

Osmar Vicente Rodrigues



QUANDO O TRANSPORTE NÃO PODE CONTAR COM ESTRADAS PAVIMENTADAS

A necessidade de transporte diário para um número cada vez maior de pessoas em todo o mundo é algo bastante claro. Contudo, existem algumas situações de transporte, as quais, mesmo sem muita publicidade, afetam sobremaneira a sociedade e a economia mundial. É o caso, por exemplo, da necessidade de transporte em condições "off-road", principalmente em países agrícolas de grandes dimensões como o Brasil, por exemplo. Além disso, companhias agrícolas do mundo todo necessitam transportar milhares de trabalhadores, ferramentas e equipamentos, algumas vezes por longas distâncias, em circunstâncias inadequadas, se considerados os tipos de veículo e as estradas utilizadas para tal.

(...)

Em todo o mundo, especialmente nos países mais desenvolvidos, o impacto social exercido pela nova área do conhecimento – o Design – já tem, há algum tempo, assumido uma importante condição na elaboração de um potencial efeito sócio-técnico. Mais e mais, existe uma tendência de agregar valor através do trabalho do Design em áreas ligadas a ecologia, ao meio-ambiente e a saúde, tanto quanto aos aspectos ligados as viabilidades econômica, comercial e técnica no desenvolvimento de um produto.

Atualmente, 90% das estradas do mundo não são pavimentadas. Entretanto, paradoxalmente, a maioria das pesquisas em design automobilístico está muito mais voltada para o transporte em condições “on-road” (sobre pavimento) do que para aquelas “off-road” (fora do pavimento). Isso significa que importantes avanços tecnológicos e soluções estão predominantemente mais relacionados às estradas pavimentadas do que às não pavimentadas mesmo não representando a maioria delas.

Em qualquer atividade de transporte, uma superfície precisa ser suficientemente resistente para evitar que os veículos afundem ou encalhem, interrompendo assim a viagem. O que quer dizer que, frequentemente, os motoristas enfrentam condições de terreno e obstáculos bastante imprevisíveis. Entretanto, mesmo com meios para minimizar o problema, é importante entender que em condições “off-road”, o que é bom em uma situação particular, pode não ser para outra. Por exemplo, um pneu com uma pequena área de contato combinada com alta pressão é bastante eficiente em lama com uma acentuada quantidade de água, ao passo que uma área de contato maior combinada com baixa pressão fazem a diferença em terra fofa, areia ou lama com baixa quantidade de água.

Nenhuma tecnologia hoje disponível possui uma adequada relação custo-benefício ou capacidade de permitir um transporte em qualquer tipo de terreno ou obstáculos. O desafio é, portanto, garantir confiabilidade, segurança e viagens economicamente viáveis e sem interrupções em condições “off-road”, em especial na agricultura.

Chuva é um aspecto importantíssimo na agricultura, mas que em excesso acaba prejudicando a atividade de transporte, especialmente em países tropicais onde pode facilmente chover 15 dias no mês, seis meses por ano (ver Figura 1). A mesma chuva que é vital para as plantas, pode comprometer parte das atividades agrícolas, em particular aquelas que dependem da movimentação de veículos nas plantações. Além disso, nos casos em que um negócio depende da produção agrícola e da industrialização daquilo que é colhido, a dificuldade de acesso às áreas plantadas compromete também a produção industrial, custando milhões de Reais para as empresas do setor.

Não obstante a chuva, a compactação do solo é outro fator igualmente importante nesse cenário. De acordo com Belebani (2006), uma plantação de cana de açúcar pode ser comprometida em até 20%, por conta da compactação do solo nas áreas plantadas.

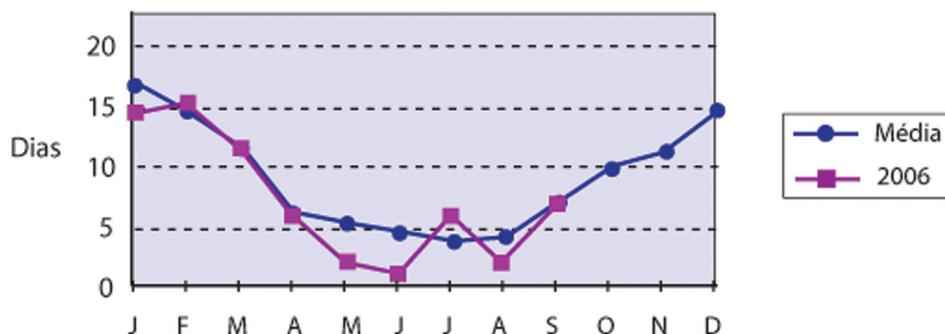


Figura 1 A proporção de dias chuvosos na área central do Estado de São Paulo. Fonte: ESALQ – USP.

Ao se considerar uma usina com capacidade de moagem de dois milhões de toneladas por ano, financeiramente isso significa, hoje, uma perda da ordem de R\$ 30 milhões. Ou seja, compactação do solo, definitivamente, não é boa para as plantas, o que acaba gerando um paradoxo em termos de maquinaria agrícola, já que esta tem se tornado cada vez maior e mais potente.

INTRODUÇÃO

De acordo com a FAO - Food and Agricultural Organization (2007), em 1994 havia 4,9 milhões de hectares de área plantada no planeta, com 2,5 bilhões de habitantes (agricultores em sua maioria), que precisam ser transportados diariamente de um ponto a outro nas plantações, utilizando estradas não pavimentadas e veículos inapropriados.

Em se tratando de estradas e caminhos não pavimentados nas áreas agrícolas, Beenhakker (1983) afirma que uma estrada de terra com superfície nivelada mecanicamente e com uma camada de cascalho custa de US\$8.000 a US\$25.000/km, enquanto a mesma estrada com uma simples camada de massa asfáltica custa entre US\$100.000 e US\$250.000/km. Isso significa que, de um lado encontra-se o problema referente à manutenção das estradas rurais de terra, já que esse trabalho é normalmente desfeito pela ação das chuvas, e de outro o custo da pavimentação, como possível solução ao

problema, mas que torna-se proibitivo, principalmente considerando-se o reduzido número de veículos trafegando por tais estradas. De qualquer forma, o custo médio atual de uma empresa canavieira do Estado de São Paulo com a manutenção de parte de suas estradas não pavimentadas é de R\$ 1,5 milhão/mês, e o gasto com a manutenção da frota que opera em condições "off-road" chega a ser 30% a 40% acima dos valores gastos com a frota que opera sobre pavimentos.

Tal análise permite um melhor entendimento dos sistemas de locomoção atualmente em uso, e a posição deles no contexto de transporte. Uma das hipóteses levantadas é que os sistemas atuais baseados em rodas e pneus, muito embora sejam maduros e tradicionalmente ligados a qualquer transporte terrestre, apresentam limitações em relação à locomoção, comprometendo em muitos casos, a mobilidade dos veículos, em especial para aplicações "off-road".

Por essa razão, o desenvolvimento de um sistema capaz de oferecer uma melhor condição de desempenho a um veículo quando operando em situação "off-road", não só garantiria a locomoção dos veículos (princípio básico do transporte terrestre), como minimizaria sensivelmente os problemas de deslocamento enfrentados pelas empresas agrícolas, garantindo assim a produção e reduzindo os custos. Além disso, devem ser consideradas todas as outras atividades que dependem, de uma maneira ou outra, do transporte "off-road", como aquelas em apoio às consequências de desastres naturais, de resgate e salvamento e as militares, só para citar algumas.

