

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE REFERÊNCIA EM FORMAÇÃO E EAD/CERFEAD
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM PERÍCIA DE ACIDENTES DE TRÂNSITO

SOFTWARE PARA CÁLCULO E GERAÇÃO DE MEMORIAL DE CÁLCULO EM
ACIDENTES DO TIPO ATROPELAMENTO

Trabalho de Conclusão
VÍTOR CLAUDINO DOS SANTOS

Florianópolis/SC
2017

VÍTOR CLAUDINO DOS SANTOS

**SOFTWARE PARA CÁLCULO E GERAÇÃO DE MEMORIAL DE CÁLCULO EM
ACIDENTES DO TIPO ATROPELAMENTO**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Centro de Referência em Formação e Ead/CERFEAD do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) como requisito parcial para Certificação do Curso de Pós-Graduação *lato sensu* em Perícia de Acidentes de Trânsito.

Orientador: Prof. João Henrique Ávila de Barros, MSc.

Florianópolis/SC

2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Santos, Vitor Claudino dos
SOFTWARE PARA CÁLCULO E GERAÇÃO DE MEMORIAL DE CÁLCULO
EM ACIDENTES DO TIPO ATROPELAMENTO / Vitor Claudino dos
Santos ; orientação de João Henrique Avila de Barros.
- Florianópolis, SC, 2017.
47 p.

Monografia (Pós-graduação Lato Sensu - Especialização)
- Instituto Federal de Santa Catarina, Centro
de Referência em Formação e Educação à Distância
- CERFEAD. Especialização em Perícia de Acidentes
de Trânsito. Departamento de Educação à Distância.
Inclui Referências.

1. Atropelamento. 2. Memorial de cálculo. 3. Software.
4. Acidente. 5. Trânsito. I. Avila de Barros, João
Henrique . II. Instituto Federal de Santa Catarina.
Departamento de Educação à Distância. III. Título.

VÍTOR CLAUDINO DOS SANTOS

**SOFTWARE PARA CÁLCULO E GERAÇÃO DE MEMORIAL DE CÁLCULO EM
ACIDENTES DO TIPO ATROPELAMENTO**

Este Trabalho de Conclusão foi julgado e aprovado para a obtenção do título de Especialista em Perícia de Acidentes de Trânsito do Centro de Referência em Formação e Ead do Instituto Federal de Santa Catarina - CERFEAD/IFSC.

Florianópolis, 10 de julho de 2017.

.....

Prof. Nilo Otani, Dr.
Coordenador do Programa

BANCA EXAMINADORA

.....

Prof. João Henrique Ávila de Barros, MSc. - Orientador

.....

Prof. Nelson Granados Moratta, MSc

.....

Prof. Flavio Castagna de Freitas, MSc

RESUMO

SANTOS, Vítor Claudino. **Software para cálculo e geração de memorial de cálculo em acidentes do tipo atropelamento**. 2017. 45 f. Trabalho de Conclusão (Curso de Pós-Graduação *lato sensu* em Perícia de Acidentes de Trânsito) – Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2017.

Especificação e implementação de software para automatização do cálculo da velocidade de veículos envolvidos em acidentes do tipo atropelamento com o uso de metodologias de cálculo de SEARLE e pelo rompimento do para-brisa. Implementação de software utilizando metodologias já definidas pelo Departamento de Polícia Rodoviária Federal através do uso de padrões definidos pela Divisão de Administração de Sistemas – DIASI. Utilização da linguagem de programação PHP combinada com o framework Symfony e banco de dados MySQL, além de arquétipo próprio do Departamento de Polícia Rodoviária Federal, utilizando bibliotecas diversas para funcionalidades básicas (login, interface, formulários, etc).

Palavras-chave: Trabalho de Conclusão. Software. Memorial de Cálculo. Atropelamento.

ABSTRACT

SANTOS, Vítor Claudino. **Software for calculation and generation of calculation report in pedestrian collisions**. 2017. 45 f. Conclusion Work (Post-Graduation Course lato sensu in Traffic Accident Expertise) – Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2017.

Specification and implementation of software to automate the calculation of the speed of vehicles involved in road crash accidents with the use of SEARLE calculation methodologies and the breaking of the windshield methodology. Implementation of software using methodologies already defined by the Departamento de Polícia Rodoviária Federal through the use of standards defined by the Divisão de Administração de Sistemas - DIASI. Use of the PHP programming language combined with the Symfony framework and MySQL database, as well as the own archetype of the Departamento de Polícia Rodoviária Federal, using various libraries for basic functionality (login, interface, forms, etc).

Keywords: Conclusion Work. Software. Calculation Report. Pedestrian.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 Tema e Problema de Pesquisa	8
1.2 Objetivos	9
1.2.1 Objetivo Geral	9
1.2.2 Objetivos Específicos	9
1.3 Procedimentos metodológicos	10
1.3.1 Caracterização da pesquisa	10
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1 Atropelamento	11
2.1.1 Cálculo da velocidade pelo rompimento do para-brisa.....	12
2.1.2 Cálculo da velocidade pelo método de Searle	13
2.2 Softwares avaliados	17
2.2.1 Accident Reconstruction Calculator	17
2.2.2 SCTA - Speed calculations for traffic accidents	18
2.2.3 RACTT - Reconstructor analítico de colisiones de trânsito terrestre	20
2.2.4 AR Pro 10 - Accident Reconstruction Professional 10.....	21
2.2.5 Desenvolvimento de software próprio	24
3 RESULTADOS DE PESQUISA	26
3.1 Comparação de resultados	30
4 CONCLUSÕES	34
4.1 Recomendações para trabalhos futuros	35
REFERÊNCIAS	36
APÊNDICE A – CÓDIGO FONTE	38

1 INTRODUÇÃO

O serviço de perícia em acidentes de trânsito, apesar de constar nas atribuições da Polícia Rodoviária Federal – PRF – desde o ano de 1995, conforme Decreto 1.655/95, tem ganhado crescente importância no órgão. A capacitação dos servidores tem aumentado nos últimos anos, vide o exemplo da Superintendência Regional de Sergipe que já realiza perícia em todos os acidentes com óbito e o recente curso de Pós-Graduação em Perícia de Acidentes de Trânsito realizado pela PRF em parceria com o IFSC, ao qual se refere esse trabalho de conclusão.

No sentido de profissionalizar a perícia e padronizar procedimentos, o corpo docente da Academia Nacional da Polícia Rodoviária Federal – ANPRF – realizou alguns estudos e testes com diversos softwares existentes a fim de determinar a possibilidade de utilização destes em cálculos para a realização da perícia, sendo que nenhum dos softwares testados se mostrou adequado para o uso da PRF, alguns por limitações do próprio software, outros pelos custos envolvidos ou até pelas dificuldades em modificar/atualizar o software conforme as necessidades da PRF.

Os atropelamentos são a segunda maior causa de mortalidade em acidentes de trânsito em rodovias federais, com uma taxa absoluta de 29,1 mortes a cada 100 acidentes (IPEA, 2015). A gravidade desses acidentes motivou a escolha para este trabalho, visto que a determinação da velocidade do veículo envolvido é de suma importância para determinação das causas do acidente, possibilitando ainda a adoção de medidas preventivas futuramente.

Diante do exposto, se busca neste trabalho realizar um estudo acerca do cálculo de velocidade em atropelamentos, avaliando os softwares existentes nesta área, para definir padrões e metodologias dentro da PRF, os quais serão utilizados na construção do software próprio.

1.1 Tema e Problema de Pesquisa

Em geral os atropelamentos são acidentes de difícil reconstrução, devido à pobreza de vestígios normalmente produzidos. Este trabalho busca automatizar o cálculo da velocidade utilizando métodos de cálculo já

consolidados e largamente utilizados para esse fim. A escolha do método a ser utilizado em cada perícia de atropelamento é dependente das circunstâncias e vestígios existentes, não cabendo livre escolha na maioria dos casos. Em casos em que há vestígios suficientes para aplicação de mais de um método de cálculo, fica a critério do perito a escolha do método.

A análise de evitabilidade do acidente não é escopo deste trabalho.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo definir e implementar metodologias que possibilitem calcular e exibir o memorial de cálculo de velocidade em acidentes do tipo atropelamento, tendo por base uma quantidade mínima pré-definida de parâmetros obtidos na fase de levantamento dos vestígios no local do acidente.

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um software, nos padrões da PRF, que seja intuitivo e de uso simples, para auxiliar peritos da PRF a elaborar laudos periciais de acidentes do tipo atropelamento. Tal software terá a função de calcular a velocidade inicial do veículo envolvido a partir de conjunto mínimo pré-definido de parâmetros de entrada. Como resultado se espera exibir a velocidade do veículo além de possibilitar a exibição dos cálculos para obtenção desse valor.

1.2.2 Objetivos Específicos

No decorrer do desenvolvimento do trabalho se buscará também:

- Definir uma biblioteca/ferramenta para geração de memorial cálculo, que possa servir de base para uso em trabalhos similares. A funcionalidade desejável é que se receba uma fórmula qualquer como entrada, se especifique o valor de cada variável e se retorne cada passo do cálculo até o resultado;
- Utilizar mais de uma metodologia de cálculo da velocidade em atropelamentos, possibilitando o uso do software em um maior

número de casos, mesmo naqueles em que há uma pequena quantidade de vestígios disponível;

- Permitir que o memorial de cálculo gerado pelo software seja exportado, preferencialmente em formato de imagem digital, visando facilitar a inclusão no laudo pericial.

1.3 Procedimentos metodológicos

O presente trabalho tem como ponto de partida as metodologias para cálculo de velocidade em acidentes do tipo atropelamento apresentadas por ARAÚJO e MACHADO (2016).

A base do software elaborado neste trabalho foi feita em conjunto com o aluno Bruno Ventorim Gabrielli, autor do trabalho de conclusão "Ferramenta online para cálculo de velocidade em acidentes do tipo saída de pista", com aval do Departamento de Polícia Rodoviária Federal (DPRF) e IFSC. Tal fato é justificado pela natureza e aplicação similar dos trabalhos. Entretanto a modelagem das classes, implementação dos cálculos e estudos peculiares a cada tipo de acidente foi feita separadamente por cada aluno.

