



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

NOTAS DE AULA SOBRE TECNOLOGIA DOS TRANSPORTES

CAPÍTULO 2 – OS COMPONENTES DOS SISTEMAS DE TRANSPORTES

JOÃO ALEXANDRE WIDMER

SÃO CARLOS
2021

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE VIAS DE TRANSPORTE E TOPOGRAFIA - STT

STT-134 TRANSPORTES I

NOTAS DE AULA SOBRE TECNOLOGIA DOS TRANSPORTES

CAPÍTULO 2

OS COMPONENTES DOS SISTEMAS DE TRANSPORTES



JOÃO ALEXANDRE WIDMER

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS - Nos termos da Lei que resguarda os Direitos Autorais, é proibida a reprodução total ou parcial deste trabalho, de qualquer forma ou por qualquer meio - eletrônico ou mecânico, inclusive através de processos xerográficos, de fotocópia e de gravação - sem permissão, por escrito, do(s) autor(es).

2. OS COMPONENTES DOS SISTEMAS DE TRANSPORTES.

Apesar da grande diversidade de componentes dos sistemas utilizados/desenvolvidos pelo homem para transportar pessoas e bens de um local para o outro, esses sistemas possuem um conjunto de componentes funcionais comum. É justamente essa característica que permitiu o desenvolvimento de um campo unificado conhecido por engenharia dos transportes, que se soma a vários campos mais especializados que tratam de modalidades específicas, ou até de componentes dessas modalidades. Neste capítulo, procuraremos identificar esses componentes básicos e as formas em que são agregados para formarem sistemas de transporte funcionais. Apresentaremos também a forma de representação de atributos de sistemas de transporte a partir dos conceitos de fluxo em redes.

2.1. Tecnologias de Transporte.

2.1.1. Pré-requisitos de uma tecnologia de transporte.

- 1) DAR MOBILIDADE - a tecnologia precisa dar mobilidade ao objeto transportado, ou seja, dar-lhe capacidade de deslocamento sem danificar o objeto transportado.
- 2) DAR LOCOMOÇÃO - a tecnologia precisa permitir o controle do movimento através da aplicação de forças necessárias para acelerar, desacelerar, vencer as resistências ao movimento e guiar o objeto ao longo de uma trajetória sem danificá-lo.
- 3) DAR PROTEÇÃO - a tecnologia deve proteger o objeto de deterioração ou dano. Alguns produtos como organismos vivos, ou produtos perecíveis, podem deteriorar-se no transcurso do movimento se não forem mantidos em meios ambientes apropriados (temperatura, pressão, humidade), outros, dada a sua fragilidade, necessitam de proteção especial para resistirem aos esforços inerentes ao deslocamento.

2.1.2. Formas naturais de movimento.

PESSOAS	andando correndo nadando
ANIMAIS	andando correndo nadando voando
OBJETOS INANIMADOS	movimentos naturais dos cursos d'água movimentos naturais do ar troncos flutuando em rios solo e resíduos transportados nos cursos d'água troncos e pedras rolando em encostas avalanches de neve