No entanto, é importante destacar que, muito embora atualmente termos como "Off-Road Vehicle" ou "All Terrain Vehicle" estejam muito mais relacionados com atividades recreativas ou esportivas, existem outras necessidades menos conhecidas que poderiam colaborar significativamente com a pesquisa e desenvolvimento de componentes e sistemas, capazes de oferecer aos veículos, um razoável nível de desempenho no transporte "off-road". Pela simples falta de conhecimento e consequente falta de envolvimento com tais necessidades, estas não tem recebido o mesmo nível de interesse e atenção por parte das montadoras, se comparado com outros segmentos, mesmo havendo viabilidade e potencial comercial para isso, como por exemplo, o transporte rural.

O verbo transportar é derivado do latim *trans*, que significa "através", e *portare*, que significa "carregar". Portanto, do ponto de vista etimológico, transporte significa carregar pessoas ou bens de um lugar para outro. De acordo com o Oxford English Dictionary (2008), transporte é "to take or carry from one place to another by means of a vehicle, aircraft, or ship" (levar ou carregar de um lugar ao outro por meio de um veículo, avião, ou barco). Embora a tecnologia dos transportes desenvolvida pelo homem tenha permitido a exploração do

espaço, paradoxalmente, exemplos como o transporte nas áreas agrícolas são muito discrepantes se comparados à evolução de outros segmentos do setor de transporte.

Mas ao falar de transporte, dificilmente alguém pensa a respeito dos outros componentes que fazem parte da atividade do transporte como um todo, como a locomoção e a mobilidade. A origem da palavra locomoção vem do inglês antigo, combinando as palavras loco, que significa “de um lugar”, e motionem, que significa “movimento”. Ou seja, locomoção significa o poder ou a habilidade de se mover. Já a palavra mobilidade pode ser definida como a qualidade ou o resultado da locomoção.

Apresentando isso de forma visual (Figura 2), é importante perceber que a atividade de transporte é muito mais do que simplesmente mover pessoas ou bens de um ponto a outro, já que sem que haja uma mobilidade, assegurada pela locomoção através de um meio de transporte, não pode haver transporte. Portanto, nesse diagrama, ao se entender que para que uma atividade de transporte seja bem sucedida, é preciso que haja, primeiramente, uma relação bem sucedida entre veículo e terreno, confirmando assim a locomoção. Apenas a confirmação da locomoção é que se pode garantir a mobilidade. Portanto, se nesse processo o resultado (mobilidade) não pode ser garantido é porque houve falha na capacidade de se mover (locomoção) do veículo, e sem locomoção não há como mover pessoas e bens de um ponto a outro. Ou seja, não há transporte.

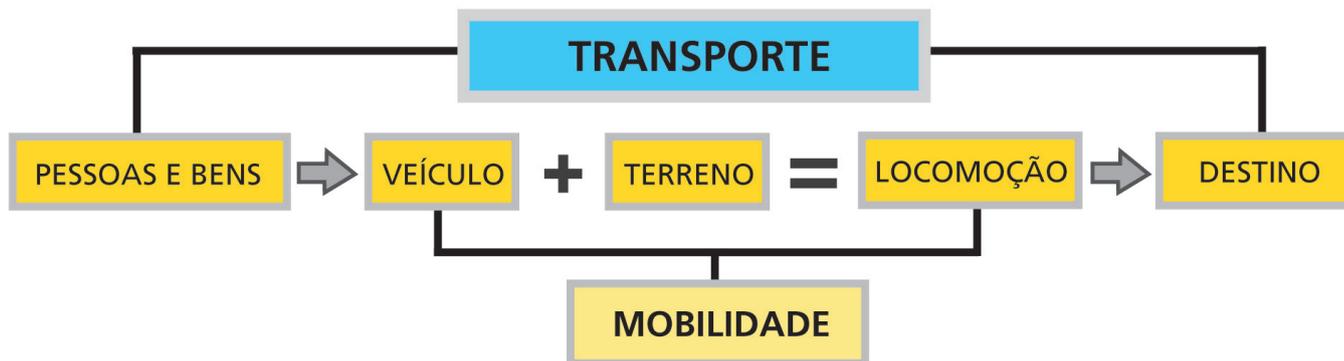


Figura 2 Entendendo a mobilidade terrestre.

A LOCOMOÇÃO TERRESTRE E A RODA

É praticamente impossível descrever a história do transporte terrestre sem que a roda esteja presente. Atualmente, grandes cargas são movimentadas sobre rodas de aço que se movimentam sobre trilhos também de aço (sistema ferroviário), oferecendo tração e frenagem de forma bastante eficiente. Entretanto, é importante entender que o desenvolvimento da roda tem sido relativamente marginal desde o século XIX. É por isso que, como diz French (1989): "O termo 'inventar a roda' reflete o seu verdadeiro significado", já que, mesmo hoje em dia, o transporte "off-road" ainda apresenta as mesmas questões levantadas nos primórdios da roda. Uma das prováveis explicações para isso foi o rápido desenvolvimento econômico da sociedade, particularmente nos últimos dois séculos, o qual trouxe grandes investimentos em ferrovias, num primeiro momento, e em rodovias, num segundo.

Todavia, até 10.000 AC, a roda não era utilizada nos transportes. A maior parte do planeta era coberta por gelo, floresta ou deserto, e provavelmente essa seja a razão pela qual a invenção da roda coincida com o período histórico de exploração agrícola e sua necessidade de transporte. Entretanto, curiosamente, mesmo nos dias de hoje, a roda ainda enfrenta dificuldade para se relacionar com neve, areia e lama. Daí o porquê da necessidade das estradas a partir do surgimento da roda.

Historicamente, coube aos Romanos a construção da primeira malha de estradas com 85 km de extensão, para fins militares, provando que desde aquela época já havia uma preocupação quanto à dificuldade de acesso a alguns tipos de terreno, ou de se vencer mais facilmente obstáculos ao longo do caminho. Entretanto, além dos Romanos, existem registros que confirmam a existência de estradas em Jericó já em 6.000 AC, além de ruas calçadas com pedras em Ur (atual Iraque) em 4.000 AC.

Portanto, excluindo a necessidade e a preocupação com estradas por parte dos Romanos, pode-se dizer que, hoje a estrada depende muito mais da roda do que o contrário. Para isso, basta considerar que qualquer proposta de veículo sem rodas estaria na contramão das viabilidades econômica, comercial e financeira, não exatamente por causa de limitações tecnológicas, mas por causa de toda uma infraestrutura de locomoção terrestre baseada em estradas, disponível e pronta para ser usada.

Outro aspecto interessante ao se observar como os animais terrestres se movem, é que a roda não faz parte desse cenário. Isso leva a crer que o uso da roda como solução de locomoção para veículos terrestres deve estar diretamente relacionado ao sucesso do uso de sistemas rotacionais, baseados em rodas, nas aplicações industriais

e nos próprios motores. Ou seja, Pode se dizer que o conceito ao redor dos veículos terrestres não só nasceu a partir da própria roda, como não foi inspirada por qualquer elemento da natureza.

E o fato da roda como solução de locomoção não ter sido inspirado pela natureza é a razão principal pela qual os veículos ainda sofrem quando em situações "off-road", envolvendo, por exemplo, terra fofa, neve, lama, pântano, areia e pedras. Entretanto, hoje é praticamente impossível pensar em locomoção terrestre sem relacioná-la à roda e também ao pneu: outra memorável invenção como solução à minimização dos pontos fracos da roda ao lidar com os vários aspectos dinâmicos envolvidos na locomoção.