Para a elaboração do software, serão utilizadas metodologias já empregadas no DPRF, conforme recomendações da Divisão de Administração de Sistemas (DIASI), divisão da Coordenação-Geral de Planejamento e Modernização (CGPLAM)..

1.3.1 Caracterização da pesquisa

Conforme Gil (2007, p.17), uma pesquisa é definida como um "procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos".

Gerhardt e Silveira (2009) classificam as pesquisas segundo uma diversidade de critérios, pelos quais a presente pesquisa se enquadra na categoria de pesquisa aplicada, definida como aquela que "Objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais".

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O Laudo Pericial elaborado pelo perito em acidentes de trânsito é composto por uma estrutura mínima de tópicos, dentre os quais está a dinâmica do evento, fundamental para o entendimento sobre a forma como o acidente ocorreu.

A determinação da velocidade de um veículo automotor, envolvido em um acidente de trânsito, auxilia na demonstração da dinâmica do evento [...]. Dessa forma, o perito descreverá, neste tópico do laudo pericial, os cálculos físicos realizados e os exames complementares [...]. Uma vez realizados os cálculos físicos, o perito demonstrará de maneira sucinta os valores calculados e o método utilizado. Os cálculos completos deverão ser descritos no Memorial de Cálculos e incluído no laudo como um Apêndice. Obrigatoriamente, o perito citará a fonte bibliográfica consultada para a realização dos cálculos, bem como a utilização de tabelas, fórmulas etc. (DALPERIO e DAMASCENO, 2016, p. 29-30).

A determinação da velocidade e os cálculos realizados são itens obrigatórios no Laudo Pericial, logo sua obtenção é de suma importância. Pela formação multidisciplinar dos peritos a existência de uma ferramenta para obtenção destes dados torna a elaboração do laudo mais confiável e ágil.

2.1 Atropelamento

Conforme Almeida (2014) e Aragão (2016), o cálculo da velocidade em atropelamentos pode ser realizado de modos diferentes, a depender do conjunto de dados/vestígios disponíveis. Entre os métodos mais utilizados para o cálculo da velocidade em atropelamentos estão:

- PCE: Princípio da conservação da energia;
- Aproximação pela tabela SAE (Society of Automotive Engineers);
- Pelo rompimento do para-brisa do veículo atropelador;
- Pela distância de projeção do pedestre (Searle, 1993).

O cálculo da velocidade pelo princípio da conservação de energia pode ser aplicado nos mais diversos tipos de acidentes, visto que a velocidade inicial é calculada através da soma das parcelas de energia dissipadas pelo veículo ao longo da trajetória até a parada, desde que conhecidas e mensuradas todas as perdas de energia relevantes. Pelo caráter geral do método ele não será escopo deste trabalho de conclusão.

A aproximação pela tabela SAE, conforme observado por Aragão (2016), não consiste num método com cálculos, mas sim numa forma de estimar a velocidade inicial do veículo de acordo com a trajetória do pedestre após a colisão com o veículo. Por este motivo este método também não será escopo deste trabalho de conclusão.

2.1.1 Cálculo da velocidade pelo rompimento do para-brisa

Pela dinâmica do atropelamento, é comum que a cabeça do pedestre atinja o para-brisa do veículo atropelador. A partir dessa interação ocorre a quebra e afundamento do para-brisa na área em que houve o contato, sendo que este afundamento ocorre pelo efeito da força de interação entre o parabrisa e o corpo do pedestre, particularmente, da componente perpendicular ao para-brisa (conforme figura 1). Negrini e Kleinubing (2006) propuseram uma equação para estimar a velocidade do veículo atropelador a partir do estudo do afundamento do para-brisa.



Figura 1. Exemplo de afundamento do para-brisa
Fonte: <http://g1.globo.com> (acessado em 04/07/2017)

A fórmula proposta para calcular a velocidade do veículo pelo afundamento para-brisa elaborada por Negrini e Kleinubing (2006) é:

$$V_{romp} = \sqrt{\frac{2 \cdot R \cdot A_c \cdot d}{m}}$$

Os componentes da fórmula acima podem ser descritos da seguinte forma:

- R - resistência ao rompimento ou resistência à compressão em N/cm^2 . O valor mais comum desse parâmetro é de 2500 N/cm^2 , entretanto pode variar. Dessa forma é recomendado obter o valor informado pelo fabricante;
- A_c - área de contato, entre o pedestre e o para-brisa em cm^2 (ALMEIDA, 2016); correspondente à área do para-brisa que se encontra danificada;
- d - deslocamento ou afundamento do para-brisa, em metros. O afundamento é medido da superfície original do para-brisa (estimada) até o ponto mais distante do afundamento;
- m - massa do veículo atropelador, em kg.

O resultado da aplicação desta equação é expresso em metros por segundo, podendo ser convertido para quilômetros por hora, para facilitar a comparação com eventuais limites de velocidade da via.

É importante ainda ressaltar que o método proposto se refere à velocidade do veículo no momento em que ocorre a colisão com o pedestre. Caso haja vestígio de frenagem anterior à colisão com o pedestre, é possível combinar o resultado deste cálculo com o método do princípio da conservação de energia para obter a velocidade do veículo no início da frenagem.

2.1.2 Cálculo da velocidade pelo método de Searle

O método de Searle foi publicado num trabalho datado de outubro de 1983: "The Trajectories of Pedestrians, Motorcyclist, etc., Following a Road Accident" (SEARLE e SEARLE, 1983) e consiste em um aprimoramento do

método do movimento parabólico, aplicável nos casos em que o pedestre é projetado no mesmo sentido do veículo atropelador (conforme figura 2). Conforme Aragão (2016) "até o início dos anos 80, recorreu-se à cinemática do lançamento parabólico para a estimativa da velocidade de atropelamento". Este método necessita de parâmetros de difícil obtenção, como o ângulo de projeção, alcance horizontal, altura do centro de gravidade inicial e final do pedestre e a distância de lançamento.

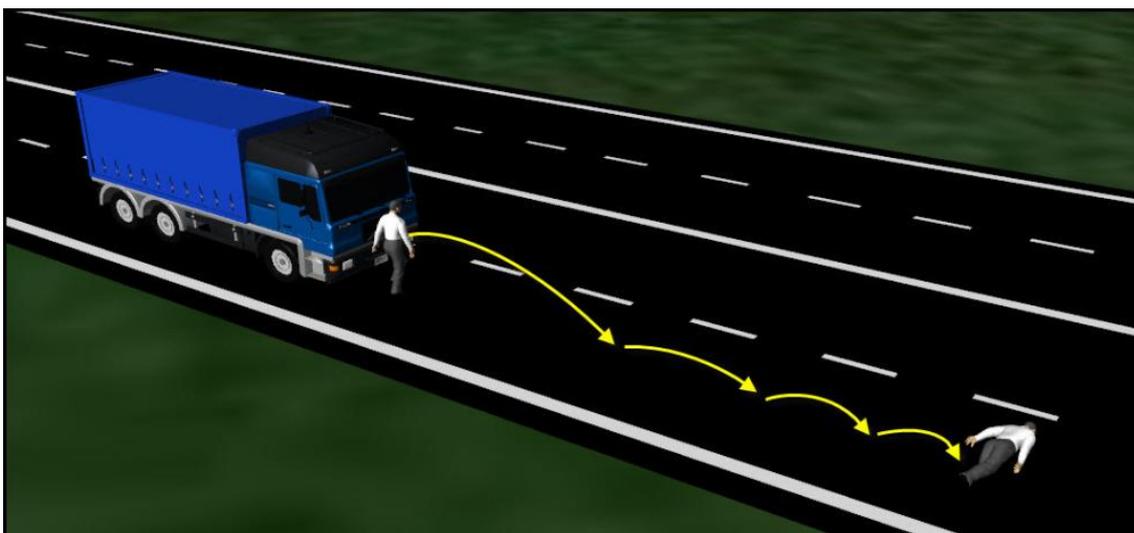


Figura 2. Exemplo de projeção de pedestre

Fonte: <http://expertdirectory.arcnetwork.com> (acessado em 04/07/2017)

John Searle e Angela Searle (1983) propuseram que a velocidade de projeção fosse determinada pela distância total de projeção (distância entre o sítio de colisão e a posição final do pedestre) e pelo ângulo de projeção, através da fórmula:

$$V = \frac{\sqrt{2 \cdot \mu \cdot g \cdot d}}{\cos\theta + \mu \cdot \text{sen}\theta}$$

Na fórmula acima, as variáveis representam:

- μ - coeficiente de atrito do pedestre com a superfície;
- g - aceleração da gravidade em m/s²;
- d - distância total de projeção do pedestre, em metros, medida do sítio de colisão até a posição final do pedestre;
- θ - ângulo de projeção do pedestre.

Como o ângulo de projeção é de difícil obtenção através da análise dos vestígios do acidente, a equação original foi dividida em duas, com o objetivo de obter a velocidade máxima e mínima possível, para um ângulo desconhecido.

Conforme Searle e Searle (1983), a velocidade mínima ocorre quando $\mu = \tan\theta$. Nesse caso tem-se que:

$$V_{min} = \sqrt{\frac{2 \cdot \mu \cdot g \cdot d}{1 + \mu^2}}$$

Ainda conforme Searle e Searle (1983) a velocidade máxima é um pouco mais difícil de ser estabelecida, podendo ser demonstrado que:

$$V_{max} = \sqrt{2 \cdot \mu \cdot g \cdot d}$$

Porém, o tratamento inicial do método de Searle ignorava a diferença da altura do centro de gravidade do pedestre entre a posição inicial (pedestre normalmente em pé) e a posição final (pedestre normalmente deitado). Tal limitação foi corrigida na publicação de novo estudo em 1993: "The Physics of Throw Distance in Accident Reconstruction" (SEARLE, 1993). Este novo estudo teve ensaios experimentais e propôs uma nova fórmula, tendo como base a fórmula original, mas relacionando também a altura inicial do centro de gravidade do pedestre, da seguinte forma:

$$V_{proj} = \sqrt{\frac{2 \cdot \mu \cdot g (d_{proj} + \mu \cdot H)}{1 + \mu^2}}$$

Os componentes da fórmula proposta por Searle são descritos da seguinte forma:

- μ - coeficiente de atrito do pedestre com a superfície;
- g - aceleração da gravidade em m/s^2 ;
- d_{proj} - distância total de projeção do pedestre, em metros, medida do sítio de colisão até a posição final do pedestre;
- H - altura do centro de gravidade do pedestre, em metros.

