

Eficiência energética e divisão modal no transporte urbano

Garrone Reck¹; Lucas Voi Silva²

¹ Departamento de Transportes - UFPR, Centro Politécnico, Rua Francisco H. dos Santos s/n, Curitiba-Pr, (41) 33613595, www.dtt.ufpr.br

² Programa de graduação em Engenharia Química - UFPR – Centro Politécnico, Rua Francisco H. dos Santos s/n, Curitiba – Pr

RESENHA

O presente artigo pretende discutir a eficiência energética dos diversos modos de transporte urbano, através da medida de peso morto que é necessário mover ao transportar uma pessoa em cada modal, levando em consideração a taxa de ocupação e o peso dos veículos e a divisão modal encontrada no transporte urbano em cidades brasileiras.

PALAVRAS CHAVES

Eficiência energética, peso morto, modais, indicadores.

INTRODUÇÃO

Os usos de energia são classificados em cinco setores: residencial, comercial, industrial, insumos e transportes. Estimativas globais do uso de energia do mundo mostram o setor industrial com o de maior consumo, 40% do total; os setores residencial e o de transportes respondem por 22% cada um; seguidos do setor de insumos com 9% e o setor comercial com 7% (LLNL, 2011). De todas as fontes energéticas disponíveis, renováveis e não renováveis, o petróleo, principal fonte da matriz energética mundial, contribui com mais de 90% da energia consumida pelo setor de transportes. O carvão mineral e o gás natural, segunda e terceira fontes energéticas mais importantes, destinam a maior parte de suas contribuições para a produção de calor e eletricidade, bem como para uso direto ou indireto nos setores industrial, residencial e comercial.

A utilização do petróleo como principal fonte energética para o setor de transportes no mundo e sua condição de recurso não renovável requer atenção redobrada, tanto por apresentar reservas limitadas, como por ser o principal causador de emissão de poluentes na atmosfera. Esse setor tem sido, na maioria dos países, o maior consumidor de petróleo e aumentou sua participação de 42% para 57%, entre 1973 e 2002, o que representou um acréscimo no consumo de 903,5 Mtep (milhões de toneladas equivalentes de petróleo) para 1740,8 Mtep e demonstra a inflexibilidade energética do setor de transportes (IEA, 2004).

Segundo estimativas de 2007, o Brasil apresentava um consumo global de energia equivalente a 9.410 PJ dos quais 28,7%, ou o equivalente a 2.700 PJ, eram destinados ao setor de transportes. Um fato preocupante, tanto no Brasil como no mundo, é a baixa eficiência do uso da energia em transportes. Na matriz de consumo energético mundial apenas 26% da energia consumida pelo setor de transportes tem aproveitamento como energia útil, no Brasil este indicador é ainda um pouco menor, 24,4%. Comparado aos setores industrial, residencial e comercial que aproveitam em nível mundial: 80%, 65% e 64% respectivamente da energia consumida, observa-se que justamente o setor de transportes é o de mais baixa eficiência energética entre todos os outros. O baixo desempenho do setor e o crescimento no consumo de petróleo contrastam com o desenvolvimento de tecnologias que buscam aumentar a eficiência dos modais de transporte mais utilizados. Isso mostra que existem outras dificuldades no setor, como o uso

massivo de modais ineficientes. O Departamento de Energia dos EUA prevê um crescimento anual do consumo de energia de 2% para o setor de transportes até 2025, a maior taxa de crescimento entre todos os usos, com tendência de se equiparar ao consumo industrial. Essa elevação excepcional está vinculada principalmente com a baixa eficiência e o aumento da distância viajada pelos veículos leves, projetada para aumentar 2,4% ao ano até 2025 (EIA, 2003).

Os objetivos deste artigo são analisar fatores que atravancam a eficiência energética do setor de transportes, especialmente nos sistemas de transporte urbano, e demonstrar como o uso massivo do automóvel é uma barreira para o uso racional de energia. A partir da medida de peso morto transportado em cada modo de transporte, busca-se quantificar o grau de eficiência energética dos veículos de transporte individual e coletivo encontrados nas cidades brasileiras.

