ANÁLISE DE PESOS DE CAMINHÕES OBTIDOS POR SISTEMAS *WEIGH-IN-MOTION*: ESTUDO DE CASO

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo a caracterização do excesso de peso e do tráfego de veículos pesados de rodovias que compõem o Lote Rodovia dos Calçados a partir do uso de tecnologias *Weigh-In-Motion* (WIM). Esse conjunto de rodovias liga a cidade de Riversul no sul do estado de São Paulo a Franca no norte do estado, se caracterizando em um importantíssimo eixo econômico do estado. Foram estudados os dados de 28 sensores de análises de tráfego (SATs), compostos de sistemas WIM e instalados ao longo de todo o trecho. Os sistemas WIM permitem a pesagem dos veículos em movimento sem a necessidade de interrupção do tráfego de forma contínua e ininterrupta. Após a classificação e o cálculo dos pesos excedentes, verificou-se que mais da metade dos caminhões da frota consistem em caminhões de 2 e 3 eixos, e 11,3% estão acima do limite legal de peso. As 10 classes com a maior porcentagem de veículos acima do peso são compostas apenas de caminhões com 6 ou mais eixos. Os locais com maiores porcentagens de veículos acima do peso foram em Jaú, Itaí e Boa Esperança do Sul. Foi possível determinar os horários e épocas do ano com as maiores ocorrências excesso de peso para cada SAT e associá-los com a produção agrícola da região. Além disso, foram realizadas análises com relação aos excessos de peso por eixo o que permitiu concluir que existem mais veículos com excesso de peso apenas nos eixos do que veículos com excesso nos eixos e no PBT.

Palavras-chave: Tráfego rodoviário; Excesso de peso; Pesagem veicular; Weigh-in-motion;

1. INTRODUÇÃO

O excesso de peso em caminhões apresenta problemas sérios para o funcionamento adequado do tráfego em rodovias. Ele está entre as mais importantes causas de deterioração dos pavimentos flexíveis, e isso é mais crítico ainda em países em desenvolvimento, onde o transporte de cargas pesadas em ruas e rodovias aumenta a cada ano (SADEGHI & FATHALI, 2007). Isso se traduz em maiores custos de manutenção e menor vida útil do pavimento.

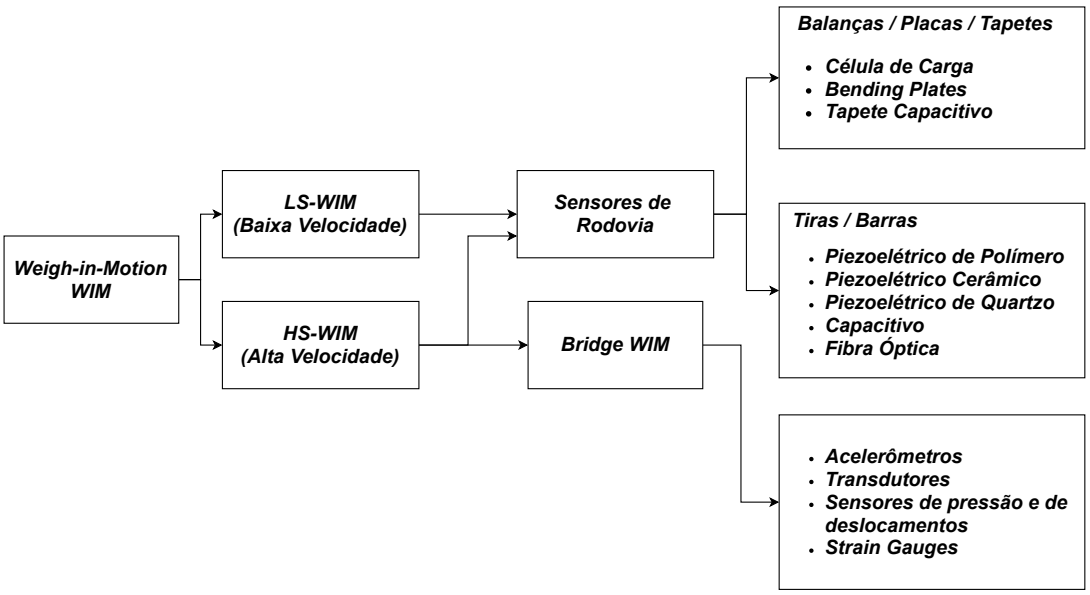
Além disso, caminhões com excesso de peso são mais suscetíveis a se envolverem em um acidente, e possuem consequências mais severas que um caminhão carregado abaixo do limite do peso. Veículos mais pesados possuem maiores energias cinéticas resultando em um impacto mais forte e danoso tanto para outros veículos como para a infraestrutura da rodovia no evento de uma colisão (JACOB & BEAUMELLE, 2010). Entretanto, vale destacar que as cargas pesadas não são um problema em si, pois elas podem ser seguramente transportadas por caminhões especialmente projetados para elas. O problema ocorre quando a carga excede o

limite permitido para o caminhão, visto que isso causa instabilidade no caminhão, problemas no sistema de frenagem, perda de capacidade de manobra, superaquecimento dos pneus com consequente aumento nas chances de estouros, e aumentam o risco e a severidade de um acidente caso estejam transportando produtos inflamáveis ou perigosos.

Nesse panorama, percebe-se a importância da fiscalização dos caminhões quanto ao excesso de carga. Os métodos mais tradicionais de fiscalização, no entanto, consistem majoritariamente em sistemas estáticos de medidas de peso. Esses métodos, que se caracterizam por realizar a pesagem com o veículo parado, apresentam várias desvantagens, pois necessitam de mão de obra para selecionar os caminhões, e realizar as medidas, além de causarem interrupções no tráfego, e serem demorados. Em rodovias com alto volume se tornam ainda mais inviáveis. Nesse panorama, sistemas de pesagem do tipo *Weigh-in-Motion* (WIM) apresentam uma ótima alternativa pois permitem a medição do tráfego em tempo real sem a necessidade de interrupções de tráfego e mão de obra extra. Além disso, podem ser de fácil instalação na rodovia.

Os princípios básicos da tecnologia WIM foram desenvolvidos nos anos 50, entretanto, instrumentação adequada, sistemas de processamento e armazenamento de dados e sensores de peso apropriados eram inexistentes na época, ou no máximo inviáveis para o uso desejado (AUSTROADS, 2000). Ao longo dos anos a tecnologia WIM foi evoluindo e produzindo diversas ferramentas de medição de peso para atender as diferentes necessidades da engenharia. Um resumo dos principais tipos de tecnologias WIM está apresentado na Figura 1.

Figura 1: Resumo dos principais sistemas WIM existentes



Na legislação brasileira, os limites de peso bruto total dos caminhões que trafegam nas rodovias brasileiras são estabelecidos pela Resolução Nº 210 de 13 de novembro de 2006 do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), e atualmente são:

a) 29 t → para veículo não articulado;

b) 39,5 t → para veículos com reboque ou semirreboque, exceto caminhão;

c) 45 t → para veículos do tipo caminhão trator e semirreboque, e com comprimento total inferior a 16 m. Esse limite também vale para veículos do tipo caminhão e reboque, e comprimento inferior a 17,50 m, e para combinações de veículos articulados com mais de duas unidades e comprimento inferior a 17,50 m;

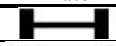
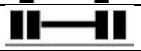
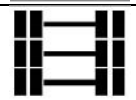
d) 48,5 t → para veículos do tipo caminhão-trator e semi-reboque, com eixos em tandem triplo, e comprimento total superior a 16 m;

e) 53 t → para veículos do tipo caminhão-trator e semi-reboque, com eixos distanciados, e comprimento total igual ou superior a 16 m;

f) 57 t → para veículos articulados do tipo caminhão e reboque, e comprimento igual ou superior a 17,50 m

Além disso, a mesma resolução estabeleceu os limites de peso bruto por eixo, os quais são mostrados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**Tabela 1.