A aplicação da fórmula resulta na velocidade de projeção do pedestre após a colisão. Entretanto, conforme observado por Searle, a velocidade do veículo é maior que esta. Isto é explicado pela dissipação de energia no momento da colisão através de deformações plásticas nos corpos, além de eventuais rotações e giros (normalmente do pedestre). Conforme os ensaios realizados por Searle, para obter o cálculo da velocidade real do veículo é necessário aplicar um fator de impacto à velocidade de projeção, para obter a velocidade real do veículo, conforme segue:

$$V_{veículo} = V_{proj} \cdot F_{impacto}$$

O fator de impacto proposto por Searle varia de acordo com o tipo do veículo atropelador (veículo de frente alta ou veículo de frente baixa) e pelo tipo da pessoa atropelada (adulto ou criança). Os fatores de impacto seguem abaixo:

	EP % Fator de impacto	Velocidade veículo
ADULTOS		
veículos com frente baixa	64,0%	$v_{veículo} = 1,5625 \cdot v_{arremesso}$
veículos com frente alta	74,4%	$v_{veículo} = 1,3441 \cdot v_{arremesso}$
CRIANÇAS		
veículos com frente baixa	72,7%	$v_{veículo} = 1,3755 \cdot v_{arremesso}$
veículos com frente alta	83,1%	$v_{veículo} = 1,2034 \cdot v_{arremesso}$

Figura 3. Tabela de fator de impacto
Fonte: ARAUJO e MACHADO, 2016

O cálculo da velocidade máxima, conforme proposto por Searle, será desprezado neste trabalho, em conformidade com o material da PRF/IFSC, pois o interesse da perícia é determinar seguramente a menor velocidade em que o veículo atropelador trafegava.

O método de Searle (assim como observado no método pelo rompimento do para-brisa) obtém a velocidade do veículo no momento em que ocorre a colisão com o pedestre, desprezando desacelerações ou frenagens anteriores. Caso haja vestígio de redução de velocidade antes da colisão com

o pedestre, é possível combinar o resultado deste cálculo com o método do princípio da conservação de energia para obter a velocidade inicial do veículo.

2.2 Softwares avaliados

Antes de proceder à especificação e implementação do software proposto neste trabalho, foi realizada avaliação de softwares existentes com características e funcionalidades similares.

A avaliação efetuada teve como objetivo analisar aspectos de implementação, funcionalidades, características gerais e facilidade de adoção, se fosse o caso.

2.2.1 Accident Reconstruction Calculator

O software em questão está disponível para plataforma Android. Dentre os aplicativos similares disponíveis para Android este é o que possui maior utilização (mais de 6.000 downloads entre a versão completa e a de demonstração) e uma boa avaliação por parte de usuários (nota 4 de um máximo de 5).

Accident Recon Calculator
MK Web Design & Apps Ferramentas ★★★★★ 30

Este app é compatível com todos os seus dispositivos.

Adicionar à Lista de desejos Comprar: R\$16,21

Accident Reconstruction Calculator Report

No-Reply Online Police Apps para mim

Accident Reconstruction Calculator Report
Agency: Teste
Name: Vitor

Minimum Speed Slide To Stop (Skid)
Distance (D) = 12 Meters
Drag Factor (f) = .66
Braking Percentage (n) = 90 Percent
Grade (m) = 2 Percent
Speed = 43.16 KPH
Velocity = 12.00 MPS

Online Police Apps
Accident Reconstruction Calculator
Note: All calculations should be verified manually prior to including any data in a report or use in court.

Figura 4. Aplicativo Accident Reconstruction Calculator
Fonte: <https://play.google.com/store> (acessado em 04/07/2017)

O aplicativo tem uma ótima biblioteca de cálculos, contando com grande

parte dos cálculos utilizados ao longo do curso de pós-graduação em perícia de acidentes de trânsito. O preenchimento dos formulários é intuitivo e prático (figura 4).

Além dos cálculos, o aplicativo oferece consulta a um banco de dados com especificações diversas de veículos (banco de dados aberto, disponibilizado por instituição canadense, contando com poucos modelos de veículos similares aos comercializados no Brasil).

O idioma do aplicativo é o inglês, dificultando a utilização em larga escala como ferramenta para perícia. A aplicativo possui uma versão gratuita de demonstração com dois tipos de cálculo disponíveis para testes. A versão completa custa o equivalente a R\$16,21 (preço verificado em 22/06/2017).

Existe possibilidade de exportação de relatório de cálculos através de envio por e-mail. Porém esse relatório (figura 4) é gerado com diagramação de difícil leitura e pobreza de dados, impossibilitando o uso num laudo pericial.

Como conclusão, entende-se que esta é uma boa ferramenta de apoio, mas que não supre as necessidades mínimas para uso em larga escala no Departamento de Polícia Rodoviária Federal.

2.2.2 SCTA - Speed calculations for traffic accidents

O SCTA foi elaborado por GURGEL, GOMES, FERREIRA e GESTER (2015). O software está disponível de forma gratuita em sítio da internet mantido pelo próprio autor.



Figura 5. Software SCTA

Fonte: <http://wpgurgel.wixsite.com/scta10> (acessado em 04/07/2017)

O software em questão pode ser executado em sistema operacional Windows/Microsoft. O uso é simples e intuitivo, através de um único menu com as opções de cálculo disponíveis (figura 5). A maior parte dos métodos de cálculo estudados na pós-graduação em perícia de acidentes de trânsito está disponível para uso (exemplo na figura 6). O fato do software ser em português facilita o uso.

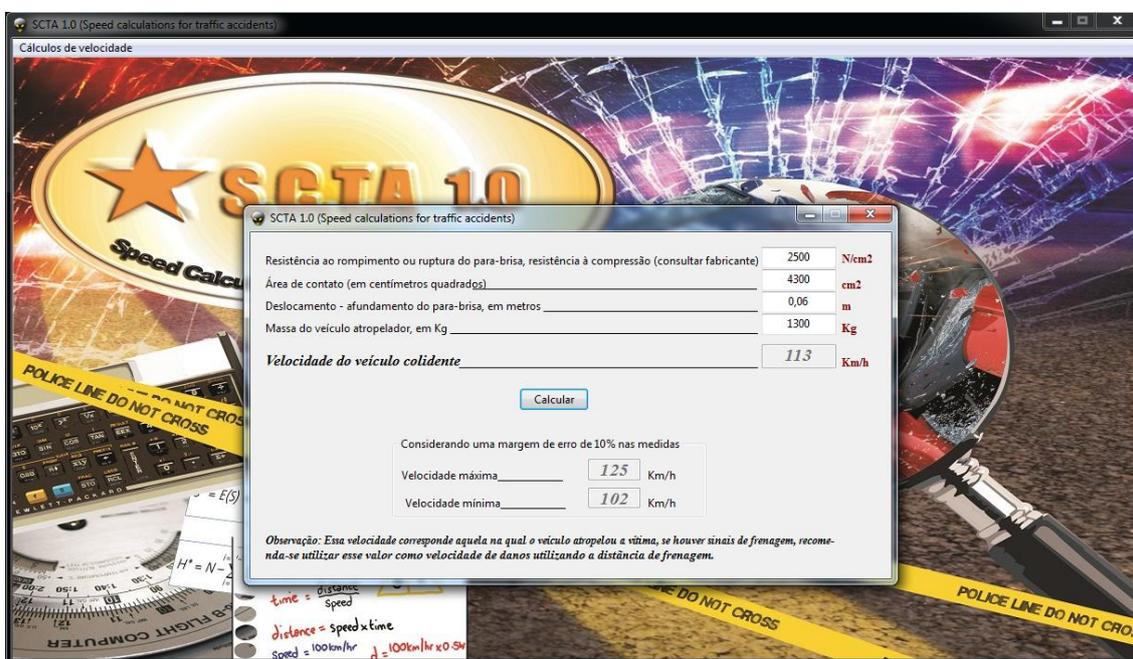


Figura 6. Exemplo de cálculo de velocidade pelo rompimento do para-brisa no SCTA

Fonte: <http://wpgurgel.wixsite.com/scta10> (acessado em 04/07/2017)

A grande limitação encontrada na utilização do software foi a inexistência

de opção de geração de relatórios ou qualquer tipo de exportação dos cálculos. Dessa forma a ferramenta tem sua utilização limitada à conferência de resultados, uma vez que não é possível produzir qualquer dado para inclusão direta no laudo pericial.

O SCTA é uma boa ferramenta de apoio, mas que não supre as necessidades para uso em larga escala como ferramenta para perícias no Departamento de Polícia Rodoviária Federal.

2.2.3 RACTT - Reconstructor analítico de colisiones de tránsito terrestre

O RACTT é um sistema online de uso profissional, especificado e indicado para uso por peritos. O sistema é pago através do uso de licenças anuais (preços que variam de R\$334,00 a R\$1.002,00 por usuário por ano, conforme verificado em 23/06/2017).

É uma ferramenta desenvolvida tendo como finalidade a utilização para perícia oficial de acidentes, sendo bastante completa, com uma grande biblioteca de cálculos (todos os métodos apresentados na pós graduação em perícia de acidentes de trânsito podem ser feitos utilizando o RACTT, conforme exemplo na figura 7).

The screenshot displays the RACTT web application interface. The main content area shows the equation for stopping distance:
$$s = \frac{V_0^2}{2 \cdot g \cdot \mu} + V_0 \cdot t_r$$
 under the heading "Distancia de frenado". Below the equation, there are buttons for "Referencia", a printer icon, and "calculo sin guardar".