Uma ótima analogia sobre o quão eficientemente a natureza lida com a locomoção é apresentado por Bekker (1960). Comparando várias formas de movimentação terrestre, ele mostra que a força necessária para se vencer a resistência ao andar (sair da inércia), bem como a força de propulsão necessária ao movimento, zeram quando a razão entre o comprimento das pernas e o comprimento do passo for também zero. Isso significa que, andar é cinematicamente idêntico à rolagem de um polígono cuja medida de seus lados é igual à medida do espaço percorrido por cada movimento. Ou seja, embora a natureza não produza sistemas rotativos como soluções de locomoção, esta produz mecanismos articulados que, em termos de eficiência, produzem movimentos de translação comparados ao movimento de uma roda rígida rolando sobre uma superfície lisa. A Figura 3 apresenta a eficiência de diferentes sistemas de locomoção, considerando-se a relação peso/potência necessária ao movimento, bem como a velocidade alcançada.

De qualquer forma, o uso de rodas nos veículos como solução de locomoção fez com que estas se tornassem um sistema inquestionavelmente maduro e universal, e como tal necessita ser, constantemente, melhorado e aperfeiçoado tanto quanto possível, em particular para aplicações "off-road". O ideal para tais aplicações seria a combinação de um veículo multiterreno e um veículo anfíbio, capaz de vencer todo tipo de irregularidades de terreno, permitindo a locomoção do veículo, mantendo-o em movimento, garantindo a mobilidade, completando assim o trajeto pretendido e conseqüentemente o transporte. Isso porque não existe uma forma de se prever as condições dos terrenos e os tipos de obstáculos ao longo de um determinado trajeto.

Tradicionalmente, a maioria dos veículos e sistemas para uso "off-road" já existentes, precisam ser modificados a fim de melhor atender as necessidades básicas de

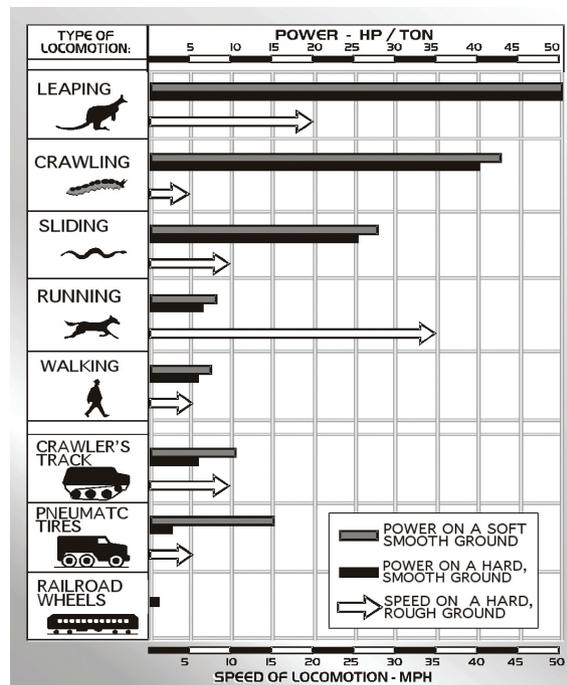


Figura 3 Desempenho de diferentes sistemas de locomoção. Fonte: Bekker.

locomoção em tais condições. Um bom exemplo são os veículos para fins agrícolas. Nesse caso, algumas modificações são realizadas de forma empírica e sem um embasamento mais técnico, fazendo com que boa parte dessas modificações perca a oportunidade de se transformar em um desenvolvimento de um produto, de fato, dificultando a possibilidade de uma exploração comercial dessas modificações.

O PNEU

O pneu é um componente essencial ao transporte terrestre, e se mantém em constante desenvolvimento, em especial no que tange aos aspectos relacionados à segurança. O seu próprio nome está ligado a proteção, já que segundo French (1989), o nome “tyre” (pneu em inglês) é derivado de “attire” que significa capa protetora ou cobertura.

Em termos simples, um pneu é um toróide flexível de borracha fixado ao aro de uma roda, atuando como uma mola, tendo sua invenção ocorrida na busca pela redução do desconforto físico causado pelos efeitos da vibração e do ruído, notados depois de apenas alguns poucos quilômetros de viagem. Tais efeitos foram tão marcantes que acabaram criando na época termos como “batedor de ossos”. Por isso, tanto R.W. Thomson em 1846, quanto J.B. Dunlop em 1888 (inventores do pneu), buscavam atender dois objetivos principais: reduzir a resistência ao rolamento sobre superfícies irregulares das ruas de pedra da época e diminuir os efeitos do choque entre a roda e o terreno. E isso pode ser confirmado nos registros do “Patent Office UK”, no Reino Unido, onde na primeira Patente depositada por Thomson em 1846, encontra-se a seguinte descrição: “A natureza de minha dita invenção consiste na aplicação de anéis de borracha ao redor das rodas das carruagens, com o propósito de reduzir a energia necessária para arrastá-las, tornando seu movimento mais fácil e diminuindo o ruído gerado por elas quando em movimento”.

No começo de sua história o pneu teve dificuldades em competir com as rodas revestidas com borracha maciça, principalmente por conta de sua baixa confiabilidade na época para usos mais severos. Uma vez melhorada a sua capacidade de tração e com o aumento da velocidade dos veículos, teve sua atenção voltada para os veículos militares durante a Primeira Guerra Mundial, disparando então, a partir daí, não apenas um grande desenvolvimento técnico, mas seu auge pelo mercado consumidor.

A fim de promover uma locomoção mais eficiente aos veículos, o pneu depende diretamente de sua área de contato com o solo, por estar relacionada à tração, resistência ao

rolamento, frenagem e direção. A área de contato de um pneu com o solo atua como se fosse uma placa plana cuja medida atualmente varia de 150 a 200 mm de comprimento por 100 a 150 mm de largura em carros de passeio, e de 250 a 300 mm de comprimento por 200 a 250 mm de largura em caminhões pesados. A Figura 4 mostra os efeitos de diferentes pressões do pneu em sua área de contato com o pavimento.

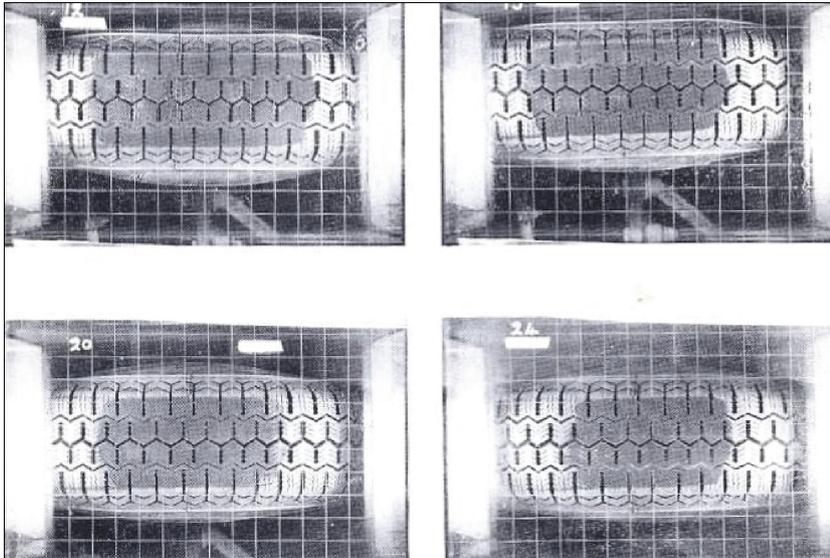


Figura 4 Área de contato de um pneu para carro de passeio com 12, 15, 20 e 24 psi de pressão. Fonte: French.