DIAGNÓSTICO

A ineficiência do setor de transportes está intrinsecamente vinculada com as características dos veículos utilizados e a distribuição do seu uso, principalmente no transporte de passageiros nos centros urbanos, que consome cerca de 21,4 Mtep, fração equivalente a 45,36% do total da energia consumida pelo setor de transportes no Brasil (MORAES, 2005). Ainda, segundo a Associação Nacional de Transportes Públicos – ANTP – em seu relatório estatístico (2012), a quantidade de viagens realizadas pelo transporte individual dentro dos centros urbanos do país, tem uma participação de 27% contra as 29% de viagens realizadas pelo transporte coletivo. Viagens nos modais bicicleta e moto apresentam na média nacional 4% das viagens realizadas, cada um.

Apesar da quantidade de viagens realizadas pelo transporte individual e coletivo serem muito próximas no Brasil, há uma discrepância relacionada ao consumo de energia dos principais modais urbanos. Enquanto os modais de transporte coletivo consomem 24% da energia gasta pelo transporte, os carros gastam 72%. Considerando que os dois modos têm praticamente a mesma participação modal, pode-se afirmar que cada viagem no modo carro consome o triplo de energia do que se fosse realizada em transporte público (ANTP, 2012).

Ainda com relação a eficiência mecânica dos automóveis, pesquisas realizadas pelo Rocky Mountain Institute mostram que apenas 13% da energia do combustível usado nos carros convencionais chega até às rodas. Enquanto que os outros 87% são dissipados como calor e som no motor, além de fração perdida devido às características da transmissão mecânica e a outros acessórios, como os condicionadores de ar. Da parcela de energia empregada nas rodas, mais da metade se converte em calor transferido para os pneus, o asfalto e o ar, devido ao atrito. De fato, apenas 6% da energia do combustível acelera o veículo e a energia cinética obtida tem fim aquecendo o motor quando o veículo freia (AMORY, 2005).

Uma das soluções propostas pela indústria automobilística para reduzir o consumo dos combustíveis e, conseqüentemente, a produção de emissões, é o aprimoramento das características mecânicas dos modais no que se refere à tecnologia do motor, transmissões, aerodinâmica e novos materiais que reduzam o atrito entre o pneu e o asfalto. Entretanto, o incremento do uso do petróleo e seus derivados no setor de transportes nos mostra que o aprimoramento e desenvolvimento de novas tecnologias que tornam o uso do automóvel mais eficiente e os programas de combustíveis renováveis, apesar de serem fatores importantes, não demonstram grandes contribuições para o aumento de eficiência do setor de uma forma geral. Como constatado nas projeções de ganho de desempenho de

automóveis realizado pela Secretária de Energia do Estado de São Paulo, que nos cenários mais otimistas estimam uma redução de 15 a 20% no consumo de combustível de 2005 até 2035 (SEESP, 2011).

Os limites da eficiência estão na relação entre peso útil e peso total transportado. Mesmo que a eficiência mecânica dos autos seja submetida a novos aprimoramentos, há ainda um fator importante a ser considerado: a energia que faz o veículo andar não transporta apenas os seus passageiros, mas todo o veículo, com suas peças, acessórios, chassis, carroceria e outros dispositivos necessários. Como a maioria dos veículos de transporte individual utilizado nos centros urbanos pesa pelo menos doze vezes mais que uma pessoa, a relação de peso do veículo e a quantidade de passageiros transportados mostra-se uma variável importante a ser analisada. Do ponto de vista da eficiência energética, o nível de ocupação médio dos automóveis no meio urbano pode ser um fator decisivo para o estabelecimento de políticas públicas que estimulem o uso de transporte público, em direção a uma divisão modal mais sustentável.