Tabela 1 - Tipos de Eixos e Pesos Máximos Permitidos

Configuração de Eixo	*Tipo de Eixo*	*Peso Máximo Permitido [t]*
	Eixo isolado com rodagem simples	6
	Eixo isolado com rodagem dupla	10
	Eixo duplo direcional com rodagem singela (d > 1,2 m)	12
	Eixo duplo com rodagem dupla em tandem (1,2 m < d ≤ 2,4 m)	17
	Eixo duplo com rodagem dupla não tandem (1,2 m < d ≤ 2,4 m)	15
	Eixo triplo com rodagens duplas (1,2 m < d ≤ 2,4 m)	25,5
	Eixo duplo sendo um com rodagem dupla (d ≤ 1,2 m)	9
	Eixo duplo sendo um com rodagem dupla (1,2 m < d ≤ 2,4 m)	13,5

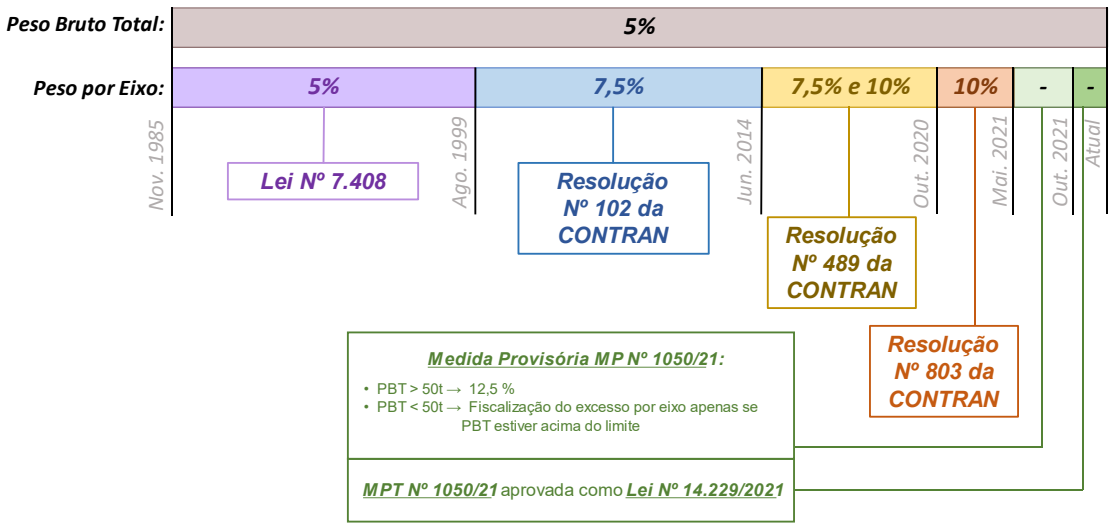
Como a frota brasileira de caminhões é muito variada, foi publicado pelo DNIT em 2012 o documento "Quadro de Fabricantes De Veículos" (QFV), em que nele a maioria dos veículos pesados existentes nas rodovias brasileiras foram classificados por códigos alfanuméricos. Dessa forma, para cada categoria de caminhão foram estabelecidos os Limites de Peso para PBT (Peso Bruto Total), PBTC (Peso Bruto Total Combinado) e CMT (Capacidade Máxima

de Tração). Esse documento facilitou a aplicação da resolução do CONTRAN, tornando mais prática e particularizada a determinação do limite de peso de cada caminhão.

Um aspecto muito importante na discussão de excesso de peso de caminhões, são as tolerâncias dos limites de peso. Como as medidas realizadas por equipamentos sempre estão associadas a um erro de precisão, a legislação brasileira determinou, na Lei Nº 7.408 de 25 de novembro de 1985, que fosse atribuída uma tolerância de 5% no peso bruto total (PBT) e no peso bruto por eixo. Esse valor de 5% para o PBT se manteve até os dias atuais, diferentemente do valor de tolerância para os limites de peso por eixo, o qual sofreu várias alterações ao longo do tempo, partindo inicialmente de 5%, indo para 7,5% em agosto de 1999, e posteriormente 10% em outubro de 2020, sendo a última alteração feita no dia 18 de maio de 2021, por meio da medida provisória MP Nº 1050/21, aprovada em 21 de outubro de 2021 na forma de lei (Nº 14.229/2021), resultando nas seguintes tolerâncias:

- A tolerância de peso limite por eixo passa de 10% para 12,5% apenas para veículos com PBT maior que 50 t.
- Para fins de fiscalização de veículos com PBT < 50 t, admite-se tolerância superior à 12,5%, desde que respeitados a tolerância de 5% para o PBT e o limite técnico por eixo definido pelo fabricante. Ou seja, essa medida torna dispensável a fiscalização do excesso de carga por eixo, desde que sejam respeitados os limites definidos pelos fabricantes e delimitado pelo PBT.

Figura 2: Evolução da tolerância para a medição do PBT e o peso por eixo ao longo dos anos de acordo com a legislação brasileira



1.1. Objetivos

O presente trabalho teve como objetivo a caracterização do excesso de peso e do tráfego de veículos pesados de rodovias que compõem o Lote Rodovia dos Calçados a partir do uso de tecnologias *Weigh-In-Motion* (WIM). Realizou-se o mapeamento de pontos de interesse para fiscalização, avaliando os locais e épocas do ano com as maiores ocorrências de pesos excedentes nos veículos comerciais conforme os limites legais vigentes. Além disso, foi possível associar o tipo de produção agrícola com as épocas e locais com altos índices de veículos acima do peso.

2. MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido de forma empírica e em 3 etapas. A primeira etapa consistiu na coleta de dados de forma contínua por sistemas WIM localizados em 28 pontos diferentes do trecho de estudo, durante o período de janeiro de 2019 a abril de 2021. O registro foi feito veículo a veículo, extraindo informações de distância entre os eixos, pesos por eixo, peso bruto total e o horário de passagem de cada veículo. Destaca-se que o programa de concessões do estado de São Paulo trouxe como inovação contratual em suas últimas parcerias entre a iniciativa privada e o poder público o uso de novas tecnologias para estimar o peso dos veículos através dos Sistemas de Análises de Tráfego (SATs) instalados nas rodovias.

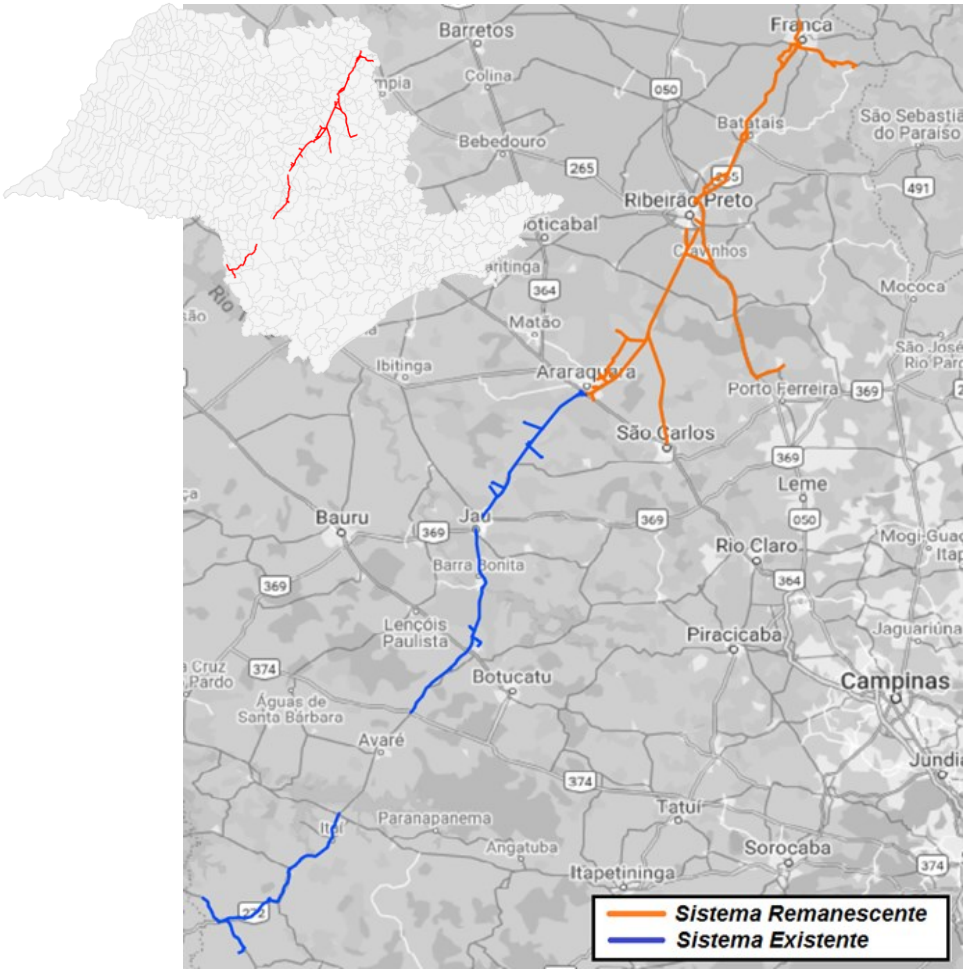
A segunda etapa deste estudo consistiu na categorização do tráfego conforme as classes de veículos estabelecidos pelo QFV do DNIT e cálculos dos excessos de peso por eixo e excesso de peso no PBT. Nessa mesma etapa foi realizada a filtragem e remoção de dados espúrios da amostra, como o caso de veículos que não puderam ser classificados ou com pesos nulos. A filtragem para a remoção dos dados espúrios resultou na supressão de 4,95% dos dados, restando 95,05% para uso nas análises. Finalmente, a terceira etapa consistiu na análise técnica e estatística dos dados trabalhados.

