cenário Alternativo, em que a participação do modal ferroviário é de cerca de metade da participação do modal rodoviário na matriz de transporte de cargas do estado de São Paulo (31,3% contra 65,4%), o consumo de Diesel do modal ferroviário continua muito inferior do que o consumo de Diesel do modal rodoviário, cerca de 6 vezes menor (0,66 milhões de m^3 de Diesel contra 4,14 milhões de m^3 de Diesel).

A mudança da matriz de transporte no estado de São Paulo, como proposto neste estudo, traz uma economia acumulada de óleo Diesel[5] no período analisado de aproximadamente 8,24%. A diferença entre o consumo de combustível dos dois cenários analisados pode parecer pequena. No entanto, em virtude da grande demanda do setor de transporte de carga do estado de São Paulo, essa economia de óleo Diesel é substancial – cerca de 6,89 milhões de m^3. A partir do ano 2029, a economia de óleo Diesel pode chegar a aproximadamente 15,6% ao ano, em comparação com a permanência da matriz de transporte nos moldes atuais. Em números absolutos, a economia de Diesel apenas no ano de 2029 seria de 891 mil m^3 de Diesel. Na verdade, os ganhos seriam ainda maiores, pois nos cálculos foi considerado o consumo médio de Diesel dos dois modais, em valores do ano 2000. Ao ocorrer a expansão do setor ferroviário, os novos trens serão mais modernos e consequentemente menos energo-intensivos. O mesmo raciocínio vale para os caminhões, embora a substituição da frota de caminhões ocorra de forma muito mais lenta.

Em relação às emissões evitadas de dióxido de carbono, as quantidades são consideráveis. No período compreendido entre 2009 a 2029, as emissões totais evitadas pela mudança da matriz de transporte de cargas paulista seriam cerca de 8,24% menor no cenário Alternativo em relação ao cenário BAU. A Figura 5 mostra a projeção das emissões de CO_2 para os cenários BAU (linha de base) e Alternativo (projeto).

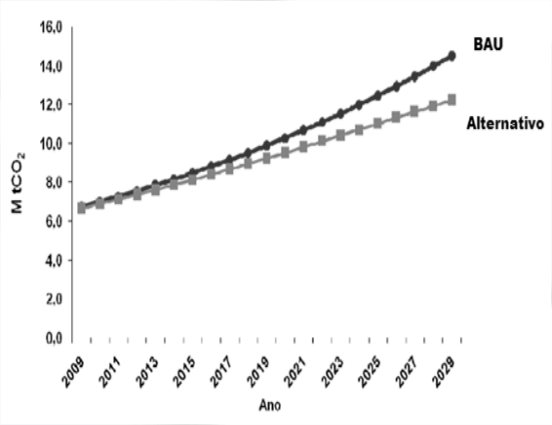

Figura 5: Evolução das emissões de CO_2 para os cenários BAU e Alternativo – 2009 a 2029.

[5] Como o óleo Diesel no Brasil é o combustível usado pelos caminhões (principal modal da matriz de transporte de cargas brasileiro), uma diminuição do consumo de Diesel tende a auxiliar na contenção da inflação.

A área compreendida entre as duas linhas da Figura 5 representa a adicionalidade, isto é, quanto de emissões o projeto evitou em relação à linha de base. Pode-se observar que a diferença entre as emissões de CO_2 no cenário BAU e Alternativo se acentua após o ano 2021. Isso faz com que, assim como no caso da economia no consumo de óleo Diesel, as emissões evitadas também sejam muito superiores no terceiro período de validação dos créditos (2022 a 2029).

Cerca de 17,59 milhões de tCO_2 podem ser evitadas com a mudança gradual da matriz de transporte de carga paulista, conforme as diretrizes propostas neste estudo. Há de se salientar que, quanto mais rápido tal mudança ocorrer, isto é, quanto mais rapidamente a matriz de transporte de carga paulista se tornar menos centrada no modal rodoviário (o mais energo-intensivo dos modais terrestres), menores serão as emissões evitadas de CO_2 para qualquer período de análise.

Como cada tCO_2 evitada corresponde a um CER, o montante de créditos de carbono que tal projeto pode potencialmente gerar se aprovado pelo *Executive Board* (EB) da UNFCCC é também considerável, podendo trazer-lhe recursos financeiros significativos. Em comparação aos dois primeiros projetos[6] diretamente ligados ao setor de transporte aprovados pela EB até setembro de 2012, o referido projeto possui cerca de 3,4 vezes mais potencial anual de geração de CERs do que o Projeto "Project 1351: Nova Délhi, Índia" e de cerca de 20 vezes mais em comparação ao "Bus Rapid Transit, Project 0672: BRT, Bogotá, Colômbia" [15].