O cenário brasileiro em relação ao nível de motorização mostra tendência natural de aumento da frota de automóveis. Segundo previsões do Ministério de Minas e Energia, em 2050 a frota de automóveis no Brasil deve quadruplicar em relação ao ano de 2013. A projeção é de aproximação das taxas de motorização de países desenvolvidos da Europa, como a Espanha e a Alemanha. Seguindo a pesquisa, o Brasil elevará o índice de 1 automóvel para cada 5 habitantes em 2012, para 1 automóvel a cada 2 habitantes, em 2050 (EPE, 2014).

Tal cenário é coerente com a análise do aumento de demanda por automóvel visto pela perspectiva da renda das famílias. Com menor taxa de natalidade, a população envelhece e as faixas etárias nas quais há mais necessidade de transportes passam a ser predominantes. A renda per capita cresce em termos reais e o aumento da demanda por transporte é suprido pelos automóveis. Os gastos com transporte sobem com o nível de renda, até um ponto em que a preferência é utilizar o carro. Assim a elevação do gasto com transporte privado é maior do que a elevação do gasto com transporte coletivo.

Com mais veículos per capita, o nível de ocupação médio dos automóveis tende a diminuir mais ainda. Assim, a medida de peso morto transportado por passageiro mostra que o uso do carro com baixo aproveitamento compromete o uso racional da energia.

PROPOSIÇÕES E RESULTADOS

O peso morto transportado por passageiro leva em consideração o quanto de massa de estrutura de um veículo é necessário mover para que uma pessoa possa realizar uma viagem em cada meio de locomoção. O indicador desconsidera o peso dos passageiros, pois esta é a porção de massa movimentada útil.

A medida pode se mostrar um indicador de eficiência energética quando comparamos diferentes modais, pois indica os modais que requerem mais estrutura e materiais para transportar as pessoas. A Tabela 1 apresenta os dados comparativos de peso morto transportado por passageiro considerando a capacidade máxima de cada tipo de veículo. A eficiência dos tipos de ônibus urbanos desde o minibus até o modelo bi-articulado em relação aos modos carro e moto se comprova com relativa folga em todos os modelos. As bicicletas são, obviamente, o modal mais eficiente.

Tabela 1 – Peso, capacidade e peso morto transportado por modo

Modal	Peso médio (kg)	Capacidade máxima de passageiros	Peso morto transportado (kg/passageiro)
Minibus	5.900,00	40	147,50
Midibus	9.145,00	65	140,69
Básico	11.500,00	85	135,29
Articulado	18.250,00	150	121,67
Biarticulado	24.250,00	250	97,00
Carro	992,50	5	198,50
Motocicleta	140,00	1	140,00
Bicicleta	12,00	1	12,00

Entretanto estes indicadores da relação de peso morto transportado por passageiro não correspondem à realidade observada nas vias urbanas brasileiras, por conta de que a ocupação dos diversos modos de uso individual ou coletivo é, em geral, inferior à capacidade dos veículos. Principalmente a circulação em automóveis que, em média, transportam menos do que 2 passageiros cada. Em certos locais e horários do dia, os ônibus podem apresentar ocupação próxima à capacidade máxima, quando se observam até superlotações, mas esse efeito não é observado com tanta frequência.

Para obtenção de maior precisão nessa pesquisa, os cálculos da relação entre peso morto dos veículos e passageiros transportados foram realizados com base em contagens de tráfego e estudos de frequência e ocupação visual em um corredor de transporte urbano de Curitiba. A seção viária com dados recentes disponíveis foi o corredor Sul, o de maior fluxo de transporte da cidade. Na seção escolhida, sentido bairro-centro, no período de pico da manhã, situa-se a via exclusiva de transporte público tipo BRT, por onde circulam linhas troncais operadas com ônibus bi-articulados, e, em via arterial paralela de tráfego misto circulam carros e linhas de ônibus diretas e convencionais. As contagens disponíveis foram realizadas em 2013. As Figuras 1 e 2 mostram os fluxos de passageiros e veículos por modo no período da manhã. A hora pico do fluxo de passageiros total ocorre entre 07h00 e 08h00.

