

Uma Solução de Inferência de Culpabilidade em Cenários de Acidentes de Trânsito por Meio de VANETS

Wagner L. Braga Bezerra, Alan Nascimento Gomes, Emanuel F. Coutinho

Programa de Pós-Graduação em Computação (PCOMP)
Universidade Federal do Ceará (UFC) – Quixadá – CE – Brasil

wagnerbragacrf@alu.ufc.br, alanng@alu.ufc.br, emmanuel.coutinho@ufc.br

Abstract. *Traffic accidents are commonplace amidst the large number of vehicles on public roads. Issues directed at who is to blame for the collision have also become commonplace, generating costs due to technical expertise and legal disputes. This work seeks to analyze and propose a solution that helps in solving these problems, pointing out the cause of the referred collision, with VANETS for sending data and simulations. Based on forensic expertise methods, it is possible to perform a precise reconstruction of rear and side collisions, and thus use algorithms to infer guilt. The results show that the inference of guilt with accurate information is possible through the algorithms, but there are more important factors in the definition of guilt in different types of collisions.*

Resumo. *Acidentes de trânsito são fatos corriqueiros em meio ao grande número de veículos em vias públicas. Questões direcionadas a quem é o culpado pela colisão também passaram a ser comuns gerando custos devido a perícias técnicas e disputas judiciais. Este trabalho busca analisar e propor uma solução que auxilie na resolução destes problemas, apontando o causador da referida colisão, com VANETS para envio dos dados e simulações. Com base em métodos de perícia forense, é possível realizar uma precisa reconstrução de colisões traseiras e colisões laterais, e assim utilizar algoritmos para inferir a culpa. Os resultados apontam que a inferência de culpa munida de informações precisas é possível por meio dos algoritmos, mas existem fatores mais importantes na definição de culpa em diferentes tipos de colisão.*

1. Introdução

Os meios de transporte tornaram-se equipamentos essenciais para a realização de atividades de trabalho, estudo e lazer. Porém, acidentes de trânsito são fatos que infelizmente passaram a ser vistos como corriqueiros. Colisões traseiras são exemplos de cenários que geram um grande número de questões judiciais. O artigo 29, inciso II, do Código de Trânsito Brasileiro (CTB) [Brasil 2008] destaca: “o condutor deverá guardar distância de segurança lateral e frontal entre o seu e os demais veículos, bem como em relação ao bordo da pista, considerando-se, no momento, a velocidade e as condições do local, da circulação, do veículo e condições climáticas”. O artigo 42 traz: “Nenhum condutor deverá frear bruscamente seu veículo, salvo por razões de segurança”. E o artigo 43 em seu inciso III descreve: “Ao regular a velocidade, o condutor deverá observar constantemente as condições físicas da via, do veículo e da carga, as condições meteorológicas e a intensidade do trânsito, obedecendo aos limites máximos de velocidade estabelecidos

para a via, além de: (...) III - indicar, de forma clara, com a antecedência necessária e a sinalização devida, a manobra de redução de velocidade”.

As jurisprudências atuais interpretam como mais aceitável na lei para casos de acidentes envolvendo colisões traseiras as que atestam como responsável presumido, o motorista que seguindo outro veículo colide em sua traseira. No entanto, baseando-se pelo proposto nos artigos 42 e 43 do CTB, essa presunção de culpa pode ser contestada quando existem provas claras que a excluam.

Alguns trabalhos propuseram soluções para monitoramento de tráfego e detecção de acidentes [Buchenscheit et al. 2009][De Felice et al. 2014][Plante 2017]. O objetivo geral deste trabalho é apresentar um *framework* que realize inferência de culpabilidade, definir fatores determinantes e verificar métricas que possam ser utilizadas em uma solução para questões envolvendo colisões de veículos automotores. Assim, pretende-se proporcionar um auxílio às partes interessadas na mitigação do número de questões judiciais, redução de custos e prejuízos, e prevenção de fraudes. Existe um número muito maior de cenários a serem considerados. Este trabalho visa sanar as discussões propondo uma solução de inferência de culpabilidade em cenários de acidentes de trânsito utilizando VANETs, por meio da análise de informações acerca das condições do acidente, diretamente coletadas dos veículos envolvidos, e assim definir a culpa, e diminuir a necessidade de perícia técnica no local do ocorrido, gerando redução de custos e agilidade para a solução de questões.