De acordo com o potencial de redução das emissões de CO_2 calculado, foi realizada uma estimativa do potencial financeiro que o projeto de mudança da matriz de transporte de cargas proposto neste estudo pode proporcionar com a venda dos CERs. É importante ressaltar que os CERs são emitidos apenas após as reduções das emissões serem efetivamente verificadas (ex-post), e, portanto, não dependem de projeções feitas preliminarmente [16]. A quantidade de recursos financeiros que um projeto que modifica a matriz de transporte no estado de São Paulo pode alavancar é considerável. Considerando a preço do crédito de carbono no período de fechamento deste estudo (setembro de 2012) – ou seja, de 2,10 euros – a potencial receita com a venda dos CERs atinge 37 milhões de euros[7] (R$ 97,5 milhões).

Comparando os valores potenciais das vendas dos CERs (valores atuais) de cerca de R$ 97,5 milhões, com os investimentos previstos pela Secretaria de Transportes do Estado de São Paulo no modal ferroviário e construção das CLIs de cerca de R$ 5,5745 bilhões[8], chega-se à conclusão de que os créditos de carbono possuem força para viabilizar cerca de 1,75% dos investimentos previstos em obras de infraestrutura. Há de se ressaltar que, se o referido projeto se enquadrar como um MDL Programático, o prazo para obtenção de créditos de carbono aumenta para 28 anos, tendo um quarto período para obtenção de créditos (mais 7 anos), podendo, portanto, aumentar substancialmente tanto os valores de óleo Diesel economizado como de emissões de CO_2 evitadas e consequentemente de receita gerada com a venda dos CERs.

Urge ressaltar que, quando o cálculo das potenciais das vendas dos CERs foi realizado em dezembro de 2009, o CER estava cotado em 12 euros. Com isso, a potencial receita atingiu cerca de 210 milhões de euros (ou R$ 578,36 milhões). Com isso, os créditos de carbono do referido projeto representavam cerca de 10% dos investimentos previstos pela DERSA nas obras de infraestrutura [8].

Uma das causas dessa queda nos valores dos CERs diz respeito às tímidas conquistas alcançadas nas últimas três Conferências das Partes (COP) – COP 15 (Copenhagen), COP 16 (Cancún) e COP 17 (Durban). As últimas três Conferências sobre Mudanças Climáticas não conseguiram unificar os objetivos ambientais aos econômicos entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento, não conseguiram gerar um documento legal de compromisso entre as nações para o período Pós-Quioto (2013 em diante), e também sobrecarregaram as expectativas sobre a COP-18, que foi realizada em Doha (Qatar). Do ponto de vista de ações práticas e imediatas para enfrentar a urgência dos problemas climáticos do planeta, as últimas COPs ficaram muito aquém do esperado, fato esse que colaborou para enfraquecer o Mercado de Carbono da UNFCCC, levando os CERs a valores tão baixos, mesmo faltando poucos meses para o fim do primeiro período de compromissos.

6 Conclusões

Este estudo aborda a relevância do potencial que projetos envolvendo mudança de participação da matriz de transporte de cargas de modais mais energo-intensivos (rodoviário) por modais menos energo-intensivos (ferroviário) possuem na questão da economia de combustível (no caso, o óleo Diesel) e das mitigações das emissões antropogênicas de gases de efeito estufa, principalmente o CO_2.

Ao longo de 21 anos (ou seja, de 2009 a 2029), de acordo com cenários inerentes a este estudo, a economia de óleo Diesel pode chegar a mais de 6,88 bilhões de litros. Essa economia possui potencial para mitigar cerca de 17,59 milhões de toneladas de dióxido de carbono no mesmo período. Se tal projeto fosse aprovado como MDL, as receitas com as vendas dos CERs poderiam chegar a cerca de R$ 97,5 milhões, considerando o preço do crédito de carbono na data de fechamento deste estudo, valor esse próximo a 1,7% dos investimentos previstos pelo Plano Diretor da Secretaria de Transportes do Estado de São Paulo em infraestrutura no modal ferroviário e nos Centros Logísticos Integrados. Essas Obras são fundamentais para que a matriz de transporte de cargas de São Paulo se torne menos desbalanceada para o lado do modal rodoviário e para mitigação do crônico problema de congestionamento na cidade de São Paulo.

[6] Atualmente existem 16 projetos no tema transporte aprovados na UNFCCC, sendo um do tipo PoA (MDL Programático).

[7] Euro a R$ 2,64. Cotação do dia 14 de setembro de 2012.

[8] Há de se ressaltar que esse valor foi calculado em 2000, estando, portanto defasado para final de 2009, período que foram realizados os cálculos.