2.1.3. Tecnologias de transporte.

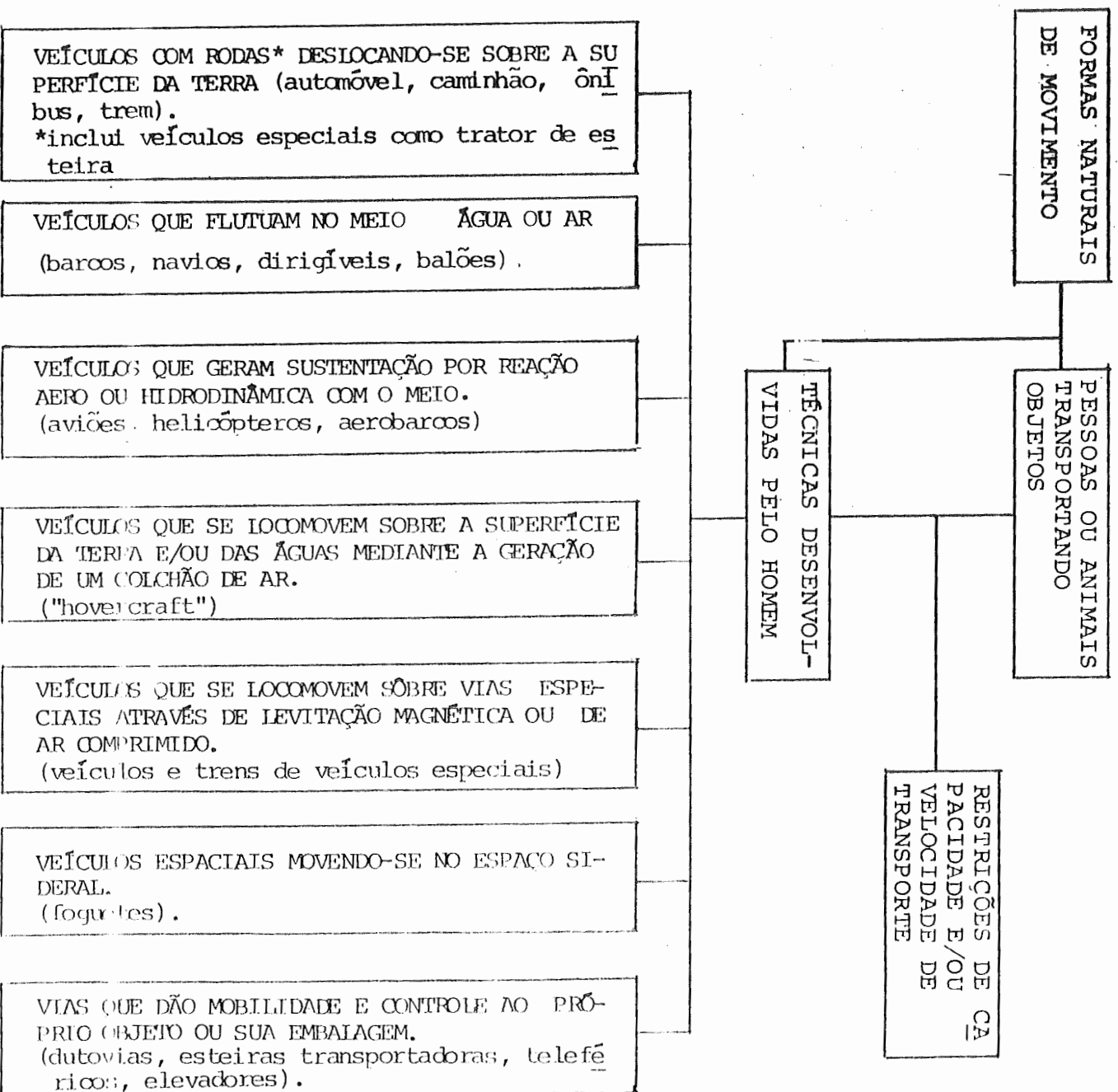
Dadas as limitações de capacidade e velocidade de deslocamento das formas naturais de movimento, o homem desenvolveu uma ampla gama de tecnologias alternativas para o transporte de pessoas e coisas de um ponto ao outro sobre o planeta Terra, e mesmo entre a Terra e corpos celestes próximos.

A Fig. 2.1 apresenta uma descrição sumarizada das principais tecnologias, classificadas de acordo com a forma básica de locomoção, ocorrendo entretanto em cada uma dessas classes, profundas diferenças em termos de características dos principais componentes e capacidade e velocidade de transporte.