2.1 Trecho de estudo

O trecho de estudo será o Sistema Rodoviário do Lote Rodovias dos Calçados, o qual está representado na figura a seguir. A Arteris ViaPaulista iniciou sua operação em 2017, sendo responsável por 285 quilômetros das rodovias SP-255 e SP-281 entre as cidades de Araraquara e Riversul. Esse trecho está destacado na figura a seguir em azul, caracterizando o Sistema Existente. Em julho de 2019, após a conclusão do contrato da Arteris Autovias, foram transferidos à administração da ViaPaulista 316,5 quilômetros nas regiões de Ribeirão Preto,

Franca e São Carlos, além da incorporação de mais de 100 quilômetros de rodovias vicinais. Esse trecho está destacado na figura a seguir em laranja, e é chamado de Sistema Remanescente. No total o lote é composto de aproximadamente 720 quilômetros que interligam 35 municípios.

Figura 3: Traçado do sistema rodoviário do Lote Rodovias dos Calçados



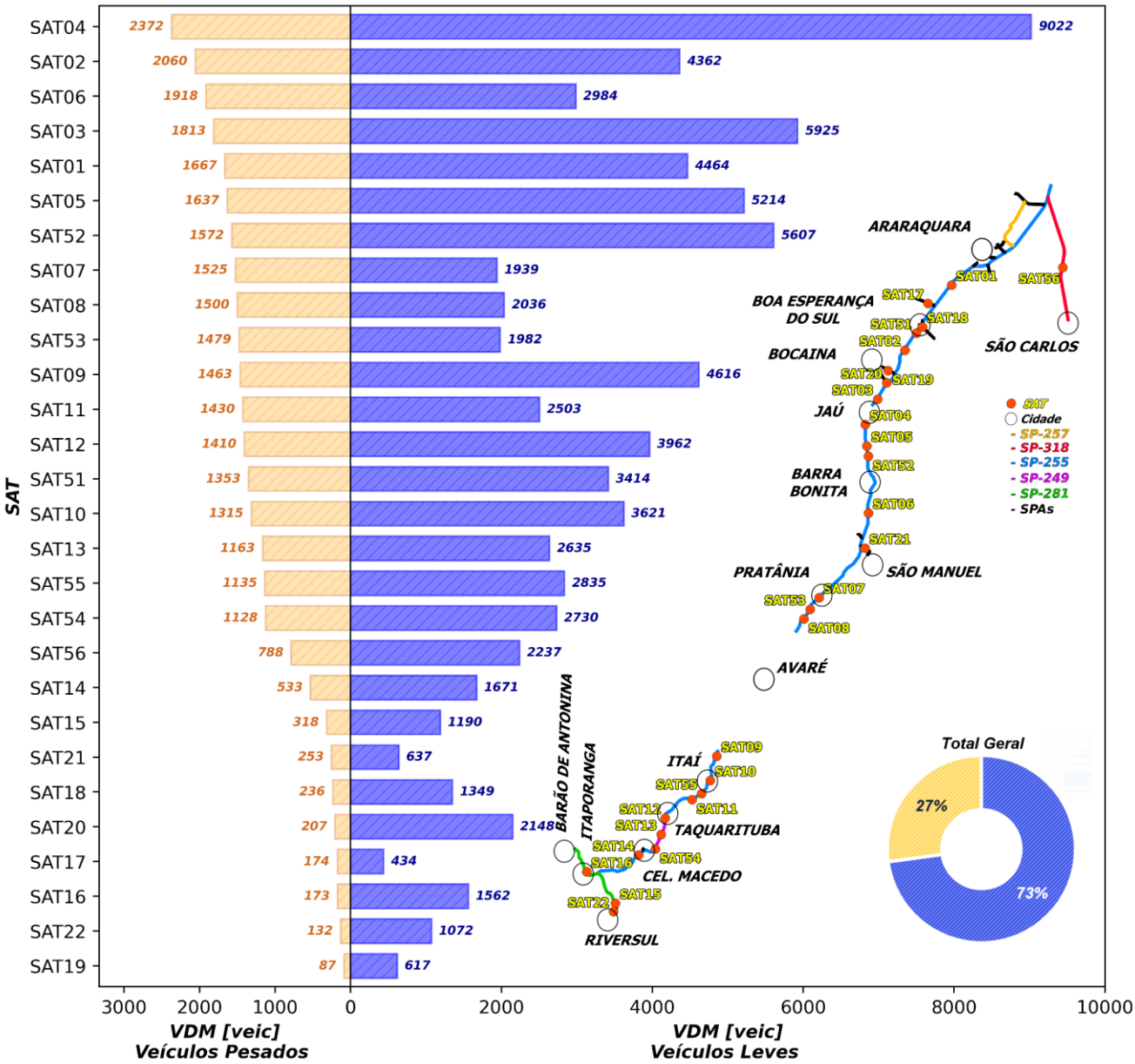
O banco de dados da presente pesquisa é formado pelos registros obtidos a partir dos Sistemas de Análises de Tráfego (SATs) instalados ao longo de toda a concessão das rodovias. Esses sistemas possuem a tecnologia WIM, e são compostos de sensores indutivos e piezoelétricos, permitindo obter os dados de peso total e peso por eixo de cada caminhão que trafega nas rodovias. Entretanto, esses sistemas atualmente são apenas utilizados pela concessionária na medição de fluxo de veículos e determinação do nível de serviço. A avaliação do excesso de carga em caminhões será útil para a fiscalização dos pesos dos caminhões, já que serão conhecidas as épocas e regiões com maior probabilidade de incidência pesos excedentes aos limites legais. Atualmente existem 28 SATs em funcionamento no Sistema Existente. As informações e localizações desses SATs estão apresentadas no Anexo 1. No Sistema Remanescente foram implantados recentemente 42 SATs, entretanto, não serão considerados neste trabalho, devido ao histórico menor de informações.

3. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

3.1 Caracterização da amostra

A amostra é composta de dados de 28 locais diferentes (SATs), com registros de dados de janeiro de 2019 a abril de 2021 para cada um deles. Como cada um desses dados vêm de uma origem distinta, decidiu-se inicialmente conhecer o comportamento de volume diário médio de veículos leves e pesados em cada um desses locais tal como apresentado na Figura 4. No gráfico, as barras em laranja representam os veículos pesados e as barras em azul os veículos leves. Os SATs foram ordenados em função do valor do VDM de veículos pesados.