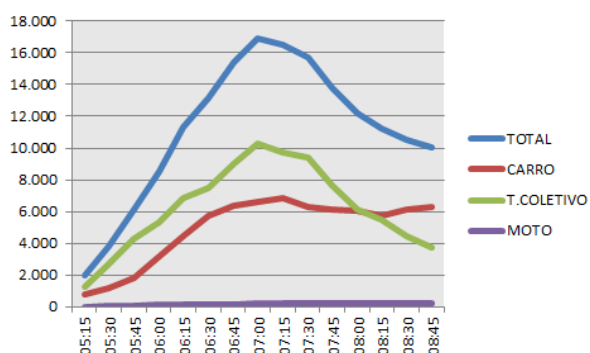


Figura 1 – Fluxo de Passageiros/hora Corredor Sul – Manhã – Bairro/Centro

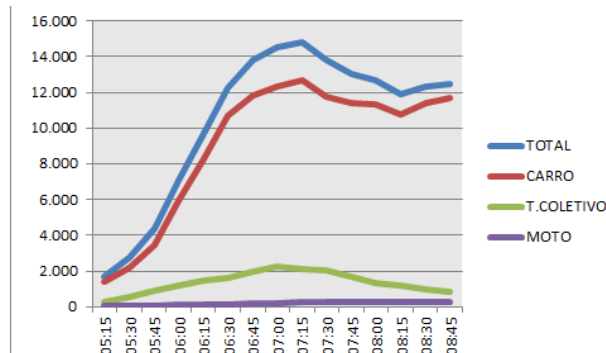


Figura 2 – Fluxo de Veículos/hora Corredor Sul – Manhã – Bairro/Centro

Em uma situação real é notável a diferença de produtividade entre o transporte individual e o coletivo. Na faixa de horário de pico, registrou-se a frequência de 3749 carros transportando 6.602 passageiros enquanto que 111 ônibus de tipos variados (46 Bi-articulados, 8 articulados, 51 Básicos e 6 Midis) transportavam 10.310 passageiros. Na mesma faixa foram contadas 210 motos sem medição de ocupação, que para efeito de cálculos será atribuída como unitária. A ocupação média dos carros observada de 1,76 passageiro/veículo é superior à média diária observada em outras pesquisas, justificando-se por ser horário de pico quando o modal obtém melhor aproveitamento.

Para a análise de eficiência energética entre os modos de transporte individual e coletivo se considerou o fluxo de passageiros/hora e de veículos/hora no horário de máxima demanda, ou seja, entre 07 e 08h. Os valores de peso morto (tara) dos ônibus foram obtidos de dados divulgados pela gerenciadora do sistema (URBS) bem como a ocupação máxima por tipo de veículo. O peso morto de automóveis foi adotado com base na média da tara dos veículos leves predominantes na frota urbana, obtidas em catálogos técnicos. A participação de carros médios e grandes no cálculo de peso morto foi desprezada, sendo todos tomados como leves. A capacidade máxima do modo carro foi tomada como de 5 passageiros por veículo.

As medidas de peso morto transportado por passageiro nos níveis de ocupação real e no de capacidade máxima de cada modal são apresentadas na Figura 3. Tais medidas correspondem à composição de tráfego entre veículos de transporte coletivo observado, tanto na via exclusiva como na via arterial paralela, ambas no sentido Bairro – Centro, do corredor viário Sul de Curitiba, bem como do fluxo de transporte individual por carro e motocicletas, esses na via arterial paralela, no mesmo sentido e faixa horária.