Para validar a solução proposta, cenários em simuladores para testes foram utilizados, fazendo uma análise dos dados coletados, comparando-os com uma análise visual do cenários. Assim, busca-se atestar a necessidade deste tipo de solução para a correta inferência de culpabilidade. Também se procura analisar também quais os fatores cruciais para definição da culpa em colisões traseiras e colisões laterais. Considerou-se um ambiente urbano, onde o grande fluxo de veículos causa inúmeros acidentes e os meios de comunicação sofrem perdas, devido à quantidade de barreiras construídas (prédios, pontes e outras estruturas). Para a simulação deste ambiente utilizou-se os simuladores NS-3 (*Network Simulator 3*) e SUMO (*Simulator of Urban Mobility*). Ao final são apresentados os resultados preliminares que servirão de base para o desenvolvimento e implementação de uma ferramenta em um ambiente real que possa prover um futuro uso cotidiano da solução por usuários, empresas e até mesmo órgãos reguladores de trânsito.

2. Trabalhos Relacionados

De Felice et al. (2014) propuseram uma solução para monitoramento de tráfego e detecção de acidentes descrevendo duas abordagens baseadas na velocidade dos veículos e densidade do fluxo de tráfego para detectar incidentes. Medições em períodos curtos de tempo que avaliam as condições do tráfego em uma determinada via foram realizadas. Cenários onde nem todos os veículos estão equipados com dispositivos DSRC (*Dedicated Short range Communications*) também foram avaliados. A solução proposta utilizou o protocolo 802.11p, no entanto, o algoritmo proposto por ele não teria eficácia na solução dos problemas aqui relatados. O foco principal foi avaliar o desempenho de algumas abordagens, não considerando aplicações práticas, e sem armazenar ou coletar quaisquer dados para reconstrução do acidente. Este trabalho não apresenta o culpado, apenas detectando o acidente para fins de monitoramento.

Buchenscheit et al. (2009) propuseram um sistema que utiliza veículos de emergência (ambulâncias, viaturas, etc.) para enviar alertas aos demais veículos acerca de incidentes, para que possam definir novas rotas. Muitos outros trabalhos têm objetivos semelhantes a este, tendo seu foco voltado a alertas ou prevenção de acidentes.

Quando se trata de coleta e envio de dados, existem algumas soluções em uso no mercado. O *Vehicle data recorder* [Rayner 2002] é um dispositivo formado por sensores e equipamentos de vídeo que coleta informações do veículo (velocidade, aceleração, geolocalização, etc), com a coleta ocorrendo com um gatilho associado aos sensores. A reconstrução do acidente se dá pela análise conjunta dos quadros de imagem capturados pelas câmeras e informações obtidas por meio dos demais sensores. O *Vehicle Crash Data Recorder* [Ferguson 2001] parte dos mesmos princípios, colhendo mais informações. Existem dispositivos que são amplamente adotados por montadoras de veículos, por iniciativa própria ou por força de lei, tendo como exemplo o *Bosch Crash Data Retrieval Tool* [Crash Data Group Inc 2018], relatado como um dispositivo EDR. EDR (*Event Data Recorder*) são dispositivos acoplados aos veículos que buscam guardar informações precisas sobre determinados eventos, a fim de possibilitar uma posterior avaliação destes eventos. É importante observar que esta ferramenta recolhe informações apenas do veículo em uso e não aplica nenhum tipo de método para definição do culpado.

O trabalho que mais se aproxima da solução aqui proposta é o de Plante (2017), que parte do mesmo princípio de coleta de dados, mas utiliza redes celulares para envio das informações coletadas. O trabalho propõe um sistema de coleta com sensores auxiliados por câmera de vídeo. Porém, o sistema está ligado a um aparelho celular que envia as informações para o *gateway*, que os envia a um servidor. A solução aqui proposta possui conceitos que o aproximam deste trabalho. Contudo, utiliza VANETs para comunicação, garantindo o envio da informação mesmo em locais que não estejam ao alcance de estruturas físicas de rede. Além disso, todo o processo de inferência de culpabilidade é tratada diretamente nos dispositivos, não havendo envio dos dados para a nuvem.

