

Análise de Métricas de Avaliação com o Simulador TORCS para Desenvolvimento de Controladores de Veículos Autônomos

Fábio Costa Farias Marques
Departamento de Ciência da Computação
Universidade de Brasília
Brasília, Distrito Federal
Email: fabio.cmarques@hotmail.com

Resumo—O ambiente competitivo do SCRC resultou no surgimento dos mais diferentes pilotos autônomos. Considerando que controladores mais adaptados a uma pista possuem mais vitórias e melhores colocações e de forma a selecionar o melhor piloto para uma pista específica, foi buscada uma medida de dificuldade para classificá-las. Através das características do XML da pista, foram buscadas relações e características que tivessem comportamento monotônico condizente ao das fontes de pesquisa, resultando na descoberta de que o número de curvas de uma pista é tão maior quanto sua dificuldade.

Index Terms—TORCS, Métricas, SCRC, XML, PCG, Pistas, Controles.

I. INTRODUÇÃO

As aplicações de Inteligência Artificial no cotidiano são inúmeras, desde sistemas autônomos que buscam realizar reconhecimento facial [12], tentativas de previsão da força do vento [10] e até direção automática para os carros, artifício que seria de extrema utilidade para a locomoção de pessoas que possuem algum tipo de limitação e consequente dificuldade em pilotar, por exemplo. Com o objetivo de avaliar tais técnicas no âmbito científico e fomentar seu desenvolvimento, competições acadêmicas foram criadas, e dentre elas o SCRC (“*Simulated Car Racing Championship*”), a qual teve seu software baseado no simulador “*The Open Racing Car Simulator*” e é sediada por conferências da IEEE, que é uma das maiores e mais prestigiadas organizações do ramo de engenharia e computação do mundo. Em tal campeonato, controles autônomos modelados com as mais diversas técnicas e de diferentes funcionamentos são avaliados em ambientes, neste caso pistas, previamente desconhecidos, com o objetivo de encontrar o de melhor performance e respostas a estímulos, sendo que somente um conjunto de dados relacionados a seu estado atual são passadas a eles, o que simula um ambiente real, no qual as informações disponíveis são limitadas.

Artigos como [7] demonstram que os controles evoluídos ou adaptados para um certo tipo de pista, seja utilizando algoritmos genéticos, redes neurais ou outra forma de otimização, demonstraram desempenho superior aos que não tiveram, tornando tal recurso um valioso método de melhora de performance. No SCRC as pistas que serão utilizadas são reveladas

somente durante o evento, fazendo com que o treinamento dos controles participantes, caso exista, seja feito com os diversos tipos de pistas existentes. Visto que nas corridas definitivas configurações diferentes para os pilotos podem ser definidas, a partir, por exemplo, da volta de reconhecimento, métricas para caracterizar a pista poderiam ser aplicadas aos dados adquiridos, auxiliando na seleção da configuração de melhor performance, dados os perfis das pistas, tornando-as ferramentas imprescindíveis para a aquisição de melhores resultados na competição.

A Universidade da Brasília teve um representante na edição de 2015 do SCRC², o piloto “FSMDriver³”. Ele foi desenvolvido a partir de uma máquina de estados, juntamente com algoritmos genéticos, que foram aplicados a seus parâmetros objetivando ajustá-los para se obter melhor performance. Em tal campeonato, os brasileiros ficaram com a quarta colocação. Partindo de tal contexto, uma das motivações do projeto é contribuir para a melhora da performance de tal controle, à priori tentando buscar relações entre as características da pista e sua dificuldade, de forma a orientar a evolução dos pilotos fazendo uso de tal fator. No campeonato há uma fase de reconhecimento da pista e a corrida definitiva. No aquecimento é permitido fazer com que um piloto adquira as informações das retas e curvas que a compõe, tornando possível uma pré-avaliação da pista, e para esta, de acordo com as regras da competição, é legal a seleção, dentre aquelas devidamente inscritas, de uma das configurações de pilotos desenvolvidas pela equipe. A utilização de métricas aplicadas aos dados conseguidos iria auxiliar na seleção do piloto mais adaptado para um dado perfil de pista, proporcionando melhores resultados na competição.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A contextualização com o ambiente competitivo e técnicas de IA de desenvolvimento de pilotos se deu com a leitura dos artigos [1][8][5][3][11][9] e também com o manual dos softwares envolvidos. Deste modo é possível destacar os seguintes tópicos, severamente explorados na pesquisa:

²SCRC 2015. Website: <http://cs.adelaide.edu.au/optlog/SCR2015/>

³<https://github.com/bruno147/fsmdriver>



Figura 1: Imagem de uma corrida do TORCS. Disponível em ¹.

A. TORCS e SCRC

O TORCS (*"The Open Racing Car Simulator"*) é um simulador de corridas estado da arte de código aberto. Tal programa é amplamente utilizado por pesquisadores na área de inteligência computacional para testes, pelo fato de fornecer uma ambiente que permite alta customização, visualização 3D das corridas e também um modelo físico robusto que leva em conta diversos aspectos como aerodinâmica, colisões e derrapagem. O TORCS também possui alta diversidade em suas pistas, modelos de carros e também permite que controles com acesso ao estado completo do jogo, desenvolvidos pelos usuários, sejam adicionados ao jogo para competirem com jogadores e/ou outros pilotos.

De modo a avaliar controles montados fazendo uso das mais diversas técnicas de inteligência artificial e tomadas de decisão, um software para uma competição científica foi desenvolvido tendo como base o TORCS. Nele, a relação entre o jogo e os pilotos passou a ser do tipo cliente-servidor, a qual limita a um conjunto específico e não variável as informações fornecidas aos controles, captadas a partir dos sensores disponíveis em cada carro. Além disso a simulação é feita em tempo real, sendo que os controles devem responder em um tempo limite, fazendo com que a ação anterior do piloto seja tomada, caso não haja resposta dentro do limite. Até hoje foram feitos pilotos a partir estratégias como máquinas de estados finitos, lógica difusa, além da utilização técnicas de aprendizado como redes neurais. Tal ambiente competitivo fomenta a pesquisa em áreas nas quais técnicas de inteligência

artificial, por exemplo, podem ser empregadas, inclusive no mundo físico, por exemplo no desenvolvimento de carros que não necessitam de pilotos.

Todas as pistas do TORCS, assim como as utilizadas no SCRC, que são o objetivo desta pesquisa possuem suas características e estrutura armazenadas em arquivos de extensão XML.

B. Extensão XML

A linguagem XML (do inglês, Linguagem de Marcação Extensiva) foi criada com o objetivo de organizar e padronizar dados virtuais, de modo a desvincular ao máximo informações de programas específicos. Tais arquivos são basicamente compostos por tags ou marcações, que são definidas pelo seu iniciador, atributos (elemento opcional), valores e finalizador. O iniciador é o elemento que define o nome da marcação, no formato: "<nome-da-tag>", sendo que tal nome é sempre a primeira sequência de símbolos alfanuméricos não separados por espaço após o caractere "<". O finalizador é definido pelo nome da marcação precedido por uma barra comum, tal conjunto entre os caracteres "<" e ">", da seguinte forma: "</nome-da-tag>". Todo o conteúdo composto por letras e números presente no escopo definido entre o início e o final de uma marcação é chamado de valor. É possível iniciar e finalizar uma tag com um único comando, fazendo com que ela não tenha valores, simplesmente adicionando o caractere "/" antes de ">" na marcação de início, eliminando a necessidade