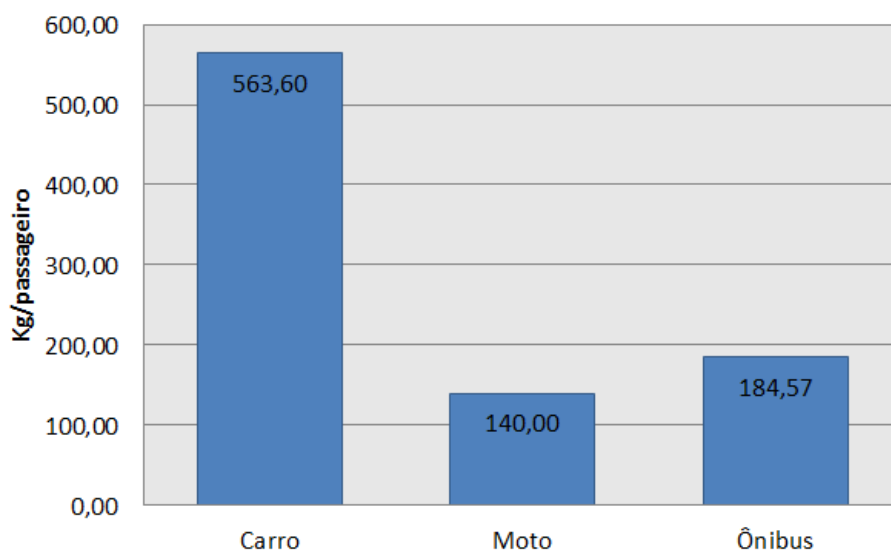


Figura 3 – Peso Morto Transportado com Ocupação Real (kg/pas) - Corredor Sul Curitiba

Da situação teórica de capacidade máxima para a de ocupação real observada, fica evidente a ineficiência energética do transporte individual em comparação ao transporte público. Enquanto por transporte individual é necessário mover 563,92 kg de peso morto por passageiro transportado, constata-se que por transporte coletivo são movidos apenas 184,57 kg/passageiro, ou seja, 3 vezes menos do que os carros.

Utilizando os dados de consumo de combustível, disponibilizados pela URBS e pelo INMETRO, e o padrão de conversão de combustível em energia adotado pela IEA, foi estimada a quantidade de energia para transportar uma pessoa/km para cada modo observado na pesquisa. Para comparação dos níveis de eficiência energética observados, a Tabela 2 apresenta o consumo de energia em MJ/pass.km de cada modal.

Tabela 2 - Consumo energético por passageiro/km por modo – Corredor Sul - Curitiba

Modo	Carro	Moto	Ônibus
Consumo energético (MJ/pass.km)	1,864	1,098	0,223

A discrepância entre os níveis de eficiência do carro e do transporte coletivo fica ainda mais evidente quando consideramos o consumo energético por passageiro como parâmetro de análise. Para cada passageiro de viagens de carro que se transferisse para o modo ônibus, haveria uma redução energética de 1,64 MJ/pass.km, o equivalente a 88% de economia da energia gasta pelo modo carro.

A partir dos dados de gasto energético per capita por distancia unitária e baseado nas contagens de tráfego e análises de frequência e ocupação visual realizada, foi possível dimensionar o consumo agregado de energia na seção de pesquisa, podendo-se assim comparar os consumos totais de cada modo, ver Figura 4.