Outra diferença importante dos trabalhos relacionados e este trabalho é a abordagem empregada de utilização de perímetro de coleta de dados. Neste trabalho, após a detecção do incidente são colhidas informações de todos os veículos no perímetro da ocorrência, para verificar quais os veículos estão envolvidos diretamente ou indiretamente no acidente. Além disso, o uso das informações para fins forenses é abordada apenas pelo dispositivo *Bosch Crash Data Retrieval Tool* [Crash Data Group Inc 2018], que por ser proprietário não disponibiliza de forma clara as métricas utilizadas.

3. Proposta

Devido ao custo de implementação em ambiente real, neste trabalho é realizada uma análise por meio de simuladores, que trazem uma ambiente realístico possibilitando realizar a coleta de dados necessários à proposta.

3.1. Detecção de Acidente e Gravação de Dados

A detecção dos acidentes ocorre por meio de sensores de vibração e impacto associados ao dispositivo EDR, sendo o sentido do trajeto do veículo importante para a definição do tipo do acidente. Dispositivos GPS também estarão instalados no veículo. A ativação dos sensores é definida por meio de uma faixa de sensibilidade específica de cada modelo podendo em alguns modelos ser calibrada. O acionamento deste dispositivo servirá

de gatilho para o *tempus collectio*, definindo o evento como um acidente. Uma vez que utilizamos simuladores, um algoritmo inserido na simulação fará o papel de sensor, detectando a colisão entre os nós (veículos).

Baseado em Plante (2017), as informações são armazenadas dentro do dispositivo em um *loop*, guardando as informações requeridas em 5 espaços de 1 segundo dentro de um bloco de 10 segundos. As informações nos 5 espaços são constantemente sobrescritas, e um espaço de 5 segundos dentro do bloco permanece vazio. Quando o gatilho é iniciado, as informações armazenadas nos 5 espaços ficam gravadas, os 5 segundos restantes do bloco de 10 segundos que antes estavam vazios agora passam a gravar informações pós evento. Depois que a informação é enviada, os 5 espaços de 1 segundos retornam ao *loop* e o espaço de 5 segundos volta a ficar vazio. Esta situação é visualizada na Figura 1.

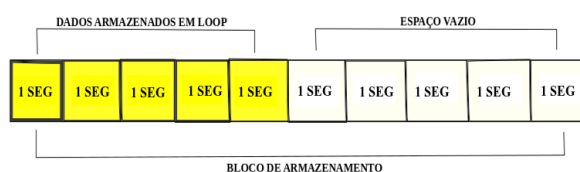


Figura 1. Bloco de armazenamento no veículo

Os simulador de mobilidade SUMO trata o tempo de maneira diversa, com saltos entre as unidades de tempo. Assim, o tempo de simulação é bem curto, e o trânsito dos nós é visualmente mais rápido. Portanto, ao invés de 10 segundos de *tempus collectio*, utilizamos dez unidades de tempo do simulador. As informações coletadas nos espaços de tempo são: velocidade, aceleração, movimentos de frenagem, geolocalização no tempo de coleta, data do evento, hora extensa (horas, minutos e segundos) exata da colisão. O número do chassi do veículo é anexado ao cabeçalho dos pacotes enviados, como uma informação extra, no fim do processo, para permitir a identificação única de cada veículo. Para este trabalho, visto que utilizamos simuladores ao invés de cenários reais, as informações coletadas para cada veículo são: velocidade no eixo X, velocidade no eixo Y, posição no eixo X, posição no eixo Y e tempo. A informação é dividida por cada unidade de tempo no *tempus collectio*.

3.2. Métricas

Inicialmente é necessário descobrir qual o tipo de colisão. Para isto, analisou-se as informações de sentido de cada veículo no *tempus collectio*. Para inferência da culpa são definidas métricas específicas para cada tipo de colisão. A solução proposta não considera normas de trânsito específicas, como preferência ou avanço de sinal, e por padrão caso algum veículo diretamente envolvido esteja incorrendo em infração decorrente de imprudência ou imperícia, isto não será verificado.

As métricas são aplicadas conforme bases estabelecidas pelas técnicas forenses de reconstrução de acidentes descritas em [Franck and Franck 2009]. Este trabalho faz uma adaptação dessas técnicas a fim de simplificá-las para que possam ser aplicadas automaticamente, uma vez que terá a disposição uma boa gama de informações.