Figura 4 - VDM de veículos leves e pesados para cada um dos SATs



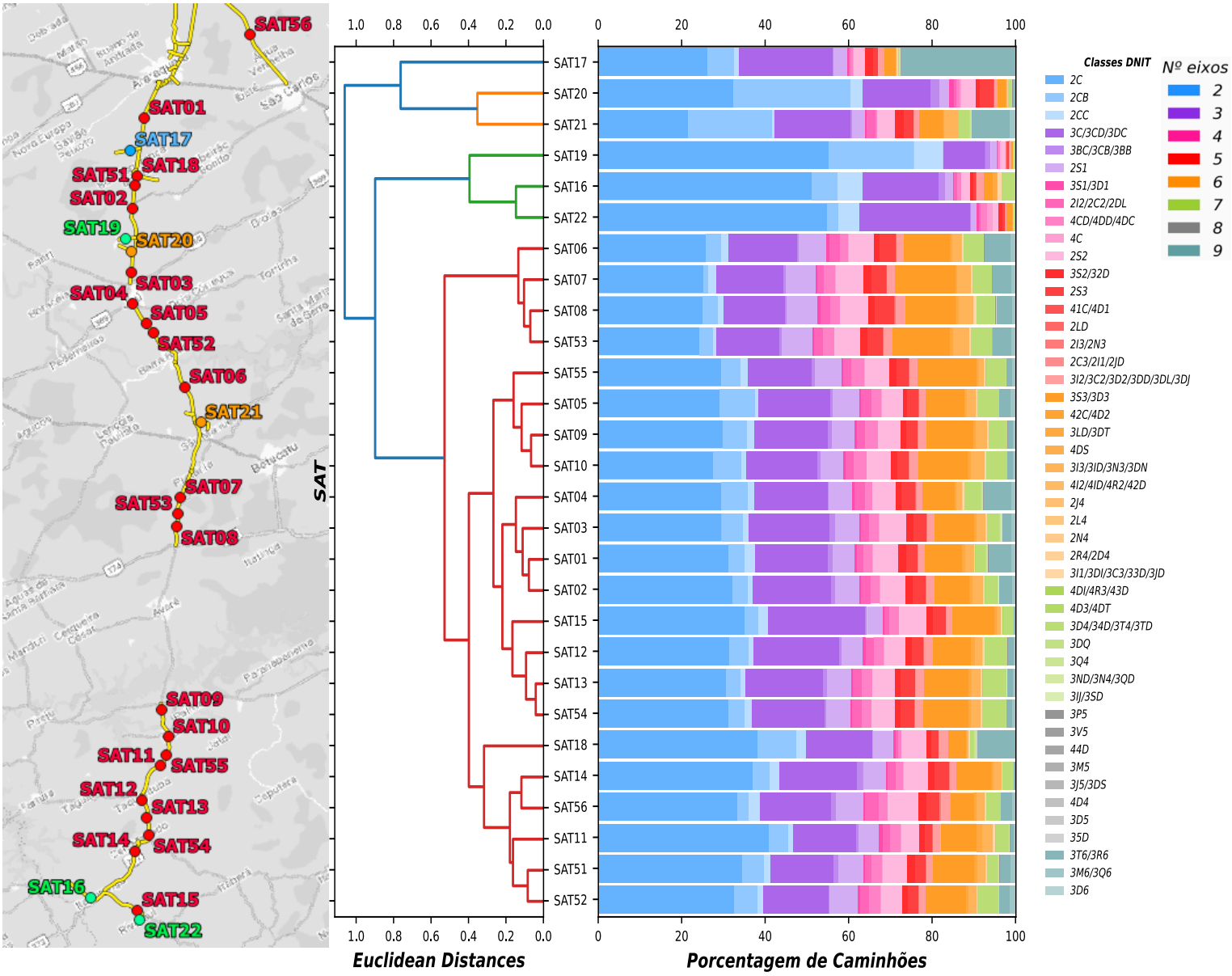
Percebe-se que os locais com o maior VDM de veículos pesados (caminhões e ônibus) e de veículos leves se encontram nos SATs da rodovia SP-255, no trecho que liga as cidades de Barra Bonita, Jaú, Bocaina, Boa Esperança do Sul e Araraquara. Essa rodovia é um importante eixo econômico do estado de São Paulo, permitindo a ligação dos municípios do sul do estado, aos municípios de Ribeirão Preto e Araraquara. Como de se esperar, os SATs localizados nas SPAs, rodovias que interligam uma rodovia tronco à um munícipio, foram os que apresentaram os menores VDMs tanto para veículos pesados como para veículos leves, que é o caso dos SATs 17 ao 22.

Foi realizada então a classificação dos caminhões de acordo com as classes definidas pelo QFV do DNIT, e a porcentagem de caminhões em cada classe e para cada local (SAT) foi plotada tal como apresentado no gráfico de barras da Figura 5.

Nela é possível observar que alguns lugares possuem uma distribuição diferente de veículos nas categorias, como é o caso dos SATs 16, 19 e 22 que possuem uma frota com mais de 80% de veículos com menos de 3 eixos, predominando caminhões de pequeno porte. O SAT 17 também possui um comportamento distinto, apresentando uma alta quantidade de veículos de 9 eixos.

Para verificar se existe alguma relação entre a distribuição de caminhões nas classes e o local (SAT), foi realizada uma Clusterização Hierárquica dos dados. Análise de agrupamento, ou "clustering", é o nome dado para o grupo de técnicas computacionais cujo propósito consiste em separar objetos em grupos, baseando-se nas características que estes objetos possuem. A ideia básica consiste em colocar em um mesmo grupo objetos que sejam similares de acordo com algum critério pré-determinado (LINDEN, 2009). Na literatura existem vários métodos de clusterização, podendo ser agrupados em 10 tipos principais: Particionais; Hierárquicos; baseados em Densidade; baseados em Grade; baseados em Redes Neurais; baseados em Lógica Fuzzy; baseados em Kernel; baseados em Grafos; baseados em Computação Evolucionária e baseados em Modelos. Algoritmos de clusterização baseados no método hierárquico (HC) organizam um conjunto de dados em uma estrutura hierárquica de acordo com a proximidade entre os indivíduos. Os resultados de um algoritmo HC são normalmente mostrados como uma árvore binária ou dendograma, que é uma árvore que iterativamente divide a base de dados em subconjuntos menores. A raiz do dendograma representa o conjunto de dados inteiro e os nós folhas representam os indivíduos (CASSIANO, 2014). Esse método é muito popular na área de bioinformática (LINDEN, 2009).

Figura 5 - Distribuição dos veículos pesados nas classes do DNIT em função do SAT



Na Figura 5 é possível observar o dendrograma resultante da clusterização hierárquica dos dados de distribuição de caminhões em cada uma das classes de veículos dos SATs no gráfico diretamente à esquerda do gráfico de barras. Além disso, o gráfico de barras foi ordenado seguindo essa mesma clusterização para facilitar a visualização dos dados. O algoritmo de agrupamento dos dados dividiu os SATs em 4 grandes grupos de comportamentos similares, como pode ser observado pelas diferentes cores no dendrograma. Pode-se verificar a partir do mapa que os SATs presentes no grupo em vermelho são majoritariamente localizados em SPs, ou seja, nas rodovias tronco com alto VDM.