A capacidade de adesão ao pavimento é apenas um dos muitos fatores de inovação do projeto de pneus, em especial através das inúmeras melhorias conquistadas com o desenvolvimento de novos compostos de borracha nos últimos 50 anos. Como resultado, a capacidade de adesão dos pneus atuais aumentou cerca de 200%, graças, por exemplo, as suas paredes laterais mais finas e maiores áreas de contato de suas bandas de rodagem com o piso. Isso significa, dentre outras coisas, um aumento na capacidade de frenagem e manobra, resultando em um maior controle do veículo.

O ideal no projeto de um pneu é que este seja capaz de oferecer flexibilidade suficiente para ajustar sua banda de rodagem ao perfil do terreno. Entretanto, isso ainda pode ser considerado um desafio devido às várias limitações de ordem física, química e de fabricação. Ao se aumentar, por exemplo, a profundidade dos blocos da banda de rodagem a fim de aumentar a flexibilidade, aumenta-se a instabilidade desses blocos

em movimento, aumentando conseqüentemente o calor devido à excessiva força centrífuga e a velocidade. Obviamente, uma maneira de se minimizar os efeitos negativos da força centrífuga aplicada aos pneus durante a frenagem e o esterçamento seria através de um mecanismo capaz de transferir parte da carga exercida sobre o lado afetado pela força centrífuga, para o outro lado do veículo. Entretanto, uma solução como essa ainda não está disponível dentro da lista dos itens de segurança que compõe o pacote da chamada Segurança Ativa de um veículo.

Em termos de construção, existem dois tipos de pneus: os diagonais e os radiais. No diagonal, as cordas da malha de sua estrutura são dispostas paralelamente e formam um caminho ao redor da carcaça do pneu, alternando ângulos de 45° a 70°. Já no radial (inovação da Michelin), uma secção cruzada de cordas segue um caminho formado por um ângulo de 90°. Essa simples diferença na construção do pneu altera consideravelmente seu comportamento, em aspectos tais como: capacidade de carga, dirigibilidade, absorção de choques, supressão de ruídos, vida útil, geração de calor, peso e custo. Mesmo atualmente, com todos os recursos computacionais disponíveis no desenvolvimento de um pneu, ainda existem algumas lacunas que precisam ser preenchidas, particularmente no que diz respeito à combinação de um grande número de materiais diferentes (de 6 a 30) e seus próprios processos de fabricação, multiplicando assim o número de variáveis envolvidas e conseqüentemente dificultando uma maior padronização. Associado a isso, como confirma French (1989), o vasto leque de propriedades técnicas dos pneus, combinado com as diferentes aplicações, diferentes habilidades dos motoristas, diferentes tipos de terreno e condições de superfície, faz com que se exija cada vez mais da pesquisa e desenvolvimento de pneus.

AS PROPRIEDADES DO SOLO E A LOCOMOÇÃO

Um veículo motorizado se move adequadamente se o terreno apresentar resistência suficiente para suportar seu peso, e se o nível de resistência ao rolamento for baixo o suficiente para permitir o empuxo necessário para vencer a ação de forças verticais e horizontais envolvidas na locomoção, permitindo assim a propulsão. Parte dessa propulsão é perdida ao se vencer a inércia, e o restante é usado na aceleração do veículo, vencendo obstáculos e carregando cargas. O problema é que, paradoxalmente, os veículos com elevada pressão de contato com o solo,

são os que apresentam melhor desempenho, principalmente no que diz respeito à dirigibilidade e ao controle do veículo.

A fim de enfatizar a importância da relação entre a área e a pressão de contato, pode-se considerar a seguinte situação envolvendo dois tratores de esteira equipados com esteiras com a mesma área, mas com diferentes dimensões: uma é longa e com 250 mm de largura e a outra é curta e com 500 mm de largura. Como resultado, a pressão de contato da primeira esteira é de 12 psi enquanto da segunda é de 6 psi, o que significa que muito embora o peso das esteiras e a área de contato seja a mesma, a pressão de contato sobre o solo é diferente para cada uma delas. Assim, pode-se dizer que embora os veículos sejam os mesmos e a diferença entre eles seja pequena, de fato, cada um deles seria apropriado para diferentes terrenos e aplicações, comprovando a importância dos parâmetros relacionados à forma do veículo e sua área de contato.

Na mesma forma, um teste prático realizado por Bekker (1960) usando dois tratores com pesos diferentes (8.000 kg e 6.500 kg) e dois tipos diferentes de solo, pode ser também usado como exemplo. Via de regra, a prática comum para melhorar a tração dos tratores e melhor distribuir o seu peso sobre o solo adicionando ou removendo pesos no veículo. A fim de quebrar esse paradigma, Bekker escolheu então o trator mais leve dos dois e ao invés de acrescentar mais peso, ele apenas aumentou o comprimento de suas esteiras em 100 mm, obtendo o mesmo resultado em desempenho. Dessa forma, fica mais uma vez confirmados dois importantes aspectos: primeiro, a importância de um apropriado relacionamento entre a forma e o peso no projeto de um veículo "off-road", independentemente de sua aplicação. E segundo, que é possível para um veículo obter um melhor desempenho em condições "off-road" mesmo sendo mais leve, desde que esteja adequado às condições do terreno e à atividade para a qual foi projetado.

Já em termos de pressão de contato com o solo, o ideal para solos mais plásticos, como lama, por exemplo, seria uma pressão ao redor de 2 psi, a qual não pode ser alcançada pelos pneus convencionais. Essa é a principal razão pela qual, em muitos casos, a esteiras têm a preferência sobre os pneus, para atividades "off-road", mesmo sendo mais caras, de manutenção mais complexa e mais destrutiva ao meio ambiente.

Um veículo "on-road" pode contar com as melhorias nas condições das ruas e estradas, oriundas do desenvolvimento tecnológico dos sistemas de pavimentação. Entretanto, o mesmo não acontece com os veículos "off-road", os quais acabam dependendo apenas do desenvolvimento tecnológico dos veículos. Por conta disso, é

recomendável para projetos desse tipo de veículo, uma maior preocupação com a relação entre seu peso e forma em busca de um aumento no coeficiente de tração.

Se voltarmos nossa atenção para os caminhões, por exemplo, percebe-se que o seu peso e tamanho têm aumentado, assim como tem acontecido com a maquinaria agrícola, levando a um comprometimento das condições físicas das estradas. O AASHO – American Association of State Highway Officials, realizou um experimento envolvendo caminhões com cargas de 0,9 a 13,6 toneladas, indicando que o fator R (fator de comprometimento da estrada) é proporcional a quarta potência da carga no eixo. Isso quer dizer que uma carga de 13 toneladas sobre o eixo de um caminhão é quase três vezes mais comprometedora para a estrada do que uma carga de 10 toneladas, muito embora a diferença de peso, nesse caso, seja de apenas 30%.

AS ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS E O TRANSPORTE

De acordo com Alfelro & McNeil (1989) apud Viviani (1998), em países desenvolvidos a proporção de estradas não pavimentadas em 1978 variava de 5% a 63%, ao passo que em países em desenvolvimento essa proporção variava de 70% a 97% de toda a malha rodoviária. Para se ter uma ideia do volume de estradas não pavimentadas no Brasil, Pastore et al. (1986) apud Viviani (1998), mostram que só no Estado São Paulo (o mais desenvolvido do país) com uma área de 247.898 km², possuía na época 170.000 km de estradas não pavimentadas. A maioria dessas estradas comporta um tráfego diário ao redor de apenas 30 veículos e encontrava-se em más condições de conservação, piorando no período de chuvas, entre novembro e março. Entretanto, as estradas rurais são absolutamente essenciais para a economia do Brasil, sendo a alternativa primeira para escoar a produção agrícola, como é confirmado por Viviani (1998) em um trabalho com dados referentes à malha rodoviária do Brasil, com base nos dados da Fundação IBGE de 1992, 1994 e 1995.