The "Constantes" section includes a field for "Aceleración de gravedad" set to 9.81 [m/seg²].

The "Variable" section includes a table with the following data:

Variable	Valor	Unidad	Acción
Velocidad Inicial	[Vo] 60	[km/hr]	[Icon]
Tiempo de reacción	[tr] 0.75	[seg]	[Icon]
Coefficiente de fricción	[μ] 0.7	Sin unidad	[Icon]

On the right side, there is a sidebar with a list of calculation methods, including "1. Velocidad constante", "1.2. Velocidad por desaceleración simple", "4. Distancia en desaceleración", "5. Distancia de frenado", and "2. Espacio con Vel. constante". The "5. Distancia de frenado" option is currently selected.

Figura 7. Exemplo de utilização do RACTT

Fonte: <https://www.cifft.com/images/Ractt4.png> (acessado em 04/07/2017)

O software traz ainda uma extensa quantidade de tabelas (coeficientes de atrito, rigidez, etc) e explicações sobre o uso de cada tipo de cálculo.

É possível ainda salvar os cálculos realizados e utilizar resultados de cálculos previamente realizados como dado de entrada para realização de novos cálculos. A geração de relatórios e exportação de cálculos também está disponível.

O sistema, apesar de ser desenvolvido por empresa com sede na Argentina, está disponível também em língua portuguesa. Entretanto nos testes realizados percebeu-se que muitos termos ainda estão sem tradução, misturando os idiomas e dificultando o entendimento.

Por ser um sistema muito abrangente e por ser desenvolvido para os mais diversos tipos de perícia de acidentes, acaba por ser complexo, com muitas opções disponíveis. E essas opções não estão organizadas segundo algum critério que facilite a sua localização, tornando a utilização do sistema pouco intuitiva.

Na versão testada durante a fase presencial do curso de pós graduação em perícia de acidentes de trânsito foi constatado que o sistema organiza as opções de cálculo segundo modelos de fórmula e modelos matemáticos, ao invés de separar os cálculos por tipo de acidente. Dessa forma normalmente é necessário executar vários passos a fim de obter a velocidade.

A exportação dos cálculos que é gerada pelo sistema traz as fórmulas utilizadas e os resultados obtidos, sem o memorial de cálculo, o qual é necessário no laudo pericial. Além disso, conforme citado anteriormente, o uso do sistema através da seleção e aplicação de fórmulas torna os cálculos gerados desconexos, dificultando o entendimento.

O RACTT, apesar de possuir diversas funcionalidades desejadas num sistema para perícia ainda possui pontos que impedem a utilização em larga escala, além de possuir um preço superior às outras alternativas disponíveis.

2.2.4 AR Pro 10 - Accident Reconstruction Professional 10

O AR Pro 10 é um software disponível para Windows/Microsoft que assim como o RACTT foi criado com a finalidade de uso em perícias oficiais. A versão de testes totalmente funcional pode ser utilizada por até 15 dias e após

este período é necessário adquirir a licença única (R\$497,66 em 23/06/2017) para continuar a utilização.

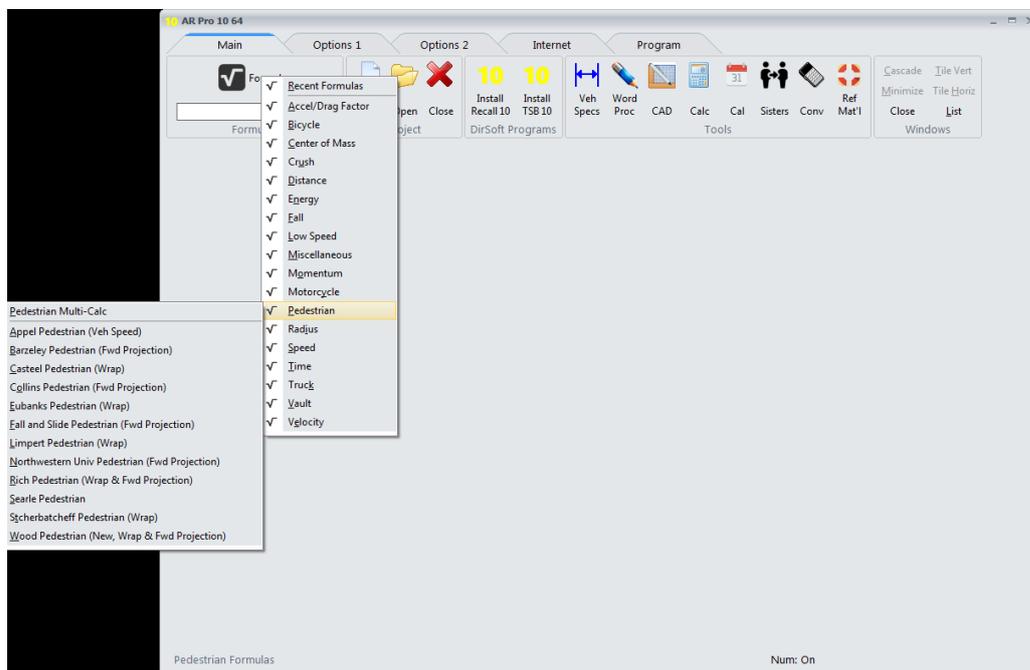


Figura 8. Opções de cálculo no AR Pro 10

Fonte: <https://www.dirigosoftware.com/> (acessado em 04/07/2017)

As opções de cálculo são bastante abrangentes e bem organizadas, facilitando a localização e aplicação dos métodos de cálculo (figura 8). O software em si é bastante intuitivo e de uso simples, permitindo a criação de projetos e inclusão de cálculos (figura 9), possibilitando salvar e editar as informações a qualquer tempo. É possível ainda consultar uma extensa base de dados veiculares, mantida pela empresa que produz o software.

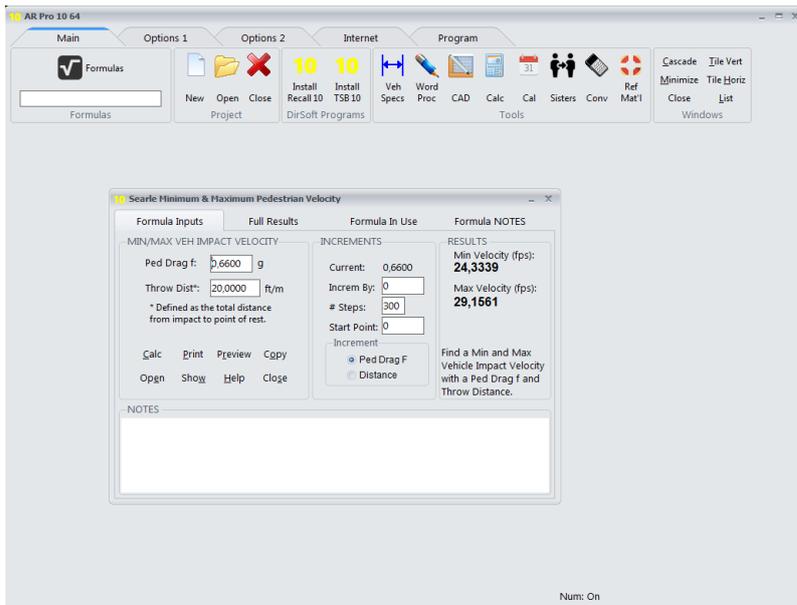


Figura 9. Exemplo de cálculo no AR Pro 10
 Fonte: <https://www.dirigosoftware.com/> (acessado em 04/07/2017)

Os cálculos realizados podem ser exportados e impressos, inclusive com geração de memorial de cálculo (figura 10) em formato de fácil entendimento, com demonstração passo a passo das operações realizadas.

Dentre os softwares avaliados este foi o que apresentou mais pontos positivos, tendo como pontos negativos o custo associado e o fato de estar disponível apenas em língua inglesa, dificultando o uso em larga escala.

Your Logo Here

Your Name
 Your Dept./Co
 Your Address
 Your City, State, Zip
 Your Phone
 Your E-Mail

SEARLE MIN & MAX PEDESTRIAN VELOCITY
 Find a Min and Max Vehicle Impact Velocity with a Ped Drag F and Throw Distance.

$$V_{min} = \sqrt{\frac{2 \times g \times f \times D}{1 + f^2}}$$

$$V_{min} = \sqrt{\frac{2 \times 32.2 \times 0.6600 \times 20,0000}{1 + 0.6600^2}}$$

$$V_{min} = \sqrt{\frac{850,0800}{1,4356}} \quad V_{min} = \sqrt{592,1426}$$

$$V_{min} = 24,3339$$

$$V_{max} = \sqrt{2 \times g \times f \times D}$$

$$V_{max} = \sqrt{2 \times 32.2 \times 0.6600 \times 20,0000}$$

$$V_{max} = \sqrt{850,0800} \quad V_{max} = 29,1561$$

Formula Inputs:
 The Acceleration/Drag Factor is: 0.6600
 The Throw Distance is: 20.0000

Formula Results:
 The Min Pedestrian Speed (mph) is: 16.5912
 The Min Pedestrian Velocity (fps) is: 24.3339
 The Max Pedestrian Speed (mph) is: 19.8791
 The Max Pedestrian Velocity (fps) is: 29.1561

Figura 10. Exemplo de memorial de cálculo gerado pelo AR Pro 10
 Fonte: <https://www.dirigosoftware.com/> (acessado em 04/07/2017)

2.2.5 Desenvolvimento de software próprio

Após avaliação de softwares existentes, decidiu-se pelo desenvolvimento de software próprio, com especificações de acordo com as necessidades do Departamento de Polícia Rodoviária Federal, com equipe de desenvolvimento composta por policiais e utilizando ferramentas e tecnologias já dominadas, visando facilitar a implementação e futuras melhorias.

Dessa forma se optou por utilizar um arquétipo derivado da PDI (parte diária informatizada), sistema já utilizado em larga escala pela grande maioria dos policiais da corporação. O autor do presente trabalho de conclusão faz parte da equipe de desenvolvedores da PDI desde o início do projeto, em 2013.