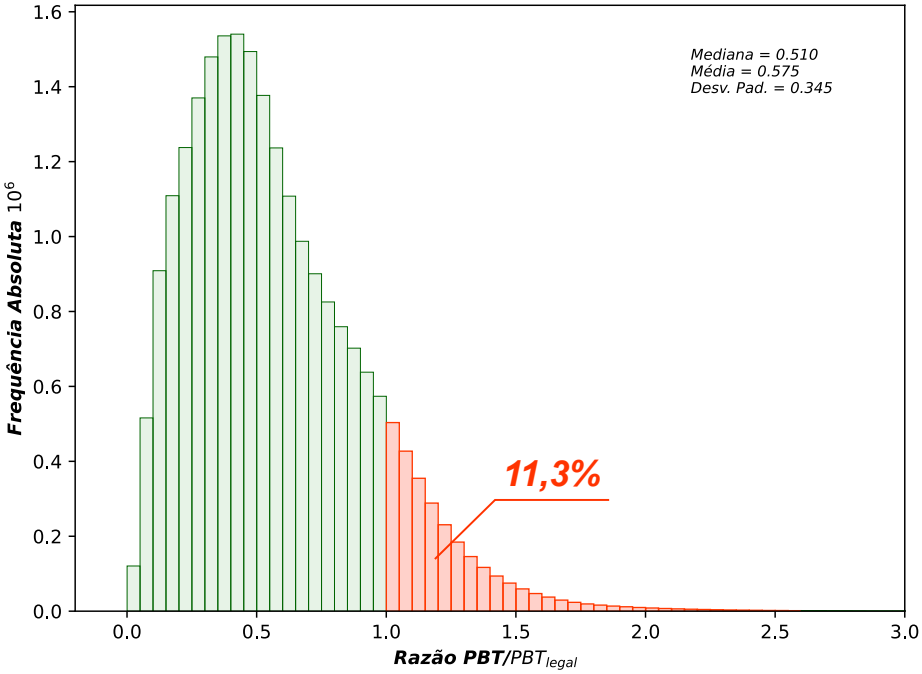
Já os SATs nos grupos azul, laranja, e verde do dendrograma estão localizados majoritariamente em SPAs, que são rodovias de acesso e com menor VDM. Percebe-se dos gráficos que nas SPAs geralmente se observam uma maior quantidade de caminhões com

poucos eixos (2 e 3 eixos) em comparação com os outros locais. Além disso, nas SPAs a distribuição de veículos em cada classe é mais variada, como é o caso do SAT 17, em que se observa uma alta concentração de veículos com 9 eixos. Em contrapartida, a distribuição de caminhões em cada classe é mais uniforme nas rodovias SPs.

3.2 Excesso de peso no PBT

Inicialmente realizou-se a análise do quão carregado os caminhões estão. Essa variável pode ser representada realizando a razão entre o peso total do veículo (PBT) com o limite legal de peso da categoria correspondente (PBT_{legal}). Plotou-se o histograma desses valores conforme observado na Figura 6. Destaca-se que cada veículo possui uma razão (PBT/PBT_{legal}), no qual o PBT_{legal} leva em consideração os 5% de tolerância.

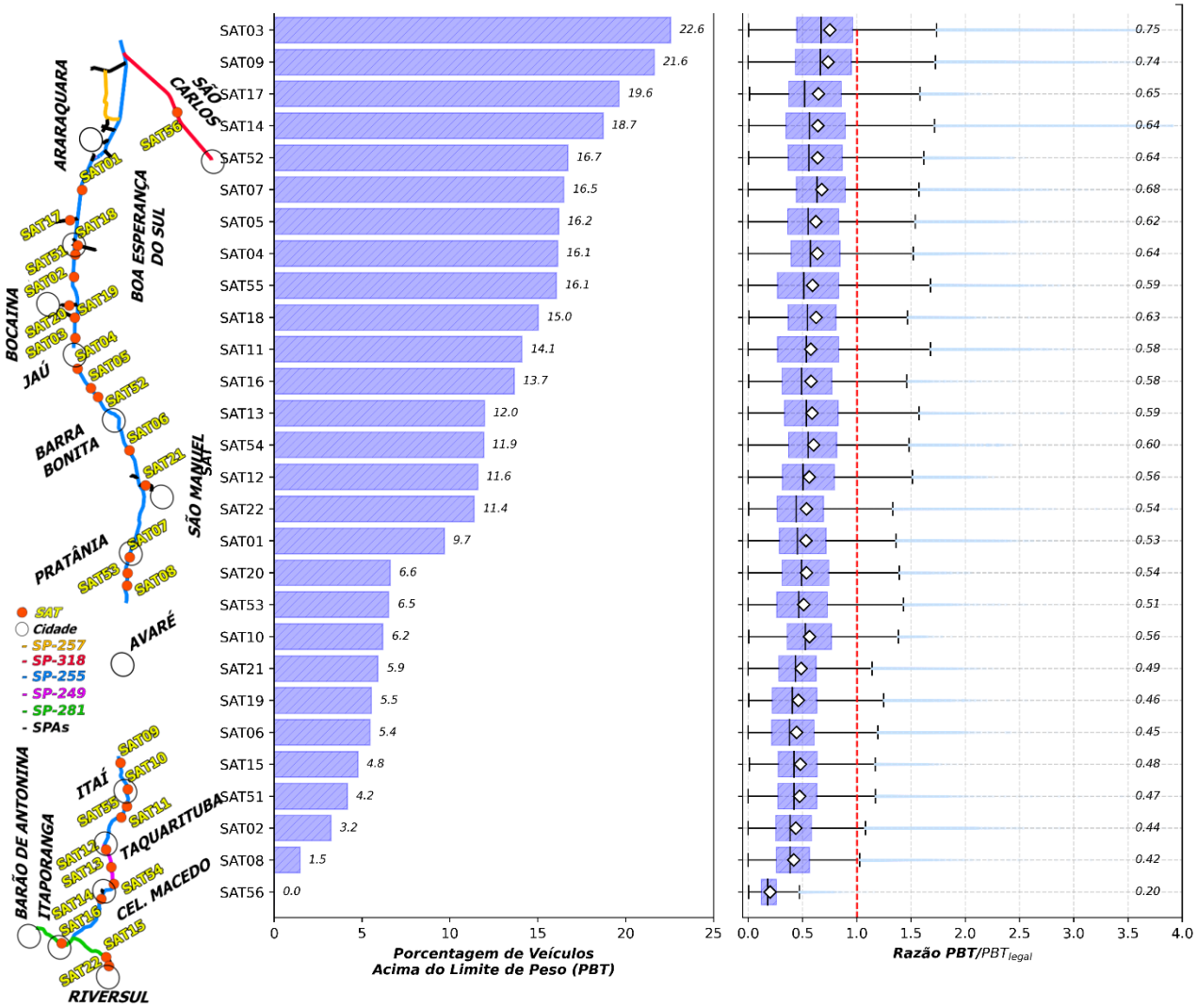
Figura 6 - Histograma da razão PBT/PBTlegal de todos os veículos da amostra considerando tolerância de 5%.



O teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov resultou que a variável não segue uma distribuição normal ($D = 0{,}076$ e $p \cong 0$). Os veículos em que a razão resulta maior que 1 correspondem aqueles que estão acima do limite legal de peso bruto total. Essa parcela da amostra representa 11,3%.

A mesma variável foi plotada separadamente para cada um dos locais de análise (SATs) conforme pode ser observado no gráfico da direita na Figura 7. Juntamente foi plotada um gráfico de barras com a porcentagem de veículos acima do limite de peso para o PBT.

Figura 7 - Porcentagem de veículos acima do limite de peso no PBT e razão PBT/PBT$_{legal}$ para cada SAT com tolerância de 5%



Não foi possível observar nenhum comportamento padrão na porcentagem de veículos acima do limite de peso em função do local do SAT. Entretanto, essa informação pode ser utilizada para tomada de decisão na hora de realizar a fiscalização dos caminhões, dando preferência para esses locais com maiores índices de veículos acima do peso.