Talvez a forma mais difundida seja a do uso de veículos operando sobre a superfície da terra. O conceito é essencialmente o de substituir o homem ou o animal com uma máquina projetada para desempenhar a mesma função. O veículo mais comum tem rodas, as

quais lhe dão mobilidade, e um corpo projetado para conter e proteger o objeto transportado. Foram projetados veículos para percorrer quase que qualquer tipo de terreno, sendo os veículos militares provavelmente os mais versáteis quanto a essa característica. Para distribuir o peso do veículo e de sua carga de forma tal a que ele não afunde no solo, é comum o uso de vias especiais para veículos. Pode-se obter significativas economias na forma de velocidades potencialmente mais elevadas, redução da resistência

FIGURA 2.1 - TECNOLOGIAS DE TRANSPORTE



ao movimento e portanto da potência necessária para a locomoção, capacidade de transportar cargas mais pesadas e menor dificuldade de proteção dos objetos transportados, se o movimento se dá sobre vias lisas e duras. Este fato levou ao desenvolvimento de vias preparadas para veículos específicos como as rodovias e ferrovias. A forma mais comum de propulsão de veículos terrestres sobre rodas é através da aplicação de uma força que gira as rodas motrizes, com a força de atrito da roda com o piso da via servindo como a necessária reação. O direcionamento do veículo para que ele siga uma trajetória determinada é fornecido por forças de atrito roda / via no caso de veículos rodoviários e reação dos trilhos contra as bordas das rodas no caso de veículos ferroviários.

Mais recentemente outras formas de transporte veicular sobre a superfície da terra surgiram. Este incluem aqueles que geram mobilidade através da criação de um colchão de ar sob o veículo com pressão suficiente para elevá-lo sobre a trajetória a ser seguida, e o uso de forças magnéticas para atingir o mesmo objetivo. Como neste caso não há mais contato físico entre o veículo e a trajetória, alguma forma que substitua o atrito mecânico é necessária para prover a propulsão e guiar o veículo ao longo da trajetória. No caso de "hovercrafts" a tração e a direção do veículo é dada através de hélices e lemes direcionais e no caso de veículos que se movem sobre vias especiais a propulsão é dada através de hélices ou turbinas, ou motores elétricos de indução linear, e o veículo é guiado por forças magnéticas ou de pressão do ar resultantes da interação trilho/veículo.

Outras formas bastante difundidas de tecnologia dos transportes são as de veículos deslocando-se na água e no ar. Tanto em um como em outro caso o veículo poderá ser mantido na elevação apropriada para o deslocamento através da sua flutuabilidade no meio (caso de barcos, navios, balões e dirigíveis), ou através da geração de sustentação resultante do escoamento do meio fluido sobre um aerofólio ou hidrofólio (caso de aviões, helicópteros e aerobarcos).

Em algumas situações particulares utilizam-se veículos que deslizam sobre a trajetória devido às características do material que a constitui. É o caso de plataformas industriais que se deslocam sobre superfícies engraxadas ou trenós que se deslocam sobre neve ou gelo. As formas de tração e direção desses veículos são bastante variadas.

Um outro exemplo incomum de tecnologia de transporte é o de objetos que podem eles próprios serem rolados ou arrastados - sobre a superfície da terra ou que flutuam na água e que podem ser deslocados sem dano. Em geral uma trajetória adequada precisa ser preparada, mas o "veículo" vem junto com o objeto. É o caso, por exemplo, do transporte de toras de madeira em rios.

O andar de pessoas e animais na superfície é semelhante ao transporte veicular no que tange à necessidade de construir vias adequadas ao seu deslocamento. Trajetórias de movimento regular que são lisas, niveladas e livres de obstáculos existiram desde os prmórdios da história da humanidade. Atualmente trajetórias de pedes tres são projetadas considerando esses fatores explicitamente.

A humanidade também adaptou os meios naturais de movimento de líquidos e gases às suas necessidades de transporte. O problema principal dessa tecnologia é que as trajetórias nem sempre ocorrem ao longo das rotas onde o movimento é necessário. Assim, procederam-se a adaptações dessa tecnologia construindo-se ca nais e dutovias. A locomoção do objeto que constitui em geral o seu próprio veículo processa-se através de efeito de gravidade ou de estações de bombeamento. Os sistemas de abastecimento de água, de esgoto e de gás encanado constituem em princípio sistemas de transporte.