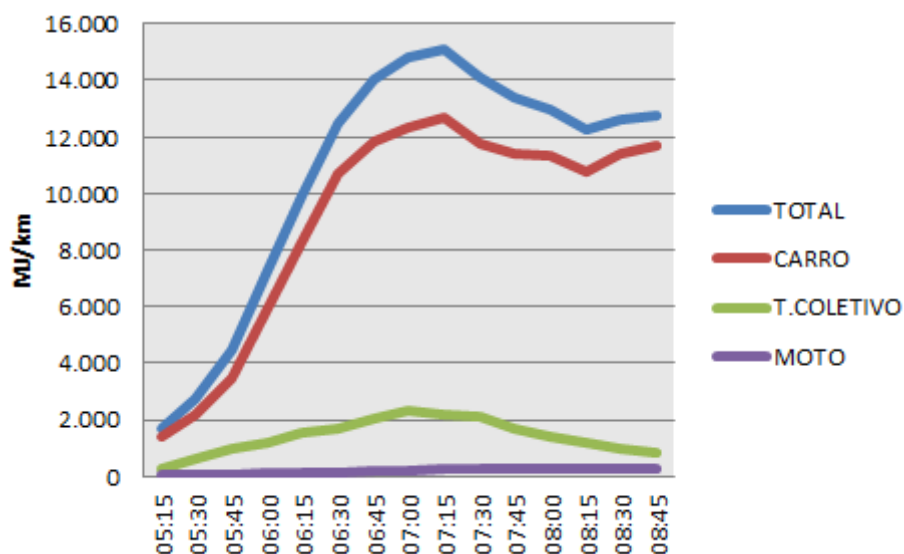


Figura 4 – Consumo energético por modal e total para a seção estudada em MJ/km

É evidente a predominância do gasto energético do carro em relação a todos os outros modais nas faixas horárias observadas. Respondendo por 39% das viagens realizadas na seção, os carros consomem 86% da energia despendida, enquanto que os ônibus do Corredor realizam 61% das viagens da seção com apenas 14% da energia total.

CONCLUSÕES

As evidências de que automóveis, ao realizarem viagens urbanas, carregam intrinsecamente muito mais carga inútil (peso morto) do que pessoas foram analisadas e exploradas neste trabalho. Constata-se que os carros carregam em média 3 vezes mais

peso morto do que veículos de transporte público, com base nos níveis de ocupação observados nas pesquisas dos fluxos de transporte de ambos os modos.

Quando na análise se acrescentaram os parâmetros de consumo de combustíveis de carros e ônibus, com as devidas conversões de litros de gasolina ou diesel para MJ e se ratearam consumos agregados por veículo/km pelas demandas horárias de passageiros em cada modo, logrou-se obter os indicadores de consumo energético unitário por modal, ou seja, medidas de MJ/passageiro.km. Assim, encontramos que no modo ônibus se consome 0,223 MJ/pass.km enquanto que no modo carro são dispendidos 1,864 MJ/pass.km.

A partir das referências de consumo energético obtidas em bases reais de operação e ou de outras pesquisas que venham a confirmar ou retificar tais indicadores, surgem boas possibilidades de melhor aferir os resultados de políticas públicas dirigidas a uma maior eficiência energética dos modais de transporte urbano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTP, **Relatório Geral 2012**. 2014. Disponível em

http://antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2014/08/01/CB06D67E-03DD-400E-8B86-D64D78AFC553.pdf

AMORY LOVINS, **More profit with less carbon**. 2005. Disponível em

<http://www.scientificamerican.com/media/pdf/Lovinsforweb.pdf>

C.A. Smith, et al., **2007 Estimated International Energy Flows**. LLNL, Livermore, 2011.

Disponível em <https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/473335.pdf>

EIA, **Annual energy Outlook 2003 with projections to 2025**, Em: U.S. Department of Energy, Washington, D. C, 2003.

EPE, **Cenário Econômico 2050**, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em

http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/PNE2050_Premissas%20econ%C3%B4micas%20de%20longo%20prazo.pdf

IEA, **Energy Statistics Manual**. 2005. Disponível em

http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/statistics_manual.pdf

IEA, **Key World Energy Statistics**. 2014. Disponível em

<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2014.pdf>

INMETRO, **Tabelas de consumo e eficiência energética**. 2014. Disponível em

http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos_leves_2014.pdf

MORAES, NATÁLIA GONÇALVES, **Avaliação das tendências da demanda de energia no setor de transportes no Brasil**, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em

<http://ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/ngmoraes.pdf>

SEESP, **Matriz energética do estado de São Paulo – 2035**. São Paulo, 2011. Disponível

em <http://www.energia.sp.gov.br/arquivos/matriz-energetica-eficiencia-energetica.pdf>

URBS, **Manual de especificações da frota**. Curitiba, 2013. Disponível em

http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/pdf/transporte/rit/Manual_Caderno.pdf

URBS, **Metodologia Tarifária do Sistema Integrado de Transporte da Grande Curitiba.**
Curitiba, 2009. Disponível em

http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/PORTAL/rit/arquivosPDF/resumo_metodo_2009_site.pdf