Na determinação do tipo de colisão criou-se um algoritmo que calcula os ângulos entre os veículos. Isto é feito utilizando as velocidades nos eixos, por meio do quociente da divisão da velocidade no eixo Y pela velocidade no eixo X: $arc.tan = Vy/Vx$. Em

seguida é calculado a diferença entre estes ângulos: $difang = 180 - abs(abs(a1 - a2) - 180)$. A função “abs” retorna o valor absoluto, “a1” representa o tangente do primeiro veículo e “a2” representa a tangente do segundo veículo. Com o resultado da diferença entre os ângulos dos veículos é definido que: resultado menor ou igual a 40 identifica uma colisão traseira, visto que se aproxima de 0 graus; resultado superior a 40 e inferior à 140, identifica uma colisão lateral; por último, o resultado superior à 140 identifica uma colisão frontal, visto que se aproxima de 180 graus.

Após a definição do tipo de colisão, algumas regras de análise das informações para definir o culpado pela colisão são utilizadas. Para definição do tipo de culpado nos casos de colisão traseira e colisão lateral, algoritmos são definidos utilizando as informações das velocidades no eixos de modo a determinar o estado para os seguintes fatores determinantes: velocidade e sentido. No fator velocidade é preciso unificar a velocidade do veículo a partir das velocidades nos eixos. Para isso utiliza-se a fórmula: $|V| = \sqrt{Vx^2 + Vy^2}$. Esse cálculo é realizado para cada unidade de tempo da simulação. Dessa forma é possível verificar através das diferenças entre as velocidades nos tempos os estados para velocidade desses veículos. Os estados são: aumento, redução gradual, redução brusca, mantendo e parado.

Outro fator verificado é o sentido dos veículos. Utilizando a velocidade de cada veículo em cada eixo é possível determinar em um plano cartesiano para qual sentido o veículo está se movendo. Utilizando essa informação, determinam-se os estados para o sentido, e uma mudança repentina do estado representa uma mudança brusca de sentido. Os estados são: subindo reto, descendo reto, esquerda reto, direita reto, direita subindo, direita descendo, esquerda subindo e esquerda descendo. Através dos estados já definidos, é possível ainda observar se os veículos estão entre si: paralelos, perpendiculares, opostos, semi opostos e semi paralelos.

O veículo tido como causador em uma colisão traseira é aquele que incorrer ou levar outros a incorrerem em duas ou mais das situações a seguir: (i) manobras de frenagem bruscas indevidas, levando o veículo que está atrás a colidir mesmo guardada uma certa distância de segurança - nas simulações isto é representado por redução brusca de velocidade; (ii) aumento, não diminuição ou redução brusca de velocidade, quando veículos à frente já estão parados ou reduzindo a velocidade, ou em casos de haver quaisquer outros obstáculos à frente - nas simulações isto é representado por manutenção de velocidade; (iii) aumento ou redução de aceleração de modo repentino - nas simulações são representados, respectivamente, aumento de velocidade e redução brusca de velocidade; (iv) posição do veículo com proximidade exagerada à outro veículo pelo trânsito na via, registrado durante *tempus collectio* - na simulação não existe representação para esta proximidade; (v) mudança brusca de sentido na via ou de posicionamento, quando afeta outros veículos - nas simulações é representado por mudança brusca de sentido.

Em caso de colisão lateral, onde o veículo tido como causador é aquele que incorrer ou levar outros a incorrerem em situações como: (i) mudança repentina de sentido, indo em direção ao outro veículo - na simulação é representado por mudança de sentido quando os veículos ficam opostos ou semi opostos no momento da colisão; (ii) aumento ou não diminuição de velocidade quando estiver indo em direção ao outro veículo parado ou em movimento - na simulação isto é representado por aumento ou manutenção de velocidade; (iii) mudança brusca de sentido ou de posicionamento na via, quando afeta

outros veículos - na simulação é representado por mudança brusca de sentido.

O último caso é o de colisão frontal. Neste trabalho não são desenvolvidos cenários de colisões frontais, mas vamos descrever as métricas para fins de melhor entendimento das mesmas nos outros tipos de colisão, bem como para fins de referência para trabalhos futuros. O culpado é aquele que incorrer ou levar outros a incorrerem em situações como: (i) mudança repentina de sentido, indo em direção ao outro veículo; (ii) aumento ou não diminuição de velocidade quando estiver indo em direção ao outro veículo parado ou em movimento; (iii) mudança brusca de sentido ou de posicionamento na via, quando afeta outros veículos.