Entre o movimento discreto de objetos em veículos e o movimento contínuo de gases e líquidos em dutovias ou canais existe uma forma híbrida de transporte em que a locomoção e a mobilidade do objeto é fornecida por um equipamento apoiado sobre o solo que possui uma superfície ou um compartimento de carga móvel. Esteiras transportadoras são um exemplo dessa tecnologia de transporte que inclui também teleféricos e elevadores.

2.2. COMPONENTES FUNCIONAIS DE SISTEMAS DE TRANSPORTE.

A descrição das tecnologias de transporte estabeleceu a base para a identificação dos elementos funcionais que são encontrados explicita ou implicitamente em qualquer sistema de transporte.

Inicialmente cabe identificar aqueles componentes diretamente envolvidos no movimento do objeto de um local para o outro.

Em todo o meio ou tecnologia de transporte descrito anteriormente existe o objeto a ser transportado e uma trajetória ao longo da qual ele se deve mover. O objeto neste contexto é que deve ser movido - uma pessoa ou carga (incluindo organismos vivos) - e a trajetória é o conjunto de pontos no espaço ao longo do qual se quer mover o objeto.

Como se viu anteriormente, na maioria das tecnologias o objeto se move em algum tipo de veículo. O veículo dá mobilidade ao objeto ao longo de um tipo particular de via para o qual foi construído e pode ser propulsionado ao longo dessa via, ou através de locomoção própria ou através de um sistema de tração externo (e.g. locomotiva que puxa um conjunto de vagões. O veículo também tem a função de proteger o objeto de danos e em alguns casos, apenas fornecer tração.

exemplos de veículos:

terrestres: carro, caminhão, cavalo-mecânico, reboque, vagão de trem, locomotiva, tanque de guerra.

hidroviários: canoa, barcaça, rebocador, navio, aerobarco.

aéreos: dirigível, avião, helicóptero.

Semelhante ao veículo em sua função é o dispositivo de unitização de cargas - DUC. O DUC é um dispositivo dentro ou sobre o qual se aglomera uma certa quantidade de unidades de carga, criando-se uma unidade de transporte maior que facilita, e em última análise reduz o custo de transporte de unidades de carga comparativamente pequenas em relação à capacidade de transporte dos veículos. Além dessa função é comum o uso de DUC's para diminuir o risco de dano ou deterioração do objeto durante o transporte. Entretanto, o DUC não dá nem mobilidade nem locomoção ao objeto, requerendo para tal o uso de um veículo propulsor ou uma via móvel. Existe uma grande variedade de dispositivos. De um modo geral podem ser divididas em:

"pallets", paletes ou estrados de carga - que são estruturas planas de madeira, metal ou outro material conveniente com características físicas variáveis em função dos tipos de veículos ou vias móveis que os transportam:

"containers", contêineres ou cofres de carga - que são caixas fechadas de metal, de fibra de vidro, de metal com fechamento de lona, ou outro material conveniente, cujas características físicas também são variáveis em função dos tipos de veículos que os transportam.

A maioria dos veículos, em função de suas características tecnológicas específicas, requer um tipo de via especialmente projetada para o seu deslocamento. O caminhão e o trem, dois veículos de carga terrestres, por exemplo, requerem vias de características físicas bastante diferenciadas embora ambos tenham a mesma função, que é a de transmitir a carga das rodas à superfície da terra de forma tal que o veículo não afunde, e permitir que o veículo seja guiado ao longo da trajetória com baixo risco de dano ao objeto transportado. Hidrovias muitas vezes são cursos d'água naturais, mas é comum a necessidade de dotar-se a hidrovia de características geométricas adequadas às embarcações que as utilizam. Apesar de menos evidente, também as aeronaves deslocam-se ao longo de aerovias, que são trajetórias definidas no espaço através de estações de rádio-transmissão, que emitem sinais captados em instrumentos a bordo dos aviões, que assim podem deslocar-se com segurança de um ponto a outro. Canais naturais ou artificiais e dutovias utilizadas para o transporte de líquidos, também são exemplos de vias de transporte. Em alguns sistemas especiais a própria via dá mobilidade e locomoção ao objeto, como é o caso das esteiras transportadoras e teleféricos.