Visser & Husdon (1983) apud Viviani (1998), explicam que os estragos nas superfícies das estradas causados pela ação das chuvas, acontecem quando a qualidade do solo é fraca, sendo necessária a adição de uma camada extra de terra de melhor qualidade a fim de reduzir as deformações causadas pelo tráfego de veículos. O problema é que no intuito de minimizar as ondulações oriundas das deformações, a maioria das estradas rurais tem suas superfícies irregulares removidas por máquinas, mas sem a adição dessa camada extra de terra. O resultado disso é o rebaixamento do leito das estradas, permitindo o acúmulo da água e tornando assim os efeitos das chuvas ainda mais prejudiciais.

Liautaude & Faiz (1994) apud Viviani (1998) apontam que uma manutenção negligente de uma estrada não pavimentada pode causar um aumento de três a quatro vezes no custo operacional dos veículos, tornando-se ainda pior com o aumento do volume de tráfego. De acordo com os autores, a camada de uma estrada de terra não pavimentada (ver Figura 5) é 20 vezes mais facilmente danificada do que a superfície de uma estrada cascalhada (ver Figura 6), sob as mesmas condições climáticas e de tráfego.

Machado et al. (1997) apud Viviani (1998) dão um exemplo da influência de uma estrada não pavimentada na resistência ao rolamento. Um experimento envolvendo um caminhão de 12 toneladas equipado com um motor de 130 HP trafegando sobre uma estrada não pavimentada sem qualquer tipo de manutenção e danificada pela ação das águas das chuvas, apresentou uma resistência ao rolamento de 90 kg para cada tonelada do peso bruto do veículo, com um consumo de combustível de 0,872 litros/km. Na próxima etapa do experimento, usou-se o mesmo caminhão trafegando sobre a mesma estrada, mas desta vez mecanizada e cascalhada. A resistência ao rolamento, nesse caso, caiu pela metade (45 kg para cada tonelada do veículo), e uma consequente redução de 50% no consumo de combustível, fazendo 0,436 litros/km.

Levando-se em consideração o resultado do experimento acima, o tipo de veículo testado, o tamanho da malha de estradas não pavimentadas no Brasil (1,2 milhão de quilômetros) e um tráfego de apenas 20 veículos por dia, a **economia diária seria da ordem de 10,5 milhões de litros de combustível ou aproximadamente R\$ 2 milhões.**



Figura 5 Estrada de terra sem tratamento superficial.



Figura 6 Estrada de terra com superfície cascalhada.

A RELAÇÃO FORMA - PESO - TAMANHO NO VEÍCULO

Na engenharia aeronáutica, a habilidade de um meio homogêneo como o ar de suportar um avião, não pode ser expresso por um único valor pertencente apenas ao meio, mas a um conjunto de variáveis pertencentes também ao avião. Da mesma forma, na Engenharia Naval, a mesma regra é aplicada à navegabilidade, pois a densidade da água sozinha não pode determinar a capacidade de flutuação, a não ser que também seja considerado, por exemplo, o peso, o tamanho e a forma do barco.

Seguindo a rota do desenvolvimento aeronáutico e marítimo, adaptando as formas ao meio (ar e água, respectivamente), percebe-se que a mesma estratégia deveria ser seguida na área automotiva. Entretanto, ao contrário do ar e da água, que são meios mais fáceis de equacionar, a terra, em função de sua variedade de tipos, composição, propriedades e condições superficiais, tornam o seu equacionamento, uma tarefa quase impossível, na busca por uma aproximação ao que poderia ser o ideal de locomoção terrestre. Prova da falta de formulação dos solos no equacionamento da locomoção é o fato da forma básica de alguns veículos (os agrícolas e de movimentação de terra, por exemplo) permanecerem inalteradas por décadas.

Obviamente, diferentes tipos de solo requerem diferentes tipos de abordagem para a locomoção, e conseqüentemente, demandariam diferentes projetos a fim de maximizar o desempenho do veículo. Essa talvez seja a principal razão de defender aqui uma maior atenção ao transporte "off-road" por parte das pesquisas em design de veículo. Embora existam claros sinais de melhoria nessa área do conhecimento, especialmente em termos de avançados laboratórios voltados à avaliação de solos e ao comportamento dinâmico dos veículos, em especial envolvendo pneus e suspensão, ainda existe um longo caminho a ser percorrido nessa direção.

O tamanho e a forma dos veículos terrestres ainda estão relacionados ao dimensionamento padrão das estradas que data do Império Romano, muito embora existam outras razões que devam ser respeitadas ao se projetar um veículo a fim de promover mais segurança e controle, tais como:

- Razão da largura $L = 90 + 1,0 P$, onde P é o peso total em toneladas.
- Razão do comprimento $C = 170 + 1,9 P$
- Razão comprimento / largura $= 1,7 < (C \div L) < 1,9$

Se, a forma e o tamanho dos veículos terrestres são cruciais ao seu desempenho devido aos efeitos físicos e geométricos, e se essa preocupação há tempos parece ser levada em conta no projeto de veículos de passeio, por que a atual razão comprimento / largura nos veículos e máquinas agrícolas permanece praticamente igual há pelo menos 50 anos?

Como visto anteriormente, a redução da pressão de contato com o solo, por exemplo, pode ser alcançada reduzindo-se o peso do veículo. Entretanto, isso acaba por impor limitações ao projeto, e como resultado, um aumento na área de contato para uma determinada carga tem sido adotado na redução da pressão de contato, aumentando, portanto, a largura dos pneus ou esteiras dos veículos. Isso mais uma vez significa limitações de projeto, e uma razão para justificar a inexistência de mudanças significativas na forma dos veículos agrícolas, principalmente em termos de proporção, como pode ser confirmado pelas Figuras 7 e 8.



Figura 7 Modelo de trator produzido na década de 1940.
Fonte: Ellen Meiselman – The Design Space.



Figura 8 Modelo de trator produzido pelo mesmo fabricante na década de 1980.
Fonte: MachineryPete

Outro exemplo da relação entre forma, peso e tamanho nos veículos terrestres é a influência histórica da adoção de praticamente a mesma razão entre a altura do veículo e a altura de suas rodas. É bem verdade que, do ponto de vista da locomoção e sob certas circunstâncias, um veículo "off-road" é mais suscetível a problemas de desempenho do que um veículo "on-road". Por conta disso, uma mudança nos conceitos, bem como nos projetos de veículos "off-road" seria necessária a fim de melhorar o seu desempenho. Entretanto, ao invés disso, o que normalmente se vê é uma lista de veículos urbanos simplesmente adaptados para o uso agrícola, por exemplo.

Portanto, uma mudança adequada e racional na relação forma, peso e tamanho dos veículos "off-road", produziria avanços significativos para a atividade de transporte. Mas é preciso entender, entretanto, que nenhum desses avanços aconteceria se o mesmo paradigma e abordagem não forem também adotados no projeto dos subsistemas que compõem o veículo, como o trem de força e a suspensão, por exemplo. Sem essa interação, não vai adiantar utilizar, por exemplo, um revolucionário sistema de transmissão montado sobre uma plataforma cujo conceito de projeto e uso permanece sem mudanças significativas há 50 anos.