A linguagem de programação a ser utilizada é o PHP (<http://php.net>), uma linguagem de código aberto de uso geral, especialmente adequada para o desenvolvimento de aplicações web.

Para agilizar o desenvolvimento, possibilitar a reutilização de código e facilitar a padronização e a manutenção da aplicação, foi utilizado o framework Symfony (<http://symfony.com>). Framework que é um conjunto de componentes reutilizáveis e agrupados de forma organizada, provendo uma série de funcionalidades básicas desejáveis, como controle de formulários, camada de segurança, cache da aplicação, interação simplificada com banco de dados, entre outros.

O MySQL (<http://mysql.com>) foi escolhido como sistema de banco de dados para a aplicação por ser uma solução consolidada, de código aberto e com servidores de dados disponíveis dentro da infraestrutura do Departamento de Polícia Rodoviária Federal.

Para geração do memorial de cálculo foi utilizado o Latex (<http://www.latex-project.org>). O Latex pode ser definido como um conjunto de macros para diagramação de textos com um compilador que transforma esse conjunto de macros numa representação visual. Dessa forma optou-se por representar as fórmulas e equações através do conjunto de macros do Latex, utilizando a ferramenta de código aberto TEX₂IM (<http://www.nought.de/tex2im.php>) para transformar esse conjunto de macros em uma imagem que possa ser incluída facilmente nos laudos periciais.

Visando possibilitar a expansão do sistema, as classes da aplicação

foram definidas de forma modular, permitindo fácil inclusão de novos tipos de cálculo.

3 RESULTADOS DE PESQUISA

O software foi implementado satisfatoriamente, conforme especificações definidas neste trabalho. Por utilizar um arquétipo, a maioria das funcionalidades comuns a outros sistemas foi implementada executando apenas pequenos ajustes. Dessa forma o software implementado conta com:

- cadastro de usuários já sincronizado com o cadastro da base de recursos humanos do Departamento de Polícia Rodoviária Federal, utilizando autenticação e permissão própria do usuário;
- cadastro de unidades organizacionais já sincronizado com o sistema SERVO, provendo o cadastro atualizado das unidades;
- padrão de interface de acordo com o adotado nos demais sistemas da corporação, inclusive com suporte à responsividade (adaptação automática da interface para uso em dispositivos móveis);
- integração com o sistema FaleConosco, para exibição de avisos de caráter geral na tela inicial do sistema;
- acesso ao barramento de serviços/webservices do Departamento de Polícia Rodoviária Federal, possibilitando importar dados de acidentes já digitados no sistema de acidentes (BAT).

A tela para acesso ao sistema (figura 11) apresenta a identidade visual já presente nos demais sistemas da PRF. Por estar sincronizado ao banco de dados de usuários o acesso inicial é realizado com a senha já cadastrada para acesso aos demais sistemas.

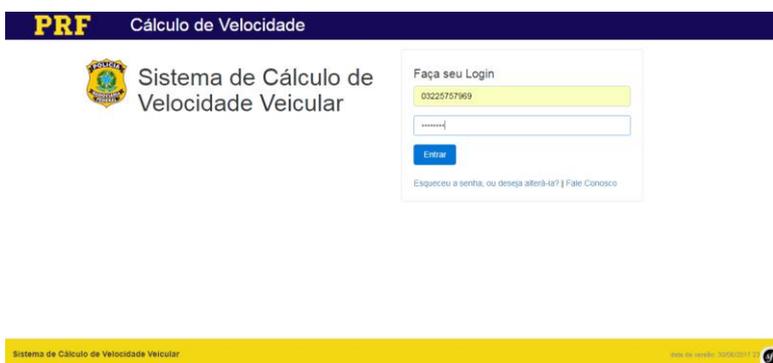


Figura 11. Tela inicial do sistema

Após efetuar o acesso ao sistema, é exibida a tela de boas vindas (figura 12), com integração ao sistema FaleConosco, responsável por agregar avisos diversos e por prover funcionalidade para requisição de suporte, quando necessário.

The screenshot shows the PRF system interface. At the top, there is a navigation bar with the PRF logo, a hamburger menu, the text 'Cálculo de Velocidade', and the user name 'Vitor Claudino dos Santos'. On the left, there is a sidebar menu with 'Perícias', 'Pesquisar', and 'Cadastros'. The main content area is titled 'Avisos' and contains two notification items. The first item, dated 30/06/2017, is a warning about changes in the BOP 2.0 system. The second item, also dated 30/06/2017, is a promotional banner for 'Novidades nos SISTEMAS PRF' with the text 'Ganha o policial, ganha toda a sociedade.'

Figura 12. Integração com o sistema FaleConosco para exibição de avisos

A funcionalidade "Perícias", listada no menu à esquerda, exibe a lista de perícias em aberto das quais o usuário que acessou o sistema é participante (figura 13), além de permitir incluir novas perícias

The screenshot shows the PRF system interface with the 'Perícias' section active. The main content area is titled 'Perícias' and contains a search bar and a '+ Incluir' button. Below this is a table with the following data:

Título	Unidade Organizacional	Processo SEI	Datahora	
Saída de pista em Agronômica/SC	8ª SRPRF/SC	12345.678901/2017-01	2017-01-29 10:00:00	[Icon]
Queda de motociclista - Areia Branca - SE	20ª SRPRF/SE	09672.000544/2017-27	2017-01-22 04:00:00	[Icon]
teste	8ª SRPRF/SC		2017-01-01 10:00:00	[Icon]
Teste - Atropelamento	DEL8/5	12345.612345/2017-22	2017-05-25 12:00:00	[Icon]

Below the table, it says 'Total = 4 registros'. At the bottom of the page, there is a footer with the text 'Sistema de Cálculo de Velocidade Veicular' and 'data de versão: 30/06/2017 22'.

Figura 13. Lista de perícias das quais o usuário participa

A tela que exibe os detalhes de cada perícia (figura 14) agrega informações diversas, como um título (definido livremente, para facilitar a identificação da perícia), data e hora do acidente, processo à que se refere a perícia, equipe de peritos, dados gerais do acidente (informação importada do sistema Boletim de Acidente de Trânsito - BAT), além de exibir cálculos já realizados e permitir incluir novos cálculos.

Encerrar perícia
Apagar
Exportar memorial de cálculo

Dados básicos Alterar dados básicos

Título	Unidade Organizacional	Processo SEI	Data/hora
Teste - Atropelamento	8ª SRPRF/SC - DEL. 05 - Delegacia de Lages	12345.612345/2017-22	25/05/2017 12:00:00

Criado por Claudino - 1515209, em 28/09/2017 17:48:20.

Servidores + Incluir servidor

Nome	Matrícula	Lotação	Responsável	
Claudino	1515209	DEL8/5	✓	✖

Dados do acidente Vincular BAT

- Protocolo: 17051860B01
- Localização
 - Município: SAO JOSE DO CERRITO/SC
 - UF: SC
 - BR: 282
 - Km: 267.00
 - Sentido da via: CRESCENTE
 - Tipo de via:
 - Tipo de pista:
- Tipo de acidente principal: Saída de leito carroçável
- Causa principal: Velocidade Incompatível
- Status: EM_PREENCHIMENTO
- Narrativa:
- Pedestres
- Cavaleiros
- Veículos
 - V1
 - Placa: DLU0235
 - Chassi: VF33CN6A83YD13903
 - Marca/Modelo: /PEUGEOT 307 PASSIO 16M
 - Cor: Cinza
 - Município: SAO JOSE/SC
 - País:
 - Tipo de emplacamento: NACIONAL
 - Tipo de veículo: AUTOMOVEL
 - Ocupantes

Cálculos + Incluir Cálculo

Nome	Tipo	Resultado	
Teste Rompimento 1	Atropelamento pelo rompimento do para-brisa	27,08 m/s	<div style="background-color: #007bff; color: white; padding: 2px 5px; border-radius: 5px;">+ Incluir Cálculo</div> <ul style="list-style-type: none"> <li style="background-color: #007bff; color: white; padding: 2px 5px; border-radius: 5px; margin-bottom: 2px;">Redução de velocidade <li style="background-color: #007bff; color: white; padding: 2px 5px; border-radius: 5px; margin-bottom: 2px;">Atropelamento - Para-brisa <li style="background-color: #007bff; color: white; padding: 2px 5px; border-radius: 5px;">Atropelamento - Searle
Método de SEARLE - Teste 1	Atropelamento - velocidade mínima por Searle	23,69 m/s	+

cia/calculo/atropelamento_parabrisa/8/new sf

Figura 14. Exibição dos dados de uma perícia. Integração com o sistema BAT

A inclusão e alteração de cálculos possui formulário definido de acordo com o tipo de cálculo selecionado (figura 15), necessitando da inclusão de todas as variáveis aplicáveis ao tipo de cálculo selecionado.

Figura 15. Inclusão ou alteração de um cálculo em uma perícia

O memorial de cálculo pode ser acessado após a inclusão das variáveis do cálculo. O memorial de cálculo é uma imagem digital (de extensão png - Portable Network Graphics), podendo ser salvo e incluído no laudo pericial (figura 16).

$$V_{proj} = \sqrt{\frac{2 \cdot \mu \cdot g \cdot (d_{proj} - \mu \cdot H)}{1 + \mu^2}}$$

$$V_{proj} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,75 \cdot 9,81 \cdot (25 - 0,75 \cdot 0,80)}{1 + 0,75^2}}$$

$$V_{proj} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,75 \cdot 9,81 \cdot (25 - 0,60)}{1 + 0,56}}$$

$$V_{proj} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,75 \cdot 9,81 \cdot 24,40}{1,56}}$$

$$V_{proj} = \sqrt{\frac{359,05}{1,56}}$$

$$V_{proj} = \sqrt{229,79}$$

$$V_{proj} = 15,16 \text{ m/s}$$

$$V_{veiculo} = V_{proj} \cdot F_{impacto}$$

$$V_{veiculo} = 15,16 \cdot 1,56$$

$$V_{veiculo} = 23,69 \text{ m/s} = 85,27 \text{ km/h}$$

Figura 16. Memorial de cálculo gerado pelo software

3.1 Comparação de resultados

A fim de avaliar os resultados obtidos na implementação do software, serão utilizados dois exemplos de Araujo e Machado (2016).