³Imagens do TORCS: <https://sourceforge.net/projects/torcs/#screenshots>

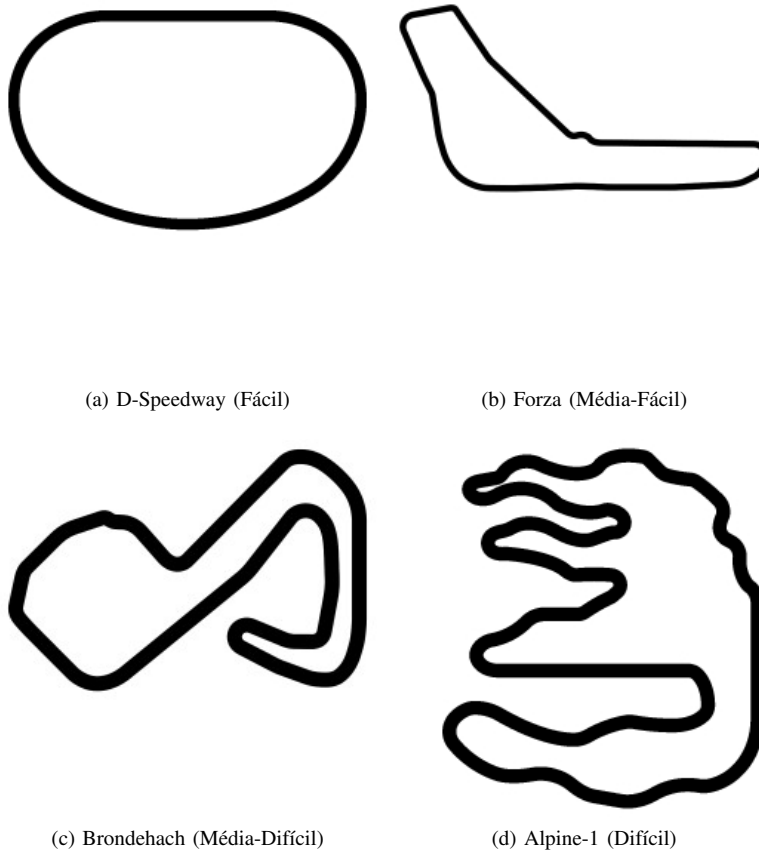


Figura 2: Pistas pré classificadas.

do finalizador. É permitido criar tags intermediárias dentro de outras, sendo que sempre deve ser seguida a regra de que uma marcação deve ser aberta e fechada no mesmo escopo. Além de tais componentes, existem os atributos, que são elementos definidos por seu nome seguido de um caractere “=” e conteúdo, sempre entre aspas duplas, seguindo a seguinte formatação: “<nome-da-tag nome-do-atributo=“conteúdo do atributo”>”. As marcações podem ter mais de um atributo.

A flexibilidade de tal linguagem surge do fato de que o usuário pode definir os nomes, conteúdos e até mesmo marcações intermediárias de seu arquivo, fazendo com que possam ser organizadas informações das mais diversas complexidades. A partir da formatação de construção de um arquivo XML, é possível lê-lo e escrever outros semelhantes, seguindo seu padrão de construção.

C. FSMDriver

O FSMDriver⁴ é um controlador para o SCRC desenvolvido pelo Departamento de Ciência da Computação da Universidade de Brasília (UnB). Fazendo uso da técnica de máquinas de estados finitos, a qual possui o princípio de limitar as possíveis situações do piloto a partir das informações recebidas por seus sensores ao número de estados do modelo

utilizado, ele foi projetado de modo que esteja em somente um estado em qualquer instante de tempo de acordo com [2]. Tal arquitetura foi escolhida com o propósito de dividir o desafio completo da direção no simulador em outros menores, sendo eles as possíveis situações que o piloto possa se encontrar, oriunda do conceito “dividir para conquistar” aplicado à área computacional.

Algoritmos genéticos também são aplicados ao controlador da Universidade de Brasília, de modo a selecionar nos processos evolutivos a configuração do piloto de maior desempenho nas pistas. Entretanto ainda não há uma orientação a essa otimização, ou seja, o piloto é treinado com objetivo de se obter alto desempenho em qualquer tipo de pista. De modo a segmentar tal processo de otimização, versões deste mesmo controlador podem ser criadas, porém evoluídas de forma orientada a um tipo de pista, dividindo o problema maior da evolução em outros menores. Dado que não existem métricas ou classificações formais das pistas nas literaturas existentes, este projeto surge com a proposta de buscar tais métricas.