ALTERNATIVAS PARA O TRANSPORTE "OFF-ROAD"

Veículos "off-road" podem ser definidos como qualquer tipo de veículo destinado especificamente para aplicações em todo tipo de terreno ou mesmo sem qualquer tipo de pavimento. Sua maior altura do solo e grande capacidade de tração permitem a esse tipo de veículo enfrentar trilhas e estradas temporárias com superfícies irregulares ou compostas por terra fofa e areia, que normalmente oferecem pouca adesão e tração ao veículo. Um leque de veículos militares foi extensamente desenvolvido para esse propósito durante a Primeira e a Segunda Guerra Mundial, resultando na criação de caminhões pesados e veículos versáteis menores, tal qual o Jeep. Após esse período, os veículos desse tipo foram então colocados à disposição do mercado, para uso civil, conquistando rápida popularidade não apenas entre os fazendeiros, para uso agrícola, mas também para recreação e lazer.

Nessa categoria de veículos estão incluídos aqueles equipados com rodas, esteiras, e até os sem rodas, como os veículos com colchão de ar. A adoção de rodas ou esteiras depende de três fatores: custo, adequação e viabilidade. Em termos gerais, embora tradicionalmente veículos de esteira possuam um desempenho superior no cenário "off-road",

eles são mais caros, requerem uma manutenção mais complexa, e apresentam habilidade limitada para lidar com superfícies pavimentadas. Ao passo que veículos com rodas são mais baratos, e geralmente são capazes de desenvolver velocidades mais altas. Dessa forma, nas próximas páginas são apresentados diferentes veículos para aplicações “off-road”, no sentido de permitir um melhor entendimento de seus pontos fortes e fracos.

Veículo com Colchão de Ar (Air Cushion Vehicle)

Logo no primeiro contato com a tecnologia do “Hovercraft” (nome de batismo dos primeiros veículo baseados nesse conceito) imagina-se que este possa solucionar ou atender boa parte das necessidades do transporte “off-road”. Entretanto, depois de algum tempo de pesquisa, suas limitações tornam-se mais evidentes, não apenas para aplicações em terra, mas principalmente para as condições que se apresentam os terrenos nas plantações.

O princípio de funcionamento do Hovercraft (ver Figura 9) é baseado no uso de ar em baixa pressão, na forma de um colchão de ar na parte inferior do veículo, capaz de levantá-lo, mantendo-o fora do chão. Em tais circunstâncias, um Hovercraft torna-se anfíbio e capaz de atravessar diferentes tipos de terrenos, terra fofa, pântanos e água sem danificar o ambiente, precisamente por conta de sua baixa pressão de contato.

Entretanto, é essencial notar, primeiramente, que a altura máxima desse tipo de veículo deve ser de aproximadamente um oitavo de sua largura, devido ao fato de que qualquer outra razão entre essas medidas pode afetar a estabilidade do veículo. Isso significa, em primeiro lugar, que variáveis como a carga e a distribuição de peso são cruciais em seu projeto. Segundo, existe uma diferença de tempo (delay) entre o acionamento de um comando ou controle e a reação do veículo, como acontece normalmente com um barco. Ou seja, o “Hovercraft” não oferece o melhor controle e resposta para funções importantes como frenagem e direção, assim como acontece com os veículos equipados com rodas, justamente pelo contato destas com o solo, permitindo maior precisão de manobra e controle.

No início da década de 1960, o Fighting Vehicle Research & Development Establishment (FVRDE) de Chertsey, Reino Unido, iniciou experimentos com hovercrafts sobre terra firme (Maclaurin, 2006). Certos problemas começaram a aparecer, confirmando as observações acima. São eles:



Figura 9 Hovercraft modelo AP-88/100 com saia flexível.

- Dificuldade de controle
- Perda de pressão através das saias ao atravessar valas e depressões
- Elevado consumo de combustível
- Alto nível de ruído
- Falta de habilidade para vencer terrenos íngremes

As observações acima são endossadas por diferentes especialistas nessa tecnologia como Westwood (2005), da Austrália; Castendijk (2005) da Holanda, e Jacobs (2005) do Reino Unido. Assim, fica então claro que apesar de atraente, enquanto solução, o VCA não é a resposta mais adequada para o transporte “off-road”.

Portanto, muito embora de um lado o VCA apresente algumas vantagens sobre o veículo com rodas, como a baixa resistência ao rolamento e compactação do solo, por outro lado este se apresenta como uma opção pobre em termos de desempenho “off-road”, investimento inicial e custos operacionais. Além disso, assim como no VCA, a esteira de colchão de ar também representa um pobre investimento inicial devido ao grau de especialização, além de um conforto menor se comparado ao VCA. Isso significa que embora ele pudesse ser adequado por ser capaz de atravessar diversos tipos de terreno, ele não poderia fazê-lo de forma confortável e por um custo acessível.

Veículo Todo Terreno (All Terrain Vehicle)

Um Veículo Todo Terreno é normalmente equipado com suspensões altas (ver Figura 10), e constitui uma classe particular de veículo com suas próprias características e aplicações. Um fator importante é a extensão do movimento da suspensão, algumas vezes com mais do que 500 mm, o que eleva consideravelmente o centro de gravidade (CG), afetando, como resultado, o controle do veículo e a segurança dos usuários.

Essa pesquisa revela que apesar do VTT estar comumente associado com atividades esportivas ou de recreação, existem outras necessidades de transporte que acabam sendo beneficiadas pelos resultados do desenvolvimento de componentes e sistemas exclusivos para esse tipo de veículo. Verdadeiramente, esses resultados tem contribuído para forçar os limites da locomoção em direção ao transporte “off-road”.

De qualquer forma, o VTT, como se pode verificar, não é exatamente a resposta para a maioria das necessidades comuns de transporte “off-road”. Embora este produza um

excelente desempenho em tais condições, oferece não só um baixo nível de controle e segurança, além de um investimento inicial significativo, o qual acaba gerando uma baixa relação custo-benefício em função de suas exigentes especificações técnicas.

Veículo Utilitário Esportivo (Sport Utility Vehicle)

O uso de um Veículo Utilitário Esportivo (ver Figura 11) no atendimento de várias necessidades no transporte diário tem aumentado significativamente o mercado desse tipo de veículo. Seja qual for a razão para isso (status, sensação de poder ou segurança), isso já é realidade, muito embora apenas 20% desse tipo de veículo seja usado para aplicações 'off-road', de acordo com a Land Rover (English, 2005). Pesquisas de mercado mostram que esse tipo de veículo é usado como carro comum, para ir e vir do trabalho ou levar as crianças para a escola, por exemplo, mas raramente são usados em situações "off-road".

O VUE tem representado um sério desafio para os fabricantes que atuam nesse segmento, incluindo aqueles envolvidos com a produção de peças, como a própria indústria de amortecedores. Um exemplo do avanço da tecnologia nesse segmento é o desenvolvimento de uma suspensão projetada para melhorar a estabilidade por meio de linhas hidráulicas que estabelecem uma conexão cruzada entre as suspensões dianteira e traseira, controlando os movimentos laterais do veículo. Este não apenas garante uma elevação extra do veículo em relação ao solo, quando necessário, mas também garante segurança e dirigibilidade superiores. Isso pode ser comprovado no Porsche Cayenne.



Figura 10 ATV – Veículo Todo Terreno em operação. Fonte: Rhino.