A primeira comparação diz respeito a um cálculo da velocidade pelo rompimento do para-brisa. A figura 17 é a reprodução do exemplo, enquanto a figura 18 é o memorial de cálculo obtido no software desenvolvido neste trabalho, utilizando para o cálculo os mesmos valores do exemplo.

Para complementar seu estudo e entendimento a respeito do tema, apresentaremos na sequência um exemplo de aplicação dos procedimentos utilizados para a realização dos cálculos necessários para a atividade de perícia diante de um atropelamento com quebra de parabrisa.

Um automóvel com massa de 1300 kg (dado obtido na ficha técnica do veículo) atinge um pedestre que, no momento da colisão, bate a cabeça no parabrisa do veículo atropelador, sendo lançado à frente. O Policial Rodoviário Federal, durante o levantamento do local, mediu no parabrisa um diâmetro aproximado de 60 cm de quebra e um afundamento de 6 cm. Identificado o fabricante do parabrisa, verificou-se que o vidro possui resistência limite de 250 kgf/cm². Calcule a velocidade do veículo atropelador.

Para resolver este problema, observe a resolução que segue.

1º Passo. Calcule a área de contato (área do círculo em cm²).

$$A = \pi r^2 = 3,14 \cdot (30)^2 = 2827,43 \text{ cm}^2$$

2º Passo. Aplique a equação e calcule a velocidade de rompimento do para-brisa utilizando o afundamento medido (em cm) e a resistência fornecida pelo fabricante.

$$V_{romp} = \sqrt{\frac{2 \cdot R \cdot A_c \cdot d}{m}}$$

$$V_{romp} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2500 \cdot 2827,43 \cdot 0,06}{1300}}$$

$$V_{romp} = 25,54 \text{ m/s}$$

Convertendo de (m/s) para (km/h), temos:

$$V_{romp} = 91,96 \text{ km/h}$$

Figura 17. Exemplo de cálculo de velocidade pelo rompimento do para-brisa
Fonte: ARAUJO E MACHADO, 2016

☰ **Cálculo de Velocidade**

✎ Alterando Cálculo

Velocidade do veículo pelo rompimento do para-brisa

Nome

Legenda

Resistência de ruptura (N/cm²)

Área de contato (cm²)

Afundamento (m)

Massa do veículo (kg)

Sistema de Cálculo de Velocidade Veicular
data de versão: 30/06/2017

$$V_{\text{rompimento}} = \sqrt{\frac{2 \cdot R \cdot A_c \cdot d}{m}}$$

$$V_{\text{rompimento}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2.500 \cdot 2.827,43 \cdot 0,06}{1.300}}$$

$$V_{\text{rompimento}} = \sqrt{\frac{848.229}{1.300}}$$

$$V_{\text{rompimento}} = \sqrt{652,48}$$

$$V_{\text{rompimento}} = 25,54 \text{ m/s} = 91,96 \text{ km/h}$$

Figura 18. Cálculo de velocidade pelo rompimento do para-brisa utilizando o software

A segunda comparação diz respeito a um cálculo da velocidade pelo método de Searle. A figura 19 é a reprodução do exemplo (retirado de um laudo pericial real), enquanto a figura 20 é o memorial de cálculo obtido no software desenvolvido neste trabalho, utilizando os mesmos valores do exemplo para realizar o cálculo.

Para complementar seu estudo, apresentaremos na sequência um exemplo de aplicação dos procedimentos utilizados pelo método de Searle. Para isso, vamos utilizar um caso real, que foi extraído do Laudo Pericial 1313081 da 20 SRPRF-SE de 07 de junho de 2013, representado pela Figura 12.

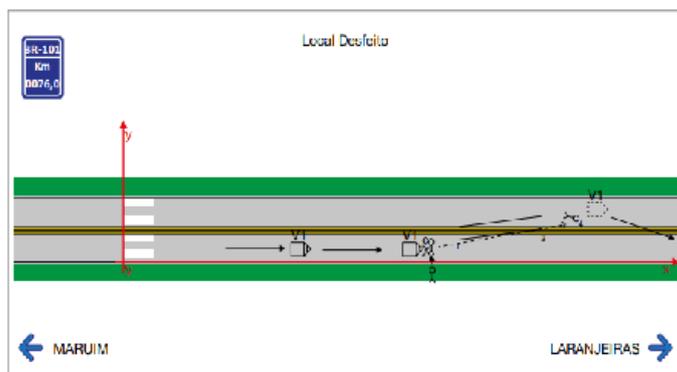


Figura 12 – Exemplo de ilustração de atropelamento apresentado em um caso real
Fonte: Arquivo da PRF (2013).

Do acidente em seu levantamento, demonstrado pela Figura 12, podemos extrair inicialmente que a distância de projeção da vítima foi de 27,2 m. Para o cálculo da velocidade de projeção do pedestre, deve ser aplicado o seguinte cálculo:

$$V_{\text{projeção}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \mu \cdot g \cdot (D_v - \mu \cdot H)}{1 + \mu^2}}$$

$$V_{\text{projeção}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,66 \cdot 9,81 \cdot (27,42 - 0,66 \cdot 1)}{1 + (0,66)^2}}$$

$$V_{\text{projeção}} = \sqrt{\frac{12,94 \cdot (26,76)}{1,4356}}$$

$$V_{\text{projeção}} = \sqrt{241,37}$$

$$V_{\text{projeção}} = 15,53 \text{ m/s}$$

A partir desse cálculo, obtemos o resultado em m/s, sendo necessária a conversão para km/h. Dessa forma, temos então que:

$$V_{\text{projeção}} = 55,92 \text{ km/h}$$

Contudo, o que queremos encontrar é a velocidade do veículo e não da projeção da vítima. Para isso, utilizamos o fator de impacto referente ao arremesso de pedestre, que apresentamos no Quadro 1. Dessa forma, considerando que o atropelamento foi com uma criança e o veículo possuía frente alta, temos a velocidade do veículo como 67,82 km/h. Observe a seguir o cálculo realizado para chegar a esse número:

$$V_{\text{veículo}} = 1,2 \cdot V_{\text{projeção}}$$

$$V_{\text{veículo}} = 67,82 \text{ km/h}$$

Figura 19. Exemplo de cálculo de velocidade pelo método de Searle
Fonte: ARAUJO e MACHADO, 2016

☰ Cálculo de Velocidade
🔔

✎ Alterando Cálculo

Atropelamento - velocidade mínima por Searle

Nome

Legenda

Coefficiente de atrito

Aceleração da gravidade (m/s²)

Distância de projeção (m)

Altura do centro de gravidade (m)

Tipo de pessoa

Tipo de veículo

Sistema de Cálculo de Velocidade Veicular
data de versão: 30/06/2017

$$V_{proj} = \sqrt{\frac{2 \cdot \mu \cdot g \cdot (d_{proj} - \mu \cdot H)}{(1 + \mu^2)}}$$

$$V_{proj} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,66 \cdot 9,81 \cdot (27,42 - 0,66 \cdot 1)}{(1 + 0,66^2)}}$$

$$V_{proj} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,66 \cdot 9,81 \cdot (27,42 - 0,66)}{(1 + 0,44)}}$$

$$V_{proj} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,66 \cdot 9,81 \cdot 26,76}{1,44}}$$

$$V_{proj} = \sqrt{\frac{346,52}{1,44}}$$

$$V_{proj} = \sqrt{241,38}$$

$$V_{proj} = 15,54 \text{ m/s}$$

$$V_{veiculo} = V_{proj} \cdot F_{impacto}$$

$$V_{veiculo} = 15,54 \cdot 1,20$$

$$V_{veiculo} = 18,70 \text{ m/s} = 67,31 \text{ km/h}$$

Figura 20. Cálculo de velocidade pelo método de Searle utilizando o software

Conforme pode se verificar ao comparar os cálculos, o resultado do cálculo da velocidade pelo rompimento do para-brisa resulta em valor exatamente igual no exemplo do livro e na resolução pelo software.

Já para o método de Searle, se observa uma pequena diferença entre os resultados. A diferença em questão é explicada pela maior exatidão proporcionada pelo uso do software, pois apesar da exibição do memorial de cálculo utilizar duas casas decimais, internamente os cálculos são realizados sem realizar arredondamentos, resultando assim em cálculos com menor margem de erro por arredondamentos.

4 CONCLUSÕES

A determinação da velocidade em que transitava um veículo envolvido em um acidente de trânsito é um importante fator para definir as causas do acidente e dentre os diversos tipos de acidente de trânsito o atropelamento ganha importância diante da alta letalidade.

Diante da complexidade dos cálculos e da necessidade de inclusão dos resultados e do memorial de cálculo no laudo pericial, fica evidente a necessidade de ferramentas de apoio para o trabalho do peritos em acidentes de trânsito. A avaliação de diversos softwares comerciais disponíveis para esse fim deixou claro que não há ferramenta que atenda todos requisitos de uso da PRF, além da inerente dificuldade de melhoria e personalização de softwares adquiridos de terceiros. Por este motivo optou-se pelo desenvolvimento de ferramenta própria para cálculo de velocidade em acidente de trânsito, com foco deste trabalho no acidente do tipo atropelamento.

O software desenvolvido como propósito deste trabalho atendeu às especificações e requisitos levantados, além de cumprir com o objetivo principal do trabalho assim como quase a totalidade dos objetivos específicos.

A ressalva fica por conta da ferramenta para geração do memorial de cálculo. O uso do Latex forçou a especificação manual de cada linha da resolução de cada tipo de fórmula do software. Dessa forma, quando se adiciona um novo tipo de cálculo, é necessário fazer o desenvolvimento da fórmula linha a linha para elaborar o novo tipo de memorial de cálculo. Na implementação do método de Searle, por exemplo, foi necessário escrever em formato Latex todas as dez linhas que são geradas no memorial de cálculo, executando ainda separadamente cada parcela do cálculo para que fosse possível a exibição da resolução passo a passo. Essa observação traz pequena dificuldade ao programador na inclusão de novos tipos de cálculo, mas não tem qualquer implicação para o usuário do sistema.