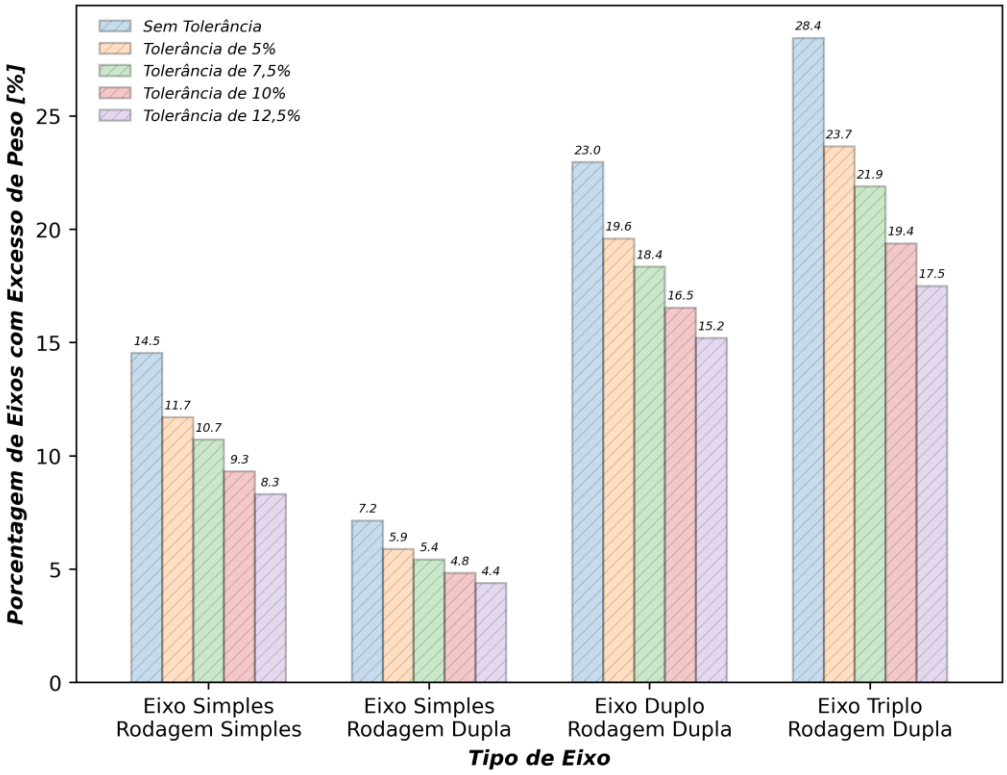
3.3 Excesso de peso por eixo

Existem duas formas que o caminhão pode estar com excesso de peso: excesso em um ou mais eixos, mas com o PBT dentro do limite, ou excesso tanto no eixo como no PBT. Considerando a amostra total, 10,2% dos veículos possuem excesso em um ou mais eixos, mas com o PBT dentro do limite, e 11,3% possuem excesso no PBT e nos eixos. 78,5% dos caminhões não possuem excesso nem no PBT nem nos eixos.

Na Figura 8 está apresentada a porcentagem de eixos com excesso de peso para cada tipo eixo e para diferentes tolerâncias. Este gráfico indica a probabilidade de um certo tipo de eixo estar com excesso de carga.

Os eixos em tandem (duplo e triplo) foram os que apresentaram maiores porcentagens de eixos com excesso de peso. Além disso, verificou-se que o aumento da tolerância, de zero a 12,5%, representou a diminuição de quase um terço da quantidade de eixos acima do peso.

Figura 8 - Porcentagem de eixos com excesso de peso em função do tipo de eixo e da tolerância



3.4 Excesso de peso ao longo do tempo

Como já foram exploradas as características do excesso de carga em caminhões em função do local e da categoria de caminhão, será agora estudado seu comportamento ao longo do tempo. A princípio foram plotados os 3 mapas de calor mostrados na Figura 9 utilizando todos os dados de todos os SATs. Esses mapas de calor apresentam a quantidade de veículos agrupados no mês, dia da semana e horário do dia. As cores mais escuras representam os momentos em que existe uma maior quantidade de veículos trafegando.

Do gráfico a) da Figura 9 pode-se notar que os horários do dia com mais caminhões na rodovia são das 6h às 18h, e que isso ocorre na mesma quantidade em todos os meses do ano. Nota-se, entretanto, uma concentração levemente maior nos meses de fevereiro a abril e de setembro a novembro, nos horários das 6h às 11h e 14h às 18h.

Do gráfico b) da Figura 9 verifica-se que os caminhões trafegam majoritariamente durante os dias úteis, de segunda à sexta. Aos sábados o volume de veículos é levemente maior que aos domingos.

Do gráfico c) da Figura 9 pode-se observar que o volume de caminhões ao longo do dia segue o mesmo comportamento de segunda à sexta, com uma alta concentração nos horários entre as 6h até as 18h. No fim de semana o comportamento é semelhante, entretanto bem menor em quantidade.

Figura 9 - Mapas de calor do volume de veículos pesados em função do tempo para a amostra total

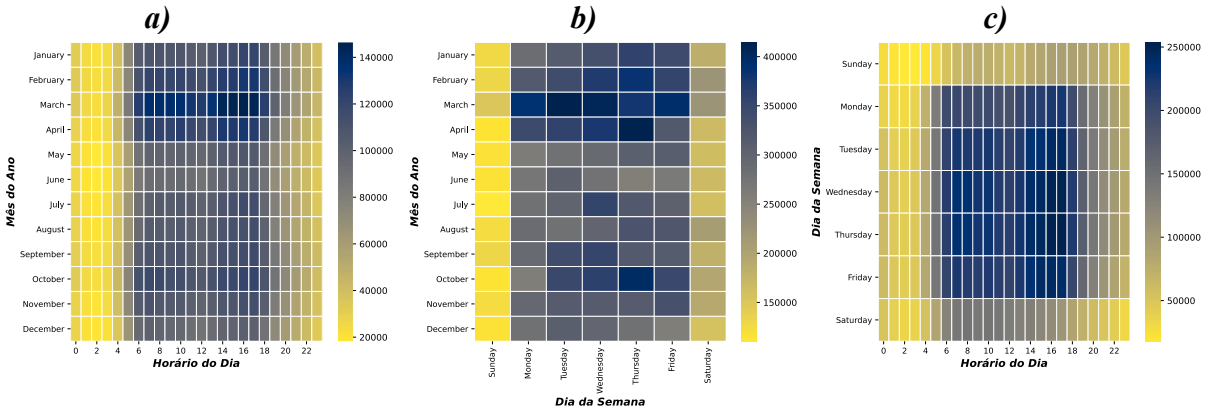
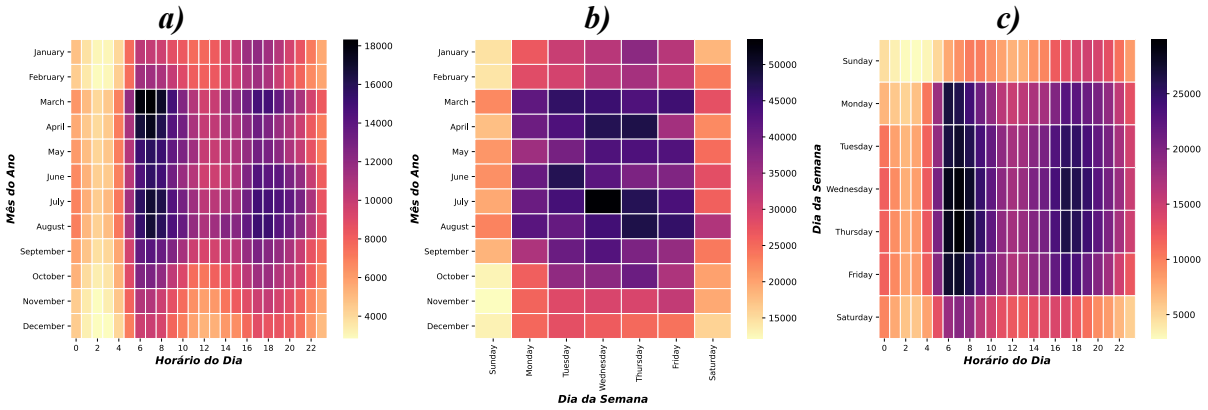


Figura 10 - Mapas de calor do volume de veículos pesados acima do limite legal do PBT (tolerância de 5%) em função do tempo para a amostra total



Da mesma forma, a Figura 10 foi plotada para avaliar o comportamento do excesso de peso ao longo do tempo. O número de veículos com sobrecarga foi agrupado por mês, dia da semana e horário do dia. De início, percebe-se que os momentos com maiores ocorrências de excesso de carga não condizem com os momentos de maior quantidade de veículos trafegando (Figura 9)