Figura 11 Veículo Utilitário Esportivo. Fonte: Carshd

Isso significa que modelos atuais de VUE oferecem um desempenho “off-road” impressionante, sendo ao mesmo tempo confortáveis, confiáveis e seguros. Também apresentam um excelente controle associado a um alto nível de absorção de choques e vibração. Entretanto, como todos esses atributos elevam substancialmente o preço do veículo, e por depender de tecnologias sofisticadas e igualmente caras, faz dessa opção não favorável a muitas das necessidades comuns do transporte “off-road”, em especial as agrícolas.

Veículo Militar com Rodas (Wheeled Militar Vehicle)

O problema do transporte de pessoas, munição, armas, equipamentos e suprimentos sobre terrenos irregulares têm sido estudados há séculos pelos militares. Recentes avanços tecnológicos em termos de controles eletrônicos e novos materiais têm contribuído significativamente para o desenvolvimento de veículos para tais aplicações. Entretanto, um dos aspectos mais desafiadores, foi e continua sendo, a redução de peso, já que, como observado anteriormente, o desempenho de qualquer veículo em operações “off-road”, está diretamente ligado a resistência ao rolamento e a velocidade, as quais são influenciadas pelo peso de veículo. E os veículos militares são normalmente pesados por várias razões. Dentre elas, destacam-se:

- A maioria deles precisa de blindagem, o que significa paredes mais espessas e material extra em sua construção.
- A maioria deles precisa carregar armas e munição.
- Eles precisam ser bastante robustos, não apenas para poder melhor lidar com o peso extra em sua estrutura, mas também para resistir às condições rígidas de operação (um leque de diferentes situações de terreno e clima) nas quais os veículos são submetidos quando em combate.
- Eles precisam ser equipados com eixos e suspensões mais pesados e robustos, e motores maiores e mais potentes, capaz de desenvolver um nível de desempenho aceitável aos padrões militares.

Esses requisitos para veículos militares terrestres, assim como aéreos e navais, têm exercido grande impacto no design de veículos, bem como no desenvolvimento de novos materiais, novos sistemas de locomoção e de defesa. Portanto, é importante que se apresente uma breve descrição da evolução histórica desses veículos, principalmente

por constituírem a mais extensa referência para qualquer estudo de transporte “off-road”, e também por causa da maneira como eles têm lidado com as limitações de locomoção, e ao mesmo tempo com os desafios técnicos impostos pelas exigentes especificações militares.

A década de 1940 foi sem dúvida alguma a década chave para o desenvolvimento de veículos militares, devido à demanda gerada pelas duas grandes Grandes Guerras Mundiais. A experiência Britânica com a batalha no deserto no início dos anos 40, por exemplo, mostrou como efetivamente os veículos com rodas podiam operar em áreas planas de areia com velocidades relativamente altas, e com boa confiabilidade. O uso da suspensão independente para proporcionar um rodar mais macio e rápido; da direção hidráulica, e requisitos de produção em massa no sentido de se obter custos menores, também ocorreram todas naquela década. O Projeto T27 é um bom exemplo de um veículo militar desenvolvido daquele período.

Os anos de 1950 ainda foram difíceis para os veículos militares com rodas competirem com os então tradicionais veículos de esteira. Por muitas razões estratégicas, incluindo também as técnicas e econômicas, o desenvolvimento de veículos militares com rodas só foi levado a sério na década seguinte. Quando isso aconteceu, a contribuição foi enorme para a redução do peso bruto do veículo, em especial pela possibilidade de se usar suspensões mais leves, as quais permitiram reduzir enormemente a transmissão de choques aos tripulantes.

Um bom exemplo de veículo militar com rodas da década de 1960 foi o “Twister” desenvolvido pela empresa US-based Lockheed Missiles and Space Company (ver Figura 12). Este envolvia um novo conceito de um veículo de oito rodas, todas tracionadas (8x8), dividido em duas partes unidas por uma junção pivotante. A possibilidade de ter todas as rodas em contato com o terreno, não importando o grau de irregularidade, era possível graças à capacidade de articulação de cada corpo de forma independente. Isso permitia ao veículo absorver choques numa escala impressionante, resultando em uma diminuição também no nível de vibração (Hunicut, 2002).

Entretanto, um exemplo ainda mais bem sucedido de veículo militar com rodas da década de 1960 é um carro blindado projetado pela Cadillac: o “Commando” ou “V-100” (ver Figura 13). Dentre outras inovações, este tinha um corpo mais largo do que a largura máxima dos eixos, evitando que barro e lama fossem lançados por todo o corpo do veículo, e o mais importante: minimizando os efeitos das explosões de minas terrestres devido ao ângulo de aproximadamente 30° de suas paredes laterais.



Figura 12 Lockheed Twister 1960.
Fonte: World of Tanks.



Figura 13 Cadillac Commando de 1963.
Fonte: Pic 2 fly.



Figura 14 JCB High Mobility Utility Vehicle (HMUV).
Fonte: Auto Express.



Figura 15 Trator equipado com esteiras de borracha.
Fonte: Ring Power.

O “Commando” era também equipado com pneus de combate 14x20 de bom desempenho tanto sobre pavimento quanto em condições “off-road”. Esse pneu foi desenvolvido como resultado das recomendações de pesquisas militares sobre pneus de combate. Tal pneu era capaz de operar a 90 km/h com pressão interna bastante baixa (quase murcho), o que é inquestionavelmente um desempenho excelente em condições “off-road” se comparado aos pneus tradicionais tanto diagonais quanto os radiais (Hunnicut, 2002).

Já na década de 1980 foi a vez dos veículos blindados leves, em função da somatória dos requisitos militares da época com aqueles já estabelecidos em décadas anteriores. Um dos importantes requisitos da época foi à exigência de aproveitamento de autopeças e componentes já existentes no mercado e produzidos por outros fabricantes. Novas limitações relacionadas ao peso bruto desses veículos também foram estabelecidas, para que eles pudessem se enquadrar na capacidade de carga dos helicópteros, que passariam então a carregá-los por grandes distâncias.

E na década de 2000, preocupações relacionadas à fadiga dos ocupantes tiveram prioridade e influenciaram substancialmente o design desse tipo de veículo, proporcionando uma abordagem mais ergonômica associada aos aspectos de funcionalidade do sistema como um todo. Exemplos dessa abordagem podem ser vistos em veículos como o JCB High Mobility Utility Vehicle (HMUV) (ver Figura 14). Esse veículo – particularmente seu interior – é um exemplo tanto de simplicidade quanto de bom design. Externamente, sua carroceria é construída com painéis de material termofixo (Plástico Reforçado com Fibra de Vidro) ao invés de chapas de aço, e os vidros são meramente colados ao invés de presos por meio da tradicional moldura de borracha. Isso só demonstra e confirma como o design baseado na combinação de soluções simples e adequado à função a ser cumprida, pode fazer toda a diferença, mesmo para aplicações bastante especializadas.

Mesmo assim, apesar do valioso exemplo do design de veículos militares, em especial aqueles equipados com rodas, o veículo militar também não é a resposta à maioria das necessidades comuns do transporte “off-road”. Embora a maioria deles ofereça um ótimo desempenho em tais condições, um veículo militar é apenas moderadamente confiável, assim como apresenta uma moderada capacidade de absorção de choques e vibração. É pobre em termos de compactação de solo, resistência ao rolamento, investimento inicial e custo operacional.