O desejável para a geração do memorial de cálculo é o uso ou elaboração de um componente capaz de resolver a equação passo a passo de forma automática, utilizando a ordem matemática de resolução de operações, de forma que seja preciso especificar somente a fórmula a ser resolvida.

4.1 Recomendações para trabalhos futuros

Como melhorias para trabalhos futuros, sugere-se:

- a geração do memorial de cálculo em tempo de execução, evitando gravação do arquivo de imagem no disco do servidor de aplicação;
- melhorias na exibição dos dados do acidente/BAT;
- possibilidade de integração com um banco de dados de características de veículos, possibilitando utilizar esses dados em fórmulas (a massa do veículo, por exemplo);
- criação de uma seção com tabelas de apoio, indexando coeficientes de atrito, tempos de reação e outros dados que são utilizados com frequência na elaboração dos cálculos do laudo pericial;
- possibilidade de edição do memorial de cálculo, para ajustes de interface, quebras de linha, ajustes de legendas, etc;
- avaliar o uso da biblioteca Wolfram|Alpha (<http://products.wolframalpha.com/api/>) para cálculo de equações e geração do memorial de cálculo;
- implementar funcionalidade para exportar todos os memoriais de cálculo de uma perícia através do botão "Exportar memorial de cálculo" (atualmente é necessário gerar os memoriais de cálculo um a um).

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Lino Leite de. **Manual de perícia em acidentes de trânsito**. 2.ed. Campinas/SP: Millenium Editora, 2014.

ARAGÃO, Ranvier Feitosa. **Acidentes de trânsito: Análise da prova pericial**. 6. ed. Campinas/SP: Millenium Editora, 2016.

ARAUJO, Adriano Xavier; MACHADO, Wagner Ribeiro. **Física aplicada à perícia de acidentes de trânsito**: módulo II. Florianópolis: Publicações do IFSC, 2016.

DALPERIO, Adilson Briguenti; DAMASCENO, Tércio Silva; SILVA, Wilson Ferreira da. **Elaboração de laudo pericial**: módulo II. Florianópolis: Publicações do IFSC, 2016.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre/RS: UAB/UFRGS, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GURGEL, W.P.; GOMES, L.M.; FERREIRA, F.C.L.; GESTER, R.M. Cálculo de velocidades em acidentes de trânsito: **Um software para investigação em física forense**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 4, 4305, 2015.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. Relatório de pesquisa: **Acidentes de trânsito nas rodovias federais brasileiras - caracterização, tendências e custos para a sociedade**. Brasília, 2015.

MySQL: **The world's most popular open source database**. Disponível em <<http://www.mysql.com>>. Acesso em 04/07/2017.

NEGRINI NETO, O. N.; KLEINÜBING, R. **Dinâmica dos acidentes de trânsito - análise, reconstruções e prevenção**. 2.ed. Campinas/SP: Millenium, 2006.

PHP: Hypertext Preprocessor. Disponível em <<http://www.php.net>>. Acesso em 04/07/2017.

SEARLE, John A.; SEARLE, Angela. **The Trajectories of Pedestrians, Motorcycles, Motorcyclists, etc., Following a Road Accident**. SAE Technical Paper 831622, 1983. Disponível em: <<http://papers.sae.org/831622/>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

SEARLE, John A. **The Physics of Throw Distance in Accident Reconstruction**. SAE Technical Paper 930659, 1993. Disponível em: <<http://papers.sae.org/930659/>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

The Symfony Framework. Disponível em <<http://symfony.com>>. Acesso em 04/07/2017.

TEX₂IM. Disponível em: <<http://www.nought.de/tex2im.php>>. Acesso em 25/06/2017.

The LaTeX3 Project. Disponível em: <<https://www.latex-project.org/latex3/>>. Acesso em 25/06/2017.

APÊNDICE A – CÓDIGO FONTE

Abaixo seguem as especificações das entidades/classes principais modelados para a realização dos cálculos da velocidade pelo rompimento do para-brisa e pelo método de Searle. O código-fonte completo, com as demais entidades, controladores e interface do sistema não será incluído por questões de limitação de espaço (seriam necessárias pelo menos mais algumas centenas de páginas).

```

Arquivo: Entity\CalculoAtropelamentoParabrisa.php
<?php

namespace Prf\EpdBundle\Entity;

use Doctrine\ORM\Mapping as ORM;
use Prf\EpdBundle\Entity\Calculo;
use Prf\EpdBundle\Lib\Globals;
use Prf\EpdBundle\Lib\Util;

/**
 * @ORM\Entity
 * @ORM\Table(name="tbl_CalculoAtropelamentoParabrisa")
 */
class CalculoAtropelamentoParabrisa extends Calculo
{
    /**
     * @ORM\Id
     * @ORM\Column(name="id", type="integer", nullable=false)
     */
    private $id;

    /**
     * @ORM\Column(type="decimal", precision=7, scale=1, name="resistencia")
     */
    protected $resistenciaRuptura;

    /**
     * @ORM\Column(type="decimal", precision=8, scale=3, name="area")
     */
    protected $areaContato;

    /**
     * @ORM\Column(type="decimal", precision=5, scale=4, name="afundamento")
     */
    protected $afundamento;

    /**
     * @ORM\Column(type="decimal", precision=7, scale=1, name="massa")
     */
    protected $massa;

    /**
     * @ORM\Column(name="velocidadeFinal", type="decimal", precision=10, scale=3)
     */
    protected $velocidadeFinal = 0;

    /**
     * @ORM\ManyToOne(targetEntity="Calculo")

```



```
        return $this;
    }

    /**
     * Set resistenciaRuptura
     *
     * @param string $resistencia
     * @return AtropelamentoParabrisa
     */
    public function setResistenciaRuptura($resistencia)
    {
        $this->resistenciaRuptura = $resistencia;

        return $this;
    }

    /**
     * Get resistenciaRuptura
     *
     * @return string
     */
    public function getResistenciaRuptura()
    {
        return $this->resistenciaRuptura;
    }

    /**
     * Set areaContato
     *
     * @param string $area
     * @return AtropelamentoParabrisa
     */
    public function setAreaContato($area)
    {
        $this->areaContato = $area;

        return $this;
    }

    /**
     * Get areaContato
     *
     * @return string
     */
    public function getAreaContato()
    {
        return $this->areaContato;
    }

    /**
     * Set afundamento
     *
     * @param string $afundamento
     * @return AtropelamentoParabrisa
     */
    public function setAfundamento($afundamento)
    {
        $this->afundamento = $afundamento;

        return $this;
    }

    /**
     * Get afundamento
     *
     * @return string
     */
```

```

public function getAfundamento()
{
    return $this->afundamento;
}

/**
 * Set massa
 *
 * @param string $massa
 * @return AtropelamentoParabrisa
 */
public function setMassa($massa)
{
    $this->massa = $massa;

    return $this;
}

/**
 * Get massa
 *
 * @return string
 */
public function getMassa()
{
    return $this->massa;
}

/**
 * Set velocidadeFinalCalculo
 *
 * @param \Prf\EpdBundle\Entity\Calculo $velocidadeFinalCalculo
 * @return CalculoAtropelamentoParabrisa
 */
public function setVelocidadeFinalCalculo(\Prf\EpdBundle\Entity\Calculo $velocidadeFinalCalculo =
null)
{
    $this->velocidadeFinalCalculo = $velocidadeFinalCalculo;
    $this->velocidadeFinal = $velocidadeFinalCalculo->getResultado();

    return $this;
}

/**
 * Get velocidadeFinalCalculo
 *
 * @return \Prf\EpdBundle\Entity\Calculo
 */
public function getVelocidadeFinalCalculo()
{
    return $this->velocidadeFinalCalculo;
}

public function getVelocidadeFinalFormatted() {
    return Util::formatarNumero($this->velocidadeFinal);
}

public function getResistenciaRupturaFormatted() {
    return Util::formatarNumero($this->resistenciaRuptura);
}

public function getAreaContatoFormatted() {
    return Util::formatarNumero($this->areaContato);
}

public function getAfundamentoFormatted() {
    return Util::formatarNumero($this->afundamento);
}

```

```

    }

    public function getMassaFormatted() {
        return Util::formatarNumero($this->massa);
    }
}

```

Arquivo: Entity\CalculoAtropelamentoSearleMinimo.php

```

<?php

namespace Prf\EpdBundle\Entity;

use Doctrine\ORM\Mapping as ORM;
use Prf\EpdBundle\Entity\Calculo;
use Prf\EpdBundle\Lib\Globals;
use Prf\EpdBundle\Lib\Util;

/**
 * @ORM\Entity
 * @ORM\Table(name="tbl_CalculoAtropelamentoSearleMinimo")
 */
class CalculoAtropelamentoSearleMinimo extends Calculo
{
    /**
     * @ORM\Id
     * @ORM\Column(name="id", type="integer", nullable=false)
     */
    private $id;

    /**
     * @ORM\Column(type="decimal", precision=3, scale=3, name="coeficiente")
     */
    protected $coeficienteAtrito;

    /**
     * @ORM\Column(name="distanciaProjecao", type="decimal", precision=10, scale=2)
     */
    protected $distanciaProjecao;

    /**
     * @ORM\Column(name="alturaCentroGravidade", type="decimal", precision=3, scale=2)
     */
    protected $alturaCentroGravidade;

    /**
     * @ORM\Column(name="gravidade", type="decimal", precision=4, scale=3, options={"default" : 9.81})
     */
    protected $gravidade = 9.81;

    /**
     * 0: Adulto, 1: Criança
     *
     * @ORM\Column(name="tipoPessoa", type="smallint", options={"default" : 0})
     */
    protected $tipoPessoa = 0;

    /**
     * 0: Frente alta, 1: Frente baixa
     *
     * @ORM\Column(name="tipoVeículo", type="smallint", options={"default" : 0})
     */
    protected $tipoVeiculo = 0;

    /**
     * @ORM\ManyToOne(targetEntity="Calculo")