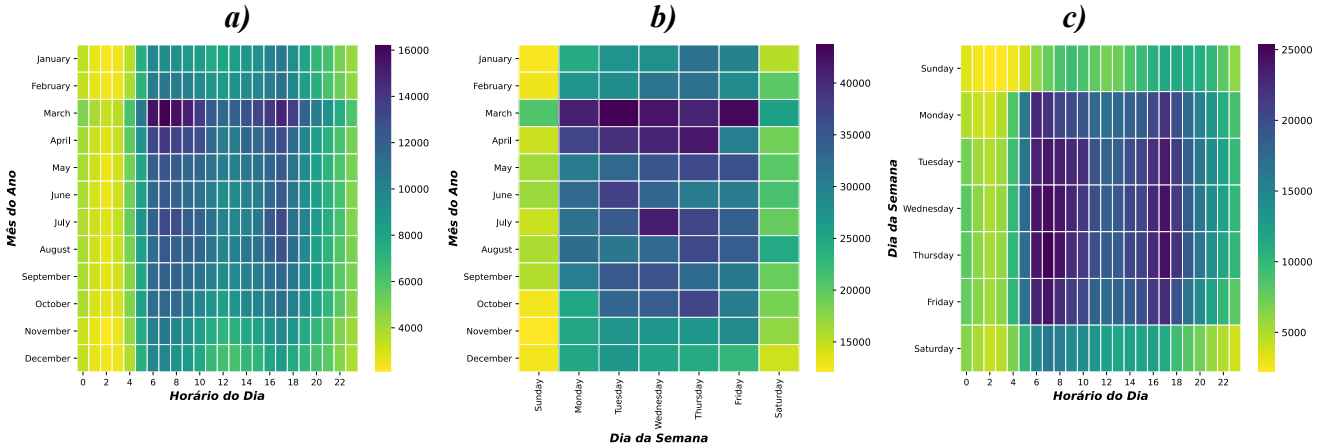
Pode-se notar dos mapas a) e c) da Figura 10, que os horários entre 6h e 9h da manhã, e entre 16h e 21h da noite, são os momentos em que se verificam os maiores números de caminhões com excesso de peso durante os dias úteis (segunda a sexta). O horário de pico da

manhã possui mais veículos com excesso do que o horário de pico da tarde.

Os finais de semana possuem uma quantidade consideravelmente menor de veículos com excesso de peso do que nos dias úteis. Os meses entre março e setembro, que coincidem com o auge da safra da cana nesta região, foram os mais críticos, e para todos eles o comportamento de volume de veículos com excesso foi semelhante para os dias da semana e horários do dia.

Na Figura 11 foi plotado o mapa de calor para a quantidade de veículos com excesso apenas nos eixos agrupados em mês, dia da semana e horário do dia. Observa-se dos gráficos a), b) e c) da Figura 11Figura 11 que a maior concentração de veículos com excessos apenas nos eixos ocorre no mês de março, das 6h às 16h e das 17h às 19h durante os dias úteis (segunda à sexta).

Figura 11: Mapas de calor do volume de veículos pesados com excesso de peso em um ou mais eixos, mas com o PBT dentro do limite legal, em função do tempo para a amostra total



3.5 Produção Agrícola

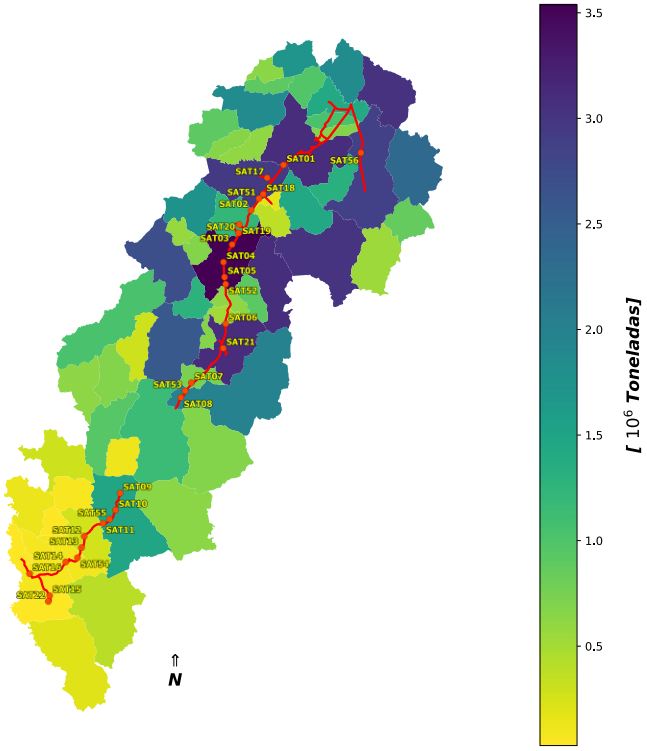
São muitas as origens das cargas que os caminhões transportam, podendo ser da agricultura, mineração, reflorestamento, materiais de construção, matérias primas de fabricação de produtos, mercadorias e outros. Realizar a associação dos tipos de cargas e os excessos de peso dos caminhões trafegando no trecho de estudo seria uma tarefa quase impossível, pois seria necessária uma matriz Origem e Destino de cada veículo na rodovia com a informação do tipo de carga carregada. Entretanto, para o caso de cargas de origem agrícola, pode-se realizar uma estimativa baseada em dados de produção anual e nas épocas mais comuns de colheita de cada produto.

Na Figura 7.4 é apresentada produção agrícola em toneladas obtidas no site do IBGE (sidra.ibge.gov.br) para o ano de 2019 e para cada município próximo ao trecho de estudo. Ela

representa tudo que a agricultura de cada município produziu naquele ano. Um comportamento interessante pode ser observado ao comparar essa figura com a Figura 6.2 na qual são apresentadas as porcentagens de veículos acima do peso para cada SAT. Os SATs com altas porcentagens de veículos acima do peso estão localizados em cidades com alta produção agrícola, como é o caso dos SATs 03, 09, 17, 52, 05 e 04. Isso pode indicar que os excessos de peso possam ter sido causados pela produção agrícola da região.

Considerando as cidades apresentadas no mapa da Figura 12, verificou-se dos dados do IBGE que 91,8% do total de produção agrícola corresponde à Cana-de-Açúcar, 4,6% de Laranja, 1,1% de Milho em grão, e 1,1% de Soja em grão.

Figura 12 - Mapa de produção agrícola total em toneladas para os municípios próximos ao trecho de estudo para o ano de 2019



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos dados permitiu observar os seguintes comportamentos:

Em geral, a distribuição de caminhões em cada classe foi semelhante para cada local. Entretanto, foi possível observar diferenças na distribuição para SATs localizados em SPAs, que são rodovias de acesso. Nesses locais verificam-se maiores quantidades de caminhões com poucos eixos do que em SATs localizados em rodovias troncos (SPs).

O PBT médio de toda a amostra é de 19,7t, e 11,3% dos caminhões estão acima do limite legal de peso. Em geral, os veículos trafegam com um peso equivalente à 58% do limite permitido.

Os 3 locais com maiores índices de veículos acima do PBT limite foram: SAT03 (22,6%, Jaú), SAT09 (21,6%, Itaí) e SAT17 (19,6%, Boa Esperança do Sul). Poderiam ser os locais de preferência para se realizar fiscalização.

Existem mais veículos com excesso de peso apenas nos eixos do que veículos com excesso no PBT. A média da porcentagem de veículos com excesso apenas nos eixos é de 18,3% enquanto a de excesso no PBT é de apenas 14%.

As 10 classes com a maior porcentagem de veículos acima do peso são compostas apenas de caminhões com 6 ou mais eixos. As 12 classes de caminhões com as maiores porcentagens de excesso de peso apenas nos eixos correspondem apenas as categorias com mais de 6 eixos. Isso indica uma má distribuição de pesos para veículos mais compridos e com mais unidades rebocadas.

Os eixos em tandem (duplo e triplo) foram os que apresentaram maiores porcentagens de eixos com excesso de peso. Além disso, o aumento da tolerância, de zero a 12,5%, representa a diminuição de quase um terço da quantidade de eixos acima do peso.

O volume de tráfego de veículos pesados varia com o tempo. O volume é alto durante o período das 6h às 18 h, e baixo durante a noite e madrugada, das 20h às 4h. O volume é alto em dias úteis, isto é, de segunda à sexta, e baixo durante os finais de semana. Esse comportamento segue da mesma forma durante todos os meses do ano.