Um dos agravantes do problema explícita e implicitamente detectado e analisado ao longo deste estudo – qual seja, o notório desbalanceamento da matriz de transportes do Brasil (isto é, o excessivo emprego do modal rodoviário, em detrimento aos modais ferroviários, aéreo e hidroviário) – é que os modelos de desenvolvimento vigentes nas sociedades contemporâneas têm se mostrado agressores à natureza, na medida em que propõem os recursos naturais apenas como matéria-prima para o crescimento econômico, sem a preocupação fundamental de conhecer suas limitações e suas perspectivas de autossustentação. A utilização irrestrita desses recursos tem provocado discussões amplas, as quais abrangem o seu esgotamento, sua degradação e suas consequências à qualidade de vida. Todavia, partindo-se da premissa de desenvolvimento sustentável, o atendimento satisfatório da demanda por transportes, mesmo em um país em desenvolvimento, pode ser factível, desde que estejam contempladas nas ações de planejamento global da sociedade as importantes questões energéticas e ambientais [17]. Nesse contexto, cada vez mais importantes são medidas que diminuem o consumo de combustíveis fósseis. E é sob essa égide que se insere a relevância de que a intermodalidade rodo-ferroviária (objeto de análise deste estudo), no Brasil, passe a ser considerada de modo efetivo no seio do planejamento e adoção de políticas públicas.

7 Referências

[1] GOLDEMBERG, J; VILLANUEVA, L. D. **Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento**. Edusp. São Paulo, 2003.

[2] HALL, C., P. THARAKAN, J. HALLOCK, C. CLEVELAND, J. JEFFERSON, 2004. **Hydrocarbons and the Evolution of Human Culture**. November, Nature, 426, pp. 318-322, Acesso em 05/06/07. Disponível em: www.nature.com/nature.

[3] IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report: Climate Change, 2007. Working Group III, Report Mitigation of Climate Change, Chapter 5: Transport and its infrastructure.

[4] WHITMARSH, L, WIETSCHEL, M. Sustainable Transport Visions: What Role for Hydrogen and Fuel Cell Vehicle Technologies? Energy & Environment. Vol. 19, Nº. 2, 2008.

[5] IEA. International Energy Agency. Key World Energy Statistics, 2011. Acesso em 12/04/2012. Disponível em http://www.iea.org/publications/.

[6] IPCC. Painel Intergovernamental das Mudanças Climáticas. Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. Mudança do Clima 2007: a Base das Ciências Físicas. Sumário para os Formuladores de Políticas.

[7] IEA. International Energy Agency. Energy Technology Perspectives, 2008b. Scenarios & Strategies to 2050. In Support the G8 Plan of Action.

[8] PDDT-Vivo. Plano Diretor de Desenvolvimento dos Transportes 2000/2020: Relatório Executivo. Governo do Estado de São Paulo, 2000. Secretaria dos Transportes de São Paulo/Dersa.

[9] BARTH, M., J., TADI, R., R. Emissions Comparison Between Truck and Rail: Case Study of California I-40. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. Volume 1520 / 1996. January 18, 2007.

[10] NCHRP. National Cooperative Highway Research Program. Rail Freight Solutions to Roadway Congestion – Final Report and Guidebook, Report 586. Transportation Research Board, 2007, p. G-8.

[11] FLEURY, P. Desafios para a Infraestrutura Logística Brasileira. Acesso 12, abril, 2013. Disponível em: http://www.tendencias.com.br/news_files/41_06_Paulo_Fleury.pdf.

[12] CONPET. Programa Nacional Programa Nacional da Racionalização do uso dos Derivados de Petróleo e do Gás Natural. Acesso em 11, abril, 2013. Disponível em: http://www.conpet.gov.br/portal/conpet/pt_br/conteudo-gerais/conpet-no-transporte.shtml.

[13] IEA. International Energy Agency. CO2 Emissions From Fuel Combustion – Highlights, 2012. OECD Publications, Paris.

[14] DERSA. Desenvolvimento Rodoviário SA, 2008. Matriz de Transporte de Carga do Estado de São Paulo, ano base – 2006 [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por galbieri@fem.unicamp.br em 24/11/2008.

[15] UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change, 2010. Project Search. Acesso 12, janeiro, 2010. Disponível em http://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html.

[16] FIGUERES, C., BOSI, M.. Let There be Light in the CDM, 2007. Achieving Greenhouse Gas Emission Reductions In Developing Countries Through Energy Efficient Lighting Projects In The Clean Development Mechanism. Written by the same authors and published by World Bank's Carbon Finance Unit in November, 2007.

[17] SIMÕES, ANDRÉ FELIPE. O Transporte Aéreo Brasileiro no Contexto de Mudanças Climáticas Globais: Emissões de CO_2 e Alternativas de Mitigação, 2003. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Tese (Doutorado).