Veículo de Esteira (Crawler Vehicle)

Máquinas escavadoras para terraplanagem e tanques de guerra são bons exemplos de veículos de esteira. Dentre suas muitas vantagens, está uma maior área de contato das esteiras, que, conseqüentemente, exerce uma pressão muito menor sobre o solo, tornando o veículo de esteira apropriado para superfícies cobertas de lama ou neve, por exemplo, já que a probabilidade de atolamento é significativamente menor. Este tipo de veículo também apresenta melhor mobilidade quando trafegando em terrenos irregulares ou superando pequenos obstáculos. Entretanto, comparado ao veículo com roda, o veículo de esteira envolve um número muito maior de peças, além de mecanismos mais complexos, o que acaba comprometendo a confiabilidade do sistema. Este também não atinge altas velocidades e suas esteiras podem ser severamente danificadas em contato com superfícies pavimentadas.

Muito embora existam atualmente já em uso versões desse tipo de veículo equipados com esteiras de borracha, particularmente para aplicações agrícolas (ver Figura 15), estas são vulneráveis em muitas aplicações, incluindo a agrícola. De acordo de observações recentes feitas por Beleboni (2006), no Brasil, uma prática comum, nas plantações de cana de açúcar, por exemplo, é alguém caminhar junto desse tipo de máquina, removendo rochas e restos de árvores, a fim de evitar danos mais sérios às esteiras.

Portanto, apesar das vantagens apontadas acima, um veículo de esteira também não é a resposta para aplicações comuns "off-road". Apesar de seu excelente desempenho em tais condições, além de sua capacidade de enfrentar aclives e declives, o veículo de esteira é muito mais desconfortável, oferece pouco em termos de absorção de choques e vibração, e ainda não é simples de manter.

Por meio da análise desse grupo de veículos para aplicações "off-road", atualmente disponíveis no mercado, essa pesquisa mostra que nenhuma dessas alternativas seria capaz de atender plenamente os requisitos comuns do transporte "off-road". Entretanto, veículos militares se destacaram nessa investigação, considerando que esse tipo de veículo consegue alto desempenho, lidando ao mesmo tempo com muito peso. Isso faz do design de veículos militares uma importante fonte de inspiração no que diz respeito à correlação entre locomoção e peso, podendo contribuir em demasia para o desenvolvimento de soluções no design de veículos "off-road". Além disso, os requisitos referentes à produção em massa, associados ao uso muito maior de

autopeças já existentes no mercado, formam uma combinação interessante no sentido de se reduzir custos e ao mesmo tempo garantir uma manutenção mais simples.

CONCLUSÕES

Os resultados dessa pesquisa identificam uma situação curiosa que parece ser essencial para a mobilidade, em especial em condições "off-road". Enquanto os fabricantes de veículos normalmente perguntam como mover um veículo de um ponto a outro usando pneus, os fabricantes de pneus estão perguntando sob quais condições o pneu cumpriria o seu papel. Portanto, muito embora a mobilidade seja o objetivo comum de ambos os fabricantes, a abordagem de cada um pode ser diferente.

Por exemplo, o relacionamento entre a forma, o tamanho e o peso do veículo, é inquestionavelmente importante para a mobilidade em termos de desempenho. Entretanto, a complexa e específica tecnologia desenvolvida pelos fabricantes de pneus não é exatamente conhecida, sendo que os aspectos químicos, de design e de processos de fabricação envolvidos, são muitas vezes segredos industriais, sem contar que boa parte dos desenvolvimentos visa atender aos requisitos de uma única montadora para um modelo específico de veículo. O problema é que com a diferença de abordagem citada acima, os times de projeto do fabricante de pneus e da montadora do veículo podem não estar dividindo o mesmo significado de mobilidade para o projeto do veículo.

Embora o pneu tenha sido inventado para uso em ruas e estradas, e não em situações "off-road", o fato é que ele tem feito um bom trabalho desde então, mesmo em tais condições. E isso pode ser testemunhado por milhões de tratores agrícolas em uso ao redor do planeta. Os atuais pneus radiais e de flutuação, usados na agricultura, apresentam grande capacidade de amortecimento, principalmente se operados em conjunto com um sistema de controle de pressão. Portanto, o pneu é um invento que vem sendo constantemente desenvolvido por mais de cem anos e não deixará de existir tão cedo, exigindo ainda mais da pesquisa e desenvolvimento na área.

A análise dos veículos com condições de atenderem plenamente as necessidades do transporte "off-road", em especial as agrícolas, confirmam que, por muitas e diferentes razões, ainda está para nascer um veículo com tais características, mantendo assim uma lacuna ainda a ser preenchida nesse mercado, e portanto, apontando para uma oportunidade de negócio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELEBONI, J. (2006) *Interview about agricultural transportation and mechanisation*, Bauru: interviewee's home, 16 Jul 2006.
- FAO (2007) *Agricultural area / population [online], forestry Compendium Statistics – Volume 1*, available from: <http://www.fao.org/DOCREP/X2613E/x2613e0i.htm#TopOfPage> [Accessed 21 March 2007]
- BEENHAKKER, H.L. (1983) *Economic Appraisal of Rural Roads: Simplified Operational Procedures for Screening and Appraisal*, Washington D.C.: The World Bank.
- Oxford Dictionary* (2008) AskOxford [online], Oxford: Oxford University Press, available from: <http://www.askoxford.com/?view=uk> [Accessed 7 May 2008]
- FRENCH, T. (1989) *Tyre Technology*, Bristol: Adam Hilger.
- BEKKER, M.G. (1960) *Off-the-Road Locomotion*, [s.l.]: University of Michigan.
- VIVIANI, E. (1998) *A Utilização de um Sistema de Informação Geográfica como Auxílio a Gerência de Manutenção de Estradas Rurais Não-pavimentadas*, Thesis (PhD), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- MACLAURIN, B. (2006) *Tutorial about suspension and dynamics*, London: Royal College of Art, 13 Dec 2006.
- ENGLISH, A. (2005) *Can Your X5 Do This?*, Telegraph Motoring, 5 March, 1
- HUNNICUT, R.P. (2002) *Armoured Car: History of American Wheeled Combat Vehicles*, Novato CA: Presidio. 340 p.



OSMAR VICENTE RODRIGUES

PhD em Design de Veículos pelo Royal College of Art de Londres UK. É Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas pela Universidade Federal de Santa Catarina de Florianópolis SC, e é Bacharel em Desenho Industrial pela UNESP de Bauru SP. Tendo sido 12 vezes premiado no Brasil e no exterior, acumula em sua carreira, mais de 60 produtos desenvolvidos e colocados no mercado, em diferentes segmentos da indústria. É também associado do centro "Innovation RCA", e atua como consultor internacional do "Car Design Research", ambos de Londres UK.

Como Professor no Curso de Design da UNESP Bauru desde 1988, tem sua especialidade e pesquisa voltadas para o design de produto, com ênfase para as áreas de design automobilístico, modelos e protótipos, materiais plásticos, e criatividade e inovação. Com o apoio da Universidade, está atualmente envolvido na criação do CADEP – Centro Avançado de Desenvolvimento de Produtos: um laboratório pioneiro na combinação entre tecnologias convencionais de modelagem (por remoção) com as tecnologias de Prototipagem Rápida (por adição), e um dos 70 no mundo a utilizar tecnologias digitais de modelagem. É Vice-coordenador do LDMP - Laboratório Didático de Materiais e Protótipos e é Coordenador do Acordo de Cooperação entre a UNESP e a Hyundai Motor Company da Coreia do Sul, e do Projeto "Hyundai Cooperative Strategic Project" entre as duas instituições.

Sua base profissional, experiência industrial e a combinação do design com negócios têm sido aplicadas ao longo de sua carreira, tanto no desenvolvimento de produtos e processos para a indústria, quanto no desenvolvimento de suas atividades acadêmicas.