III. METODOLOGIA

Os seguintes tópicos foram abordados para a realização dos experimentos:

⁴<https://github.com/bruno147/fsmdriver>

A. Aspectos abordados sobre as pistas

Todas as pistas do TORCS têm seu traçado descrito em arquivos de extensão XML. Elas são divididas em segmentos, representados no documento virtual por uma marcação denominada “*section*”, sendo que podem ser do tipo curva, caso o atributo “*val*” da submarcação “*attstr*” seja “*lft*”, que representa uma curva para esquerda, ou “*rgt*”, que define uma a direita. Todas as curvas são caracterizadas pelo ângulo que cobrem e por seu raio. Os segmentos do tipo reta têm como valor do atributo “*attstr*”, “*str*”, tendo como propriedade somente seu comprimento. As características dos tipos de segmentos anteriormente descritos também estão armazenadas na forma de atributos de submarcações, sendo que as características numéricas estão acompanhadas de sua devida unidade de medida.

As diferenças de superfície das pistas não foram consideradas, devido a um aumento considerável da complexidade do projeto, que, caso tal aspecto fosse analisado, deveriam também haver análises e medidas das influências dos diferentes coeficientes de atrito possíveis, de forma a criar robustez para os dados conseguidos. Como a análise de solos não faz parte do escopo da pesquisa realizada, ele não foi aprofundado, além do fato de não existirem referências bibliográficas sobre tal assunto e nem indícios de que investigações sobre tal aspecto levariam a resultados frutuosos. De modo a ser coerente com tal escolha, as pistas do tipo “*Dirt*” não foram analisadas, pelo fato de seu diferencial para os demais tipos se basear nas diversas superfícies que buscam simular uma corrida fora do asfalto.

De modo a classificar as pistas somente a partir de suas características estruturais, presentes em seu arquivo XML, foram buscados critérios para tal ranqueamento. Visto que no meio científico não houve abordagens nem mesmo semelhantes sobre o assunto, sendo possível ao máximo referenciar a área de geração procedural de conteúdo[4] (PCG, sigla proveniente do inglês), na qual há soluções para criação de pistas fazendo uso de modelos presentes na literatura, porém nenhuma métrica de dificuldade; a única fonte de referências em relação à dificuldade de pistas foi a comunidade do TORCS, principalmente no website⁵ gerido pelo atual diretor do projeto, Bernhard Wymann, no qual, na descrição de algumas pistas, existem referências a sua dificuldade.

B. Leitura de XML

Uma ferramenta na linguagem *Java*, disponível em ⁶, foi desenvolvida para a leitura dos arquivos XML das pistas fazendo uso da API popularmente conhecida como SAX⁷. As pistas e cada um dos tipos de segmentos foram modelados como objetos, dando origem às estruturas básicas: curvas, com seus atributos de nome, arco (atributo de valor “*arc*”), raio (atributo de valor “*radius*”) e para qual lado ela leva (curva para direita ou para esquerda); e as retas, sendo compostas

somente por seu nome e comprimento. O objeto modelador das pistas é composto somente por um auxiliar, usado na aquisição das informações do arquivo, e uma lista ordenada de seus segmentos, de acordo com sua disposição no “.xml”, assim como estão sequencialmente dispostos a partir do segmento de largada.

Algumas curvas possuem uma submarcação com o valor de atributo “*end radius*”. Tal campo é pertinente, pois caso ele esteja presente, o raio efetivo é dado pela média do valor deste campo com o do raio (presente em todas as curvas). Devido à heterogeneidade das definições das curvas, nas quais não existe um padrão de utilização de “*end radius*”, tal campo não foi considerado devido à complexidade de implementação de tal regra, o que levou a diferenças entre o comprimento real total e das curvas em relação aos calculados no programa.