3.3. Envio dos Dados (Comunicação)

Para envio dos dados utilizamos VANETs, mais precisamente o padrão IEEE 802.11p. Adotamos uma abordagem híbrida que permite a comunicação através de V2V e V2I. Quando o acidente é detectado, é definido um perímetro em 200 metros quadrados, por meio de dispositivos GPS. Na simulação isto é feito no simulador NS-3. Então os veículos cujo sensores são ativados realizam um *broadcast* aos veículos localizados no perímetro para que todos retornem com suas informações. No NS-3 esse *broadcast* é enviado a todos os nós do perímetro. Dessa forma identifica-se quais veículos estão envolvidos diretamente ou indiretamente na colisão. Esse *broadcast* já contém algumas informações, como hora extensa exata da colisão e data do evento. As informações são utilizadas pelos veículos colididos para definição do culpado. Considerando que o algoritmo trabalha da mesma forma em ambos os veículos, os dois apontam para o mesmo culpado. Assim, traz redundância à informação.

3.4. Ordem dos Processos

Na solução, os processos que o compõem são aplicados seguindo uma cronologia. O primeiro momento é o de detecção da colisão por meio dos sensores de impacto e vibração. Neste trabalho isto é feito através de um algoritmo como tratado anteriormente. Em seguida é enviada uma requisição *broadcast* com VANETs aos veículos no perímetro para que também retornem suas informações ao veículos colididos. Em seguida, armazenam-se as informações dos veículos colididos. Depois de recebidos e organizados na nuvem, os dados passarão pela primeira métrica que definirá qual o tipo de colisão. Depois de definido o tipo de colisão, as devidas técnicas forenses de reconstrução de eventos são aplicadas, a fim de definir o veículo causador do acidente, finalizando os procedimentos.

4. Metodologia

4.1. Testes e Simuladores

Dada a impossibilidade de realização das colisões entre veículo em cenário real, os testes foram realizados em cenários em simuladores. O objetivo foi validar a ideia do trabalho, e identificar situações difíceis de serem interpretadas visualmente. Os simuladores utilizados foram o NS-3 [Riley and Henderson 2010] para simular redes, e o SUMO [Krajzewicz et al. 2002] para simular mobilidade urbana.

Alguns cenários de colisão foram projetados no SUMO. Ele permite a visualização do cenário em sua interface, com funções de criação das vias, inserção dos veículos, manipulação de semáforos, e definição de rotas dos veículos. Um cenário base

foi criado, com 8 pontos e 12 pontes, com veículos e rotas. Os cenários do SUMO foram convertidos para o simulador NS-3. Os testes terão como objetivo inferir a culpa de modo correto em todos os casos. Além disso, deseja-se atestar que a solução proposta é mais assertiva do que uma avaliação apenas visual da colisão no que diz respeito a inferência de culpabilidade, visto que analisa informações mais precisas.

4.2. Simulações e Algoritmos

Para criar colisões, 30 cenários diferentes foram projetados, com rotas dos veículos e parâmetros alterados de modo diverso para propiciar comportamentos que levem às colisões. A quantidade de veículos variou entre 8, 16, 24 e 32. Os cenários representam dois tipos de colisões, traseira e lateral, sendo que nenhum cenário é igual ao outro. Os veículos são considerados como tendo massa constante, visto que no simulador apresentam o mesmo tamanho e forma.

A simulação no NS-3 utiliza VANETs através de módulos de rede sem fio, representando a conectividade entre veículos. Também inseriu-se um algoritmo para obtenção das informações dos veículos: velocidade nos eixos X e Y, tempo e posição nos eixos X e Y. Tais informações são utilizadas na detecção da colisão, por meio do vetor velocidade e o posicionamento nos eixos. Posteriormente na simulação as informações de velocidade nos eixos permitem definir o ângulo entre os veículos, definindo o tipo de colisão. Foram criados dois algoritmos para definição da culpa, um para colisão traseira e outro para colisão lateral. O algoritmo para colisão traseira utiliza a velocidade absoluta do veículo nos três tempos anteriores a colisão, definindo um estado dessa velocidade e o causador da colisão. O algoritmo para colisão lateral também utiliza a velocidade absoluta, mas a mesma informação é usada para definir um estado para o sentido em que o veículo trafega, verificando se o veículo realizou algum tipo de mudança brusca de sentido.