Na maioria dos sistemas de transporte entretanto, não é possível por razões técnicas e/ou econômicas, estabelecer uma via se parada para cada ligação entre dois pontos entre os quais se preten de transportar pessoas e carga. Nasce daí a necessidade de se construir uma rede de vias que atende determinados tipos de veículos e que possibilita interligar os pontos pretendidos ainda que não de forma direta. Essa rede entretanto cria um componente funcional adi

cional que é a intersecção de uma via com a outra via.

Pelo fato de dois ou mais veículos não poderem ocupar simultaneamente um mesmo ponto ao longo de uma via, interseções constituem componentes funcionais importantes e têm merecido uma parcela considerável da dedicação dos engenheiros de transporte empenhados em melhorar o desempenho de determinados sistemas viários.

exemplos de interseções: cruzamentos de rodovias urbanas, desvios de estradas de ferro de via simples, áreas terminais de redes aeroviárias.

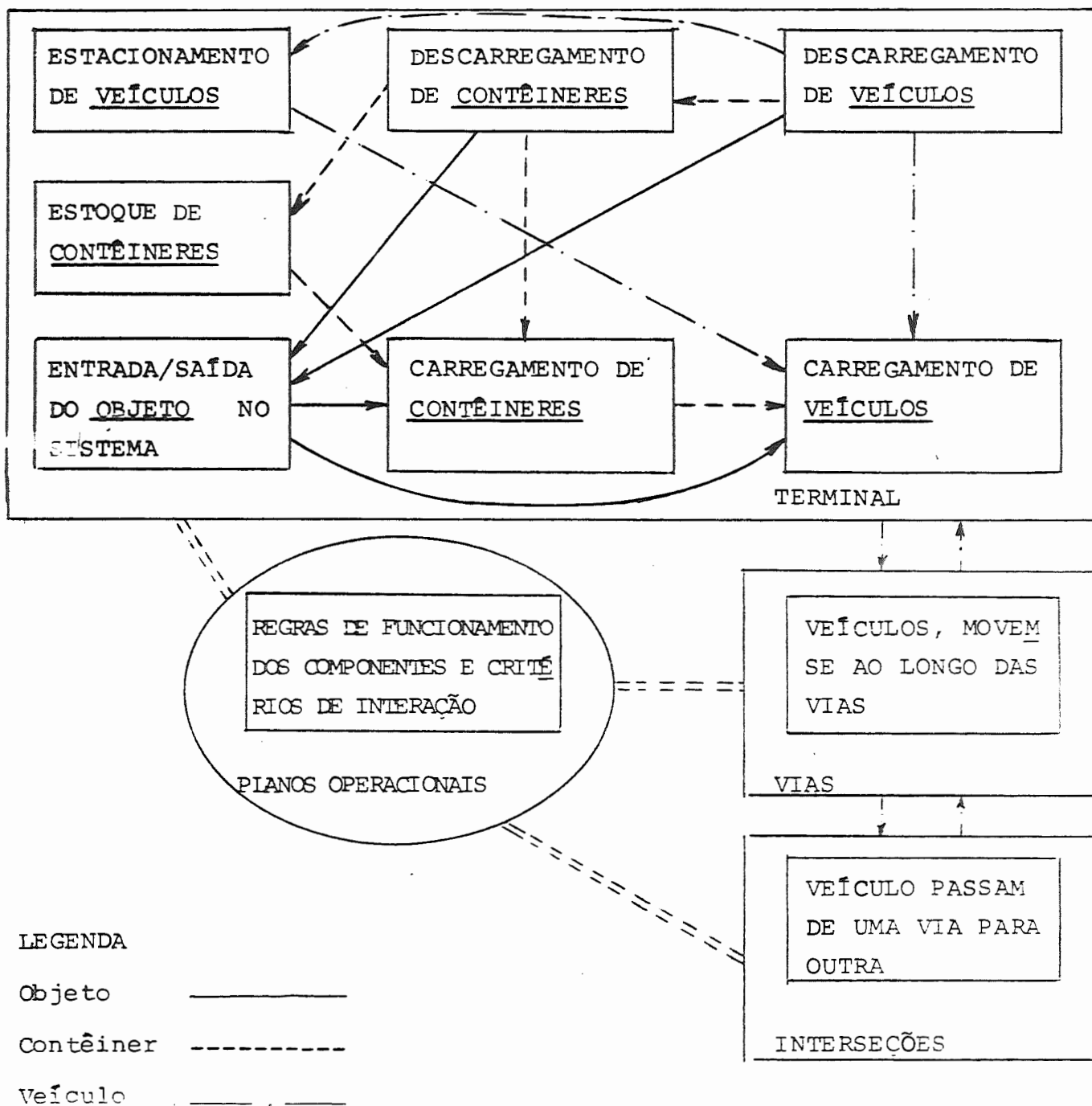
Outra função necessária em qualquer sistema de transporte é a de aceitar objetos a serem movidos pelo sistema e retirá-los do sistema no final da viagem. Em muitos casos também, o movimento da origem ao destino requer o uso de mais de uma tecnologia ou modalidade de transporte, sendo necessária a transferência do objeto de um modo para o outro. Mesmo dentro de uma única modalidade, pode ser conveniente transferir o tráfego de um veículo para outro. Essa função de embarque e desembarque de objetos ou de transferência das mesmas, é desempenhada pelos terminais. É comum o conceito de terminal estar associado aos componentes em geral grandes e facilmente identificáveis, de vários sistemas de transporte, tais como aeroportos, portos, estações ferroviárias e outros. Entretanto, a mesma função é desempenhada por um ponto de onibus em uma esquina de um bairro residencial, que provavelmente será apenas um lugar demarcado por um poste característico no qual as pessoas se aglomeram enquanto aguardam a chegada do próximo veículo.