O PBT médio é consideravelmente maior durante a madrugada, e nos fins de semana. E isso ocorre mais expressivamente nos meses de maio a agosto, com PBTs médios acima de 28t. Os maiores valores de PBT médio se concentram nos horários entre as 19h e 3h durante os dias da semana, das 18h às 3h durante os sábados, e praticamente no dia inteiro durante os domingos.

Os horários de pico (entre 6h e 9h da manhã, e entre 16h e 21h da noite) são os momentos em que se verificam a maior quantidade de caminhões com excesso de peso durante os dias úteis (segunda a sexta). Os finais de semana seguem um comportamento semelhante ao longo dos horários do dia, entretanto consideravelmente em menor quantidade do que nos dias úteis. Os meses entre março e setembro foram os mais críticos.

Considerando produção agrícola das cidades próximas ao trecho de estudo, 91,8% do total corresponde à Cana-de-Açúcar. Nesse sentido, ela pode ser um dos principais fatores de excesso de carga nas rodovias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (2002a) *NBR 10520 – Informação e Documentação – Publicação Periódica Científica - Apresentação.* Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

ABNT (2002b) *NBR 6023 – Informação e Documentação – Referências- Elaboração*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

DNIT. "Manual de estudos de tráfego" (2006) Rio de Janeiro - Brasil. 384 p. (IPR. Publ., 723). Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Engenharia de tráfego.

DNIT. "Manual de pavimentação" (2006) Rio de Janeiro - Brasil. 277 p. (IPR. Publ., 719). Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Engenharia de tráfego.

BRASIL. Presidência da República. Lei n. 9.503, de 23 de setembro de 1997. Diário Oficial da União. Brasília. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9503compilado.htm>.

BRASIL. Presidência da República. Lei n. 7.408, de 25 de novembro de 1985. Medida Provisória nº 1.050 de 2021. Diário Oficial da União. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7408.htm>.

ARTERIS. Sobre a Concessão Rodovia dos Calçados - ViaPaulista. [S. l.], 2017. Disponível em: https://www.arteris.com.br/rodovias/viapaulista/. Acesso em: 1 jun. 2021.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA. CONTRAN. Resoluções do CONTRAN. [S. l.], 15 jun. 2015. Disponível em: https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/resolucoes-contran. Acesso em: 11 jun. 2021.

TRACEVIAS (São Paulo). Contagem, Classificação e Pesagem de Veículos - SAT. [S. l.], 2016. Disponível em: http://www.tracevia.com.br/solucoes/contagem-classificacao-e-pesagem-de-veiculos-sat/index.html. Acesso em: 2 jun. 2021.

IBGE. Banco de Tabelas Estatísticas. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/acervo#/S/PZ/A/87/T/Q>. Acesso em: 5 out. 2021.

ZIBRAN, M. F. "CHI-Squared Test of Independence". Department of Computer Science University of Calgary, Alberta, Canada. Disponível em: <http://pages.cpsc.ucalgary.ca/~saul/wiki/uploads/CPSC681/topic-fahim-CHI-Square.pdf>. Acesso em: 5 out. 2021.

LINDEN, R. "Técnicas de Agrupamento". Revista de Sistemas de Informação da FSMA. n. 4 (2009) pp. 18-36. Disponível em: < http://www.fsma.edu.br/si/edicao4/ FSMA_SI_2009_2_Tutorial.pdf> Acesso em: 5 out. 2021.

CASSIANO, Keila Mara. "Análise de Séries Temporais Usando Análise Espectral Singular (SSA) e Clusterização de Suas Componentes Baseada em Densidade". Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica, 2014.

BOSSO, Mariana. "Uso da tecnologia Weigh-in-Motion para a caracterização do tráfego rodoviário e do excesso de carga em veículos comerciais". Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2018.

CONAB. "Calendário de Plantio e Colheita de Grãos no Brasil 2019". Companhia Nacional de Abastecimento. ISSN: 2318-6852. 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/institucional/publicacoes/outras-publicacoes/item/download/28424_34d371f808b23d9bd37b9101c8ed5094>. Acesso em: 5 out. 2021.

CONAB. "Acompanhamento da Safra Brasileira – Cana-de-Açúcar". Companhia Nacional de Abastecimento. V.6 - SAFRA 2019/20 - N.4 - Quarto Levantamento. ABRIL 2020.ISSN 2318-7921. 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar?limitstart=0>. Acesso em: 5 out. 2021.

CONAB. “Boletim Hortigranjeiro” Companhia Nacional de Abastecimento. Volume 7, número 2. ISSN 2446-5860. Fevereiro 2021 Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/hortigranjeiros-prohort/boletim-hortigranjeiro>. Acesso em: 5 out. 2021.

ISWIM. “What is WIM and History”. International Society for Weigh in Motion. Disponível em: <http://www.is-wim.org/index.php?nm=2&nsm=1&lg=en>. Acesso em: 30 out. 2021.

DNIT. “Sistemas de Pesagem em Movimento - (WIM)”. Identificação de Sistemas de Pesagem em Movimento Convênio TT102/2007. 2007. Disponível em: <https://www.labtrans.ufsc.br/wp-content/uploads/2020/12/Identifica%C3%A7%C3% A3o-de-Sistemas-de-Pesagem-em-Movimento.-Sistemas-de-Pesagem-em-Movimento-%E2%80%93-WIM.-DNIT-sem-data..pdf>. Acesso em: 30 out. 2021.

AUSTROADS. “Weigh-In-Motion Technology”. AP-R168. Austroads Incorporated. 2000. Disponível em: <https://www.pc.gov.au/inquiries/completed/freight/submissions /transport_certification_australia_/sub024attachment2.pdf>. Acesso em: 30 out. 2021.

SADEGHI, J. M.; FATHALI, M. “Deterioration Analysis of Flexible Pavements under Overweight Vehicles”. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2007)133:11(625). ASCE Library. 2007.

JACOB, B.; BEAUMELLE, V. F. L. “Improving truck safety: Potential of weigh-in-motion technology”. https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2010.06.003. IATSS Research 34. 2010.

ANEXO 1

Tabela 1: Localização e características dos SATs

Nome	*Rodovia*	*km*	*Cidade*	*Faixas*	*Sentido*	
					Faixa 1	*Faixa 2*
SAT01	SP255	96 + 200	Boa Esperança do Sul	2	S	N
SAT02	SP255	124 + 200	Boa Esperança do Sul	2	S	N
SAT03	SP255	144 + 280	Boa Esperança do Sul	2	S	N
SAT04	SP255	154 + 800	Jaú	2	S	N
SAT05	SP255	162 + 300	Jaú	2	S	N
SAT06	SP255	187 + 000	Barra Bonita	2	S	N
SAT07	SP255	222 + 800	Pratânia	2	S	N
SAT08	SP255	232 + 000	Pratânia	2	S	N
SAT09	SP255	290 + 250	Itaí	2	S	N
SAT10	SP255	299 + 300	Itaí	2	S	N
SAT11	SP255	309 + 500	Itaí	2	S	N
SAT12	SP255	321 + 500	Taquarituba	2	S	N
SAT13	SP255	327 + 500	Taquarituba	2	S	N
SAT14	SP255	340 + 800	Coronel Macedo	2	S	N
SAT15	SP281	44 + 600	Riversul	2	S	N
SAT16	SP281	61 + 700	Coronel Macedo	2	S	N
SAT17	SPA106/255	2 + 800	Boa Esperança do Sul	2	O	L
SAT18	SPA115/255	0 + 600	Boa Esperança do Sul	2	L	O
SAT19	SPA133/255	2 + 800	Bocaina	2	O	L
SAT20	SPA138/255	0 + 500	Bocaina	2	O	L
SAT21	SPA198/255	1 + 700	São Manuel	2	L	O
SAT22	SPA043/281	2 + 500	Riversul	2	O	L
SAT51	SP255	117 + 000	Boa Esperança do Sul	2	S	N
SAT52	SP255	166 + 000	Jaú	2	S	N
SAT53	SP255	228 + 000	Pratânia	2	S	N
SAT54	SP255	333 + 000	Coronel Macedo	2	S	N
SAT55	SP255	305 + 000	Itaí	2	S	N
SAT56	SP318	254 + 620	São Carlos	2	S	N