Para cada cenário tem-se como resposta a cor do causador da colisão, a cor do outro veículo e qual o estado de velocidade de cada um, se aumentando velocidade, redução gradual de velocidade, redução brusca de velocidade, mantendo velocidade ou parado (velocidade igual 0 nos três tempos observados). Para as colisões laterais temos ainda informação do estado de mudança de sentido que diz se houve ou não mudança de sentido durante o tempo analisado.

Para este trabalho não analisou-se regras específicas de trânsito, como contra-mão ou preferência na via, tendo os dois veículos os mesmos resultados, consideraremos os dois como culpados. Dessa forma definimos nos algoritmos de culpabilidade para colisão lateral e colisão traseira, que para os casos em que os veículos apresentem todos os estados exatamente iguais, o retorno dos algoritmos será “impossível determinar”, e os estados dos veículos envolvidos na colisão.

4.3. Questionário

Um questionário que permite avaliar por meio de fotos e vídeos dos cenários quem é o causador da colisão foi projetado. Cada cenário possui um vídeo completo da simulação e três imagens em diferentes tempos da simulação: antes, momento exato e depois. Na imagem “antes” é utilizado o tempo 3 saltos anterior à colisão; na imagem “depois” é utilizado o tempo 3 saltos depois da colisão; na imagem “momento exato” é utilizado o tempo exato da colisão. A Figura 2 exibe imagens nas três situações.



Figura 2. Cenário e imagem anterior, no momento exato e após a colisão apresentada no questionário

Após avaliar os vídeos e imagens, para definir o culpado, o avaliador especialista deve responder as seguintes perguntas de múltipla escolha para cada cenário: “Considerando a análise dos arquivos do cenário X, a colisão de interesse é de qual tipo?” e “Considerando a análise dos arquivos do cenário X qual o veículo causador da colisão?”. As opções para as resposta da primeira pergunta são colisão frontal, colisão lateral e colisão traseira. As opções para a resposta da segunda pergunta são a cor do veículo envolvido, a cor do outro veículo envolvido, ou impossível determinar. Esta última resposta serve para os casos em que o avaliador entenda que uma avaliação visual não é suficiente para definir o culpado ou caso onde ele avalie que houve causa concorrente, ou seja, os dois veículos são igualmente causadores.

5. Resultados

5.1. Comparação de Resultados

Dois especialistas em trânsito responderam o questionário. Os resultados podem ser observados na Figura 3, com a opinião em relação aos tipos de colisões nos cenários. Em cor verde estão os cenários onde a opinião dos avaliadores coincidiu, e em vermelho quando divergiu. A Figura 4 exibe o número do cenário, o fator determinante para definição do culpado de acordo com os algoritmos aqui definidos, o culpado conforme a aplicação dos algoritmos, o culpado conforme a avaliação do primeiro especialista e o culpado conforme avaliação do segundo especialista. Em cor verde estão os cenários onde a opinião pelo menos um dos avaliadores coincidiu com o resultado obtido através dos algoritmos. Em vermelho estão marcados os cenários onde os resultados dos algoritmos não coincidiram com nenhum dos avaliadores. No final, dos 30 cenários, houveram 22 acertos em relação

CENÁRIO	ESPECIALISTA 1	ESPECIALISTA 2	CENÁRIO	ESPECIALISTA 1	ESPECIALISTA 2
1	FRONTAL	FRONTAL	16	LATERAL	LATERAL
2	LATERAL	LATERAL	17	LATERAL	FRONTAL
3	LATERAL	FRONTAL	18	LATERAL	LATERAL
4	LATERAL	LATERAL	19	LATERAL	LATERAL
5	LATERAL	LATERAL	20	LATERAL	FRONTAL
6	LATERAL	LATERAL	21	LATERAL	TRASEIRA
7	LATERAL	LATERAL	22	LATERAL	TRASEIRA
8	FRONTAL	LATERAL	23	FRONTAL	TRASEIRA
9	FRONTAL	LATERAL	24	TRASEIRA	TRASEIRA
10	LATERAL	LATERAL	25	TRASEIRA	TRASEIRA
11	LATERAL	LATERAL	26	TRASEIRA	TRASEIRA
12	LATERAL	LATERAL	27	LATERAL	TRASEIRA
13	LATERAL	LATERAL	28	TRASEIRA	TRASEIRA
14	LATERAL	LATERAL	29	TRASEIRA	TRASEIRA
15	FRONTAL	LATERAL	30	TRASEIRA	TRASEIRA