Um componente não diretamente envolvido no movimento de um objeto de um local para o outro, mas nem por isso menos importante para o desempenho do sistema é um plano de operação para o sistema. A maioria dos sistemas de transporte são bastante grandes, constituídos de centenas quando não milhares de componentes. Milhares de movimentos distintos de objetos podem ocorrer durante um único dia. É fundamental que os terminais sejam operados de forma tal a permitir que o fluxo de tráfego através deles possa ser acomodado em veículos (se utilizados), que o tráfego seja direcionado ao longo das vias e através das intersecções do sistema sem problemas e risco para os objetos transportados. Sem dúvida o funcionamento encadeado de todos os componentes requer um elevado nível de coordena

ção da operação. Ao conjunto de procedimentos que levam ao correto funcionamento do sistema como um todo, ou mesmo de um componente particular, dá-se o nome de plano operacional ou plano de operação.

A figura 2.2 apresenta um fluxograma que exemplifica o interrelacionamento dos vários componentes de um sistema de transporte.

FIGURA 2.2 - INTERRELACIONAMENTO DOS COMPONENTES BÁSICOS DE SISTEMAS DE TRANSPORTE.



2.3. REDES DE TRANSPORTE.

A descrição dos componentes funcionais básicos de sistemas de transporte e a concepção de interrelacionamento apresentada na figura 2.2 levam-nos naturalmente a buscar um ferramental que permita descrever adequadamente o funcionamento do sistema como um todo ou o funcionamento de um componente específico.

Apesar de o nome rede ter vários significados, ele é aqui utilizado como um conceito matemático, que pode ser aplicado para descrever quantitativamente o fluxo de objetos, veículos e contêineres de um ponto ao outro dentro de um sistema de transporte. A representação por meio de uma rede matemática também é conveniente para se arquivarem de uma forma ordenada, dados característicos dos vários componentes do sistema. O conceito de rede e fluxo em redes é um conceito genérico, utilizado em várias áreas da engenharia (hidráulica, elétrica, eletrônica) e existe vasta literatura associada ao assunto. Neste ítem dar-se-á apenas a concepção básica do que vem a ser a descrição de um sistema de transporte através desta técnica.