```

```

* @ORM\JoinColumn(name="fk_Calculo", nullable=true)
*/
private $velocidadeFinalCalculo;

public function __construct() {}

public function getTipo() {
    return "Atropelamento - velocidade mínima por Searle";
}

public function getCodigoTipoCalculo() {
    return "AS";
}

public function getResultadoFormatted() {
    $temp = Util::formatarNumero($this->resultado, 2);
    return "$temp m/s";
}

public function calcula() {
    $velocidadeProjecao = sqrt((2*$this->coeficienteAtrito*$this->gravidade*($this->distanciaProjecao-
$this->coeficienteAtrito*$this->alturaCentroGravidade))/(1+$this->coeficienteAtrito*$this-
>coeficienteAtrito));
    $this->resultado = $this->getFatorImpacto()*$velocidadeProjecao;
}

/**
 * Função abstrata onde é feita a exportação dos cálculos.
 * Cada classe filha deve implementar essa função.
 * @return string[] O retorno deve ser as fórmulas em formato LaTeX
 */
public function memorialDeCalculos() {

    $retorno = array();
    $resultado = Util::formatarNumero($this->resultado);
    $resultadoEmKm = Util::formatarNumero($this->resultado * 3.6);
    $velocidadeFinal = $this->getVelocidadeFinalFormatted();
    $gravidade = $this->getGravidadeFormatted();
    $coeficienteAtrito = $this->getCoeficienteAtritoFormatted();
    $distanciaProjecao = $this->getDistanciaProjecaoFormatted();
    $alturaCentroGravidade = $this->getAlturaCentroGravidadeFormatted();
    $fatorImpacto = $this->getFatorImpactoFormatted();
    $parcelaHMu = Util::formatarNumero($this->coeficienteAtrito*$this->alturaCentroGravidade);
    $parcelaMuMu = Util::formatarNumero($this->coeficienteAtrito*$this->coeficienteAtrito);
    $parcelaDprojHMu = Util::formatarNumero($this->distanciaProjecao-$this->coeficienteAtrito*$this-
>alturaCentroGravidade);
    $parcelaDenominador = Util::formatarNumero(1 + $this->coeficienteAtrito*$this->coeficienteAtrito);
    $parcelaNumerador = Util::formatarNumero(2*$this->coeficienteAtrito*$this->gravidade*($this-
>distanciaProjecao-$this->coeficienteAtrito*$this->alturaCentroGravidade));
    $parcelaFinal = Util::formatarNumero( (2*$this->coeficienteAtrito*$this->gravidade*($this-
>distanciaProjecao-$this->coeficienteAtrito*$this->alturaCentroGravidade))/(1 + $this-
>coeficienteAtrito*$this->coeficienteAtrito) );
    $parcelaProjecao = Util::formatarNumero(sqrt( (2*$this->coeficienteAtrito*$this->gravidade*($this-
>distanciaProjecao-$this->coeficienteAtrito*$this->alturaCentroGravidade))/(1 + $this-
>coeficienteAtrito*$this->coeficienteAtrito) ));

    $retorno[] = "V_{proj}=\sqrt{\frac{2 \cdot \mu \cdot g \cdot (d_{proj} - \mu \cdot H)}{(1+\mu^2)}}";
    $retorno[] = "V_{proj}=\sqrt{\frac{2 \cdot \text{\$coeficienteAtrito} \cdot \text{\$gravidade} \cdot (d_{proj} - \text{\$coeficienteAtrito} \cdot \text{\$alturaCentroGravidade})}{(1+\text{\$coeficienteAtrito}^2)}}";
    $retorno[] = "V_{proj}=\sqrt{\frac{2 \cdot \text{\$coeficienteAtrito} \cdot \text{\$gravidade} \cdot (d_{proj} - \text{\$parcelaHMu})}{(1+\text{\$parcelaMuMu})}}";
    $retorno[] = "V_{proj}=\sqrt{\frac{2 \cdot \text{\$coeficienteAtrito} \cdot \text{\$gravidade} \cdot \text{\$parcelaDprojHMu}}{\text{\$parcelaDenominador}}";
    $retorno[] = "V_{proj}=\sqrt{\frac{\text{\$parcelaNumerador}}{\text{\$parcelaDenominador}}";
    $retorno[] = "V_{proj}=\sqrt{\text{\$parcelaFinal}}";
    $retorno[] = "V_{proj}=\text{\$parcelaProjecao} m/s";
}

```

```

$retorno[] = "\\";
$retorno[] = "V_{ $this->legenda }=V_{proj} \\cdot F_{impacto}";
$retorno[] = "V_{ $this->legenda }=$parcelaProjecao \\cdot $fatorImpacto";
$retorno[] = "V_{ $this->legenda }=$resultado\\ m/s = $resultadoEmKm\\ km/h";

return $retorno;
}

public function __toString() {
return "Atropelamento - velocidade mínima por Searle";
}

/**
 * Set id
 *
 * @param integer $id
 * @return AtropelamentoSearleMinimo
 */
public function setId($id)
{
    $this->id = $id;
    return $this;
}

/**
 * Set coeficiente
 *
 * @param string $coeficiente
 * @return AtropelamentoSearleMinimo
 */
public function setCoeficienteAtrito($coeficiente)
{
    $this->coeficienteAtrito = $coeficiente;
    return $this;
}

/**
 * Get coeficiente
 *
 * @return string
 */
public function getCoeficienteAtrito()
{
    return $this->coeficienteAtrito;
}

/**
 * Set distanciaProjecao
 *
 * @param string $distanciaProjecao
 * @return AtropelamentoSearleMinimo
 */
public function setDistanciaProjecao($distanciaProjecao)
{
    $this->distanciaProjecao = $distanciaProjecao;
    return $this;
}

/**
 * Get distanciaProjecao
 *
 * @return string
 */
public function getDistanciaProjecao()
{
    return $this->distanciaProjecao;
}

```

```
/**
 * Set alturaCentroGravidade
 *
 * @param string $alturaCentroGravidade
 * @return AtropelamentoSearleMinimo
 */
public function setAlturaCentroGravidade($alturaCentroGravidade)
{
    $this->alturaCentroGravidade = $alturaCentroGravidade;
    return $this;
}

/**
 * Get alturaCentroGravidade
 *
 * @return string
 */
public function getAlturaCentroGravidade()
{
    return $this->alturaCentroGravidade;
}

/**
 * Set gravidade
 *
 * @param string $gravidade
 * @return AtropelamentoSearleMinimo
 */
public function setGravidade($gravidade)
{
    $this->gravidade = $gravidade;
    return $this;
}

/**
 * Get gravidade
 *
 * @return string
 */
public function getGravidade()
{
    return $this->gravidade;
}

/**
 * Set tipoPessoa
 *
 * @param integer $tipoPessoa
 * @return CalculoAtropelamentoSearleMinimo
 */
public function setTipoPessoa($tipoPessoa)
{
    $this->tipoPessoa = $tipoPessoa;
    return $this;
}

/**
 * Get tipoPessoa
 *
 * @return integer
 */
public function getTipoPessoa()
{
    return $this->tipoPessoa;
}
}
```

```

public function getTipoPessoaFormatted()
{
    $desc = Globals::getTiposPessoa();
    return (isset($desc[$this->tipoPessoa]) ? $desc[$this->tipoPessoa] : "");
}

/**
 * Set tipoVeiculo
 *
 * @param integer $tipoVeiculo
 * @return CalculoAtropelamentoSearleMinimo
 */
public function setTipoVeiculo($tipoVeiculo)
{
    $this->tipoVeiculo = $tipoVeiculo;
    return $this;
}

/**
 * Get tipoVeiculo
 *
 * @return integer
 */
public function getTipoVeiculo()
{
    return $this->tipoVeiculo;
}

public function getTipoVeiculoFormatted()
{
    $desc = Globals::getTiposVeiculo();
    return (isset($desc[$this->tipoVeiculo]) ? $desc[$this->tipoVeiculo] : "");
}

/**
 * Set velocidadeFinalCalculo
 *
 * @param \Prf\EpdBundle\Entity\Calculo $velocidadeFinalCalculo
 * @return CalculoAtropelamentoSearleMinimo
 */
public function setVelocidadeFinalCalculo(\Prf\EpdBundle\Entity\Calculo $velocidadeFinalCalculo =
null)
{
    $this->velocidadeFinalCalculo = $velocidadeFinalCalculo;
    $this->velocidadeFinal = $velocidadeFinalCalculo->getResultado();

    return $this;
}

/**
 * Get velocidadeFinalCalculo
 *
 * @return \Prf\EpdBundle\Entity\Calculo
 */
public function getVelocidadeFinalCalculo()
{
    return $this->velocidadeFinalCalculo;
}

public function getFatorImpacto() {
    if ( ($this->tipoPessoa==0)&&($this->tipoVeiculo==0) ) {
        //Adulto + Veículo com frente alta
        return 1.3441;
    } else if ( ($this->tipoPessoa==0)&&($this->tipoVeiculo==1) ) {
        //Adulto + Veículo com frente baixa
        return 1.5625;
    }
}

```

```
} else if ( ($this->tipoPessoa==1)&&($this->tipoVeiculo==0) ) {
    //Criança + Veículo com frente alta
    return 1.2034;
} else if ( ($this->tipoPessoa==1)&&($this->tipoVeiculo==1) ) {
    //Criança + Veículo com frente baixa
    return 1.3755;
} else {
    exit("erro: fator de impacto desconhecido");
}
}

public function getFatorImpactoFormatted() {
    return Util::formatarNumero($this->getFatorImpacto());
}

public function getVelocidadeFinalFormatted() {
    return Util::formatarNumero($this->velocidadeFinalCalculo);
}

public function getGravidadeFormatted() {
    return Util::formatarNumero($this->gravidade);
}

public function getCoeficienteAtritoFormatted() {
    return Util::formatarNumero($this->coeficienteAtrito);
}

public function getDistanciaProjecaoFormatted() {
    return Util::formatarNumero($this->distanciaProjecao);
}

public function getAlturaCentroGravidadeFormatted() {
    return Util::formatarNumero($this->alturaCentroGravidade);
}
}
```