Figura 3. Comparação de resultados de tipos de colisão conforme especialistas

CENÁRIO	FATOR DETERMINANTE	ALGORITMO DE CULPABILIDADE	ESPECIALISTA 1	ESPECIALISTA 2
1	SENTIDO E VELOCIDADE	CINZA	CINZA	LARANJA
2	SENTIDO E VELOCIDADE	IMPOSSÍVEL DE DETERMINAR	LARANJA	LARANJA
3	SENTIDO	VERMELHO	VERMELHO	VERMELHO
4	SENTIDO E VELOCIDADE	VERMELHO	VERMELHO	VERMELHO
5	SENTIDO E VELOCIDADE	VERMELHO	IMPOSSÍVEL DE DETERMINAR	CINZA
6	SENTIDO E VELOCIDADE	PRETO	AZUL	PRETO
7	VELOCIDADE	VERDE	VERDE	VERDE
8	SENTIDO E VELOCIDADE	VERDE	IMPOSSÍVEL DE DETERMINAR	VERDE
9	SENTIDO E VELOCIDADE	IMPOSSÍVEL DE DETERMINAR	BRANCO	BRANCO
10	SENTIDO E VELOCIDADE	IMPOSSÍVEL DE DETERMINAR	AMARELO	AMARELO
11	VELOCIDADE	AMARELO	AMARELO	VERDE
12	VELOCIDADE	VERDE	VERDE	VERDE
13	SENTIDO E VELOCIDADE	IMPOSSÍVEL DE DETERMINAR	LARANJA	LARANJA
14	SENTIDO E VELOCIDADE	BRANCO	IMPOSSÍVEL DE DETERMINAR	BRANCO
15	VELOCIDADE	AZUL	AZUL	IMPOSSÍVEL DE DETERMINAR
16	SENTIDO E VELOCIDADE	BRANCO	AMARELO	BRANCO
17	SENTIDO E VELOCIDADE	VERMELHO	BRANCO	BRANCO
18	VELOCIDADE	CINZA	IMPOSSÍVEL DE DETERMINAR	CINZA
19	SENTIDO E VELOCIDADE	BRANCO	LARANJA	LARANJA
20	SENTIDO E VELOCIDADE	PRETO	LARANJA	IMPOSSÍVEL DE DETERMINAR
21	VELOCIDADE	BRANCO	IMPOSSÍVEL DE DETERMINAR	BRANCO
22	VELOCIDADE	AMARELO	IMPOSSÍVEL DE DETERMINAR	BRANCO
23	VELOCIDADE	VERMELHO	VERDE	VERMELHO
24	VELOCIDADE	VERMELHO	VERMELHO	VERMELHO
25	VELOCIDADE	BRANCO	BRANCO	BRANCO
26	VELOCIDADE	CINZA	CINZA	CINZA
27	VELOCIDADE	AZUL	VERMELHO	AZUL
28	VELOCIDADE	VERDE	VERDE	VERDE
29	VELOCIDADE	AZUL	AZUL	AZUL
30	VELOCIDADE	PRETO	PRETO	PRETO

Figura 4. Comparação de resultados de culpabilidade conforme especialistas

a pelo menos um avaliador, 9 acertos em relação aos dois avaliadores, e 8 divergências em relação aos dois avaliadores.

5.2. Análise dos Resultados

De um total de 30 cenários, observando os resultados do questionário, em 8 cenários os avaliadores divergem quanto ao tipo de colisão. A maioria das divergências foi entre colisões frontais e colisões laterais. Analisando os cenários, os algoritmos foram capazes de definir o culpado em 15 cenários apenas analisando o fator velocidade, na maioria em colisões traseiras. Os algoritmos foram capazes de definir culpado em 14 cenários utilizando os dois fatores, velocidade e sentido, todos colisões laterais. Em apenas 1 cenário os algoritmos definiram culpado observando apenas o fator sentido, uma colisão lateral. Notou-se uma assertividade dos algoritmos em mais de 20 cenários em relação à opinião de pelo menos um avaliador. Em pouco menos de 10 cenários essa assertividade é em relação à opinião de ambos os especialistas, sendo superior ao número de cenários onde existe uma divergência entre os resultados do questionário e da aplicação dos algoritmos.