2.3.1. Elementos de uma rede.

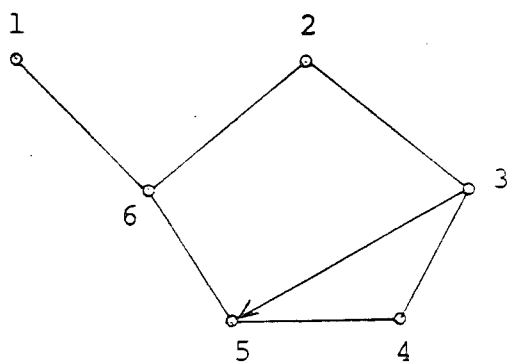
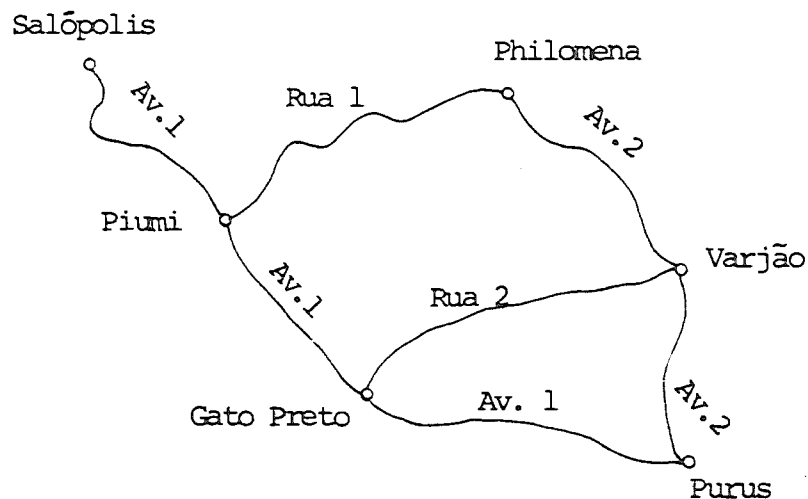
Uma rede é constituída essencialmente de dois elementos arcos e nós (vide fig. 2.3a); nós representam pontos particulares no espaço (e.g. interseções, terminais) e arcos são linhas que conectam dois nós (e.g. vias). Conforme se pode observar na figura arcos podem ser ou não direcionados.

A análise das representações da rede apresentadas na figura 2.3 nos mostra a conveniência do método para descrever matematicamente o sistema. A representação matricial que permite um tratamento computacional sistematizado mesmo de sistemas bastante complexos nos permite na forma apresentada, identificar de imediato quais as ligações viárias existentes e as opções por exemplo, para um objeto deslocar-se ao longo das vias do nó 1 (Salópolis) ao nó 3 (Varjão).

Na figura 2.4 o conceito de rede matemática é estendido para outras características relevantes para a análise dos fluxos de tráfego entre os vários nós da rede como tempo de viagem, volume de tráfego, capacidade de tráfego e distância.

FIGURA 2.3 - EXEMPLO DE UM SISTEMA DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO E SUA REPRESENTAÇÃO ATRAVÉS DE UMA REDE MATEMÁTICA.

a) Representação Gráfica



1,2,3,4,5 e 6 são nós (1,6), (6,2), (2,3), (6,5), (3,4) e (5,4) são arcos não direcionados. (3,5) é um arco direcionado

b) Representação Matricial

		Nós de Destino					
		1	2	3	4	5	6
Nós de Origem	1	∅	∅	∅	∅	∅	1
	2	∅	∅	1	∅	∅	1
	3	∅	1	∅	1	1	∅
	4	∅	∅	1	∅	1	∅
	5	∅	∅	-1*	1	∅	1
	6	1	1	∅	∅	1	∅

* convenção não universal

FIGURA 2.4 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE ATRIBUTOS CARACTERÍSTICOS DE UMA REDE DE TRANSPORTES.