Percebeu-se também que para uma maior assertividade entre os resultados dos algoritmos e os resultados do questionário, até mesmo para uma maior convergência entre as opiniões dos especialistas, é necessário que os mesmos tenham acesso a uma gama maior de informações. Estas informações, acessadas pelos algoritmos nos simuladores, são velocidade, sentido e seus estados, para que seja melhor interpretado o comportamento de cada veículo no *tempus collectio*. Por fim, segundo um dos especialistas, um grande causador de colisões é “Falta de informação do comportamento do condutor é uma limitação da determinação da culpa”. Apesar de requerer aprimoramento e inserção de uma maior quantidade de dados, os algoritmos propostos foram capazes de determinar corretamente a culpa em cenários de colisões laterais e colisões traseiras, considerando-se a opinião dos especialistas. Observando os algoritmos propostos, os resultados também apontaram que é possível criar algoritmos para o mesmo procedimento em colisões frontais. Des-

considerando aspectos jurídicos (relacionados à leis constitucionais e leis de trânsito) e econômicos (como custos de produção e tributação), o uso desta solução traria grande ganho social.

6. Conclusão

Diversos trabalhos apontam o uso de VANETs e EDR de forma a evitar acidentes, ou alertar autoridades competentes. O diferencial desta proposta é no foco ao momento pós-evento, diminuindo a burocracia para soluções de disputas, uma vez que apontará o causador do acidente de maneira automática. Neste trabalho verifica-se, realizando uma comparação entre a avaliação realizada de modo exclusivamente visual, por meio de imagens e vídeos, e a avaliação do cenários por meio da aplicação dos algoritmos nas informações advindas diretamente dos simuladores, que diferentes métodos e opiniões podem divergir na definição da culpa. No entanto, pode-se afirmar que velocidade e sentido são fatores determinantes na definição da culpabilidade e que a utilização destas informações pode inferir corretamente a culpa, mesmo sem auxílio visual. Os possíveis trabalhos futuros são: análise utilizando os mesmos critérios para cenários envolvendo colisões frontais e fornecendo uma gama maior de informações dos veículos no questionário; aprimoramento dos algoritmos utilizando o conceito de momento de modo a tornar mais precisa a definição do tipo de acidente e culpabilidade; realização de testes envolvendo dispositivos VANETs e Veículos em cenários reais; criação de interface para acesso aos resultados das inferências de culpa pelas partes interessadas; ampliação dos tipos de veículos amparados pela solução; e aprimoramento do envio de mensagens por meio de VANETs para esta solução a fim de evitar a perda de dados.

Referências

- Brasil, C. d. T. B. (2008). Código de trânsito brasileiro: instituído pela lei nº 9.503. Technical report, de 23-9-97-3ª edição-Brasília: DENATRAN.
- Buchenscheit, A., Schaub, F., Kargl, F., and Weber, M. (2009). A vanet-based emergency vehicle warning system. In *Vehicular Networking Conference (VNC), 2009 IEEE*.
- Crash Data Group Inc (2018). Bosch Crash Data Recorder Tool software.
- De Felice, M., Baiocchi, A., Cuomo, F., Fusco, G., and Colombaroni, C. (2014). Traffic monitoring and incident detection through vanets. In *Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS), 2014 11th Annual Conference on*.
- Ferguson, T. W. (2001). Vehicle crash data recorder. US Patent 6,185,490.
- Franck, H. and Franck, D. (2009). *Mathematical methods for accident reconstruction: a forensic engineering perspective*. CRC Press.
- Krajzewicz, D., Hertkorn, G., Rössel, C., and Wagner, P. (2002). Sumo (simulation of urban mobility)-an open-source traffic simulation. In *Proceedings of the 4th middle East Symposium on Simulation and Modelling (MESM20002)*, pages 183–187.
- Plante, J. (2017). Vehicle event recorder systems and networks having integrated cellular wireless communications systems. US Patent 9,545,881.
- Rayner, G. A. (2002). Vehicle data recorder. US Patent 6,389,340.
- Riley, G. F. and Henderson, T. R. (2010). The ns-3 network simulator. In *Modeling and tools for network simulation*, pages 15–34. Springer.