Uma classe denominada “Estatísticas” foi criada com o objetivo de armazenar em um objeto as mais diversas características conseguidas, sendo elas as informações da pista analisada, adquiridas durante a análise sintática (conhecida também pelo termo do inglês “*parsing*”) do arquivo XML. Posteriormente à execução do programa, as seguintes informações estarão disponíveis:

- Número de retas;
- Número de curvas;
- Comprimento da pista;
- Comprimento das retas;
- Comprimento das curvas;
- Somatório dos inversos dos ângulos de todas as curvas.

Com tais dados armazenados nos objetos já citados, é possível gerar todas as métricas desenvolvidas somente executando um método.

As únicas edições realizadas nos arquivos das pistas, que não modificaram a disposição e propriedades das pistas, foram para indicar corretamente o caminho de arquivos referenciados nos XML's, de modo a permitir o funcionamento do programa que realiza sua leitura e aquisição de dados.

C. Métricas

Nesta versão inicial, somente o arquivo XML da pista foi analisado e é investigado se a partir dele é possível desenvolver métricas que relacionam de modo monotônico suas características com sua dificuldade, sendo este um fator com referências na comunidade do TORCS e que não tem relação com a avaliação de um controle desenvolvido. De modo a tornar o método simples, fazendo uso de uma menor quantidade de recursos computacionais no momento do campeonato, são buscadas somente relações monotônicas, que são, inclusive, mais fáceis de serem identificadas nas investigações. Na literatura vigente, não foi possível encontrar métricas que relacionam as características de uma pista a sua dificuldade, no máximo houve um modelo para analisar a entropia dos segmentos quanto às especificidades do modelo proposto no artigo, mas nada além disso.

⁵Website: <http://torcs.sourceforge.net/index.php>

⁶Github da ferramenta: <https://github.com/fabiocmarques/MetricaPistasTORCS>

⁷Website: <http://www.saxproject.org/>

Tabela I: Pistas previamente classificadas e métricas naturais.

Pistas	Comprimento(m)	Num. de retas	Comprimento de retas(m)	Num. de curvas	Comprimento de curvas (m)
D-Speedway	3427,431	4	600	7	2827,431
Forza	5922,248	48	4009	30	1913,248
Brondehach	4108,635	49	2291,8	42	1816,835
Alpine-1	7121,636	13	1260,826	69	5860,811

Tabela II: Pistas previamente classificadas e métricas relacionais.

Pistas	Σ_C	σ_R^2	σ_C^2	σ_α^2	σ_{raios}^2
D-Speedway	52,2580645	0	54607,243	183,673	36734,694
Forza	6,064961133	5748,354	1586,656	350,099	883236,958
Brondehach	18,761970333	558,280	1074,364	219,926	17856,124
Alpine-1	33,953488372	6196,278	9746,608	749,002	29828,019

Definidas 4 classificações básicas para dificuldade (Fácil, Média-Fácil, Média-Difícil e Difícil) a partir das informações adquiridas, quatro pistas de perfis diferentes, cada uma representante de uma das categorias, foram escolhidas como referência para os experimentos: “*Alpine-1*”, considerada uma pista difícil; “*Brondehach*”, dificuldade média-difícil; “*Forza*”, média-fácil; e “*D-Speedway*”, fácil. Objetivando propagar os resultados para as métricas válidas propostas, foram selecionadas mais oito pistas do TORCS, todas utilizadas no SCRC de 2015, para verificação de aplicação. De forma a gerar classificações das pistas, um total de 10 métricas foram desenvolvidas, separadas em duas categorias: métricas naturais e métricas relacionais.

1) *Métricas naturais*: Se tratam de características estruturais das pistas, conseguidas com a leitura do arquivo XML, não envolvendo cálculos complexos ou manipulações algébricas. Foram desenvolvidas com o simples objetivo de se analisar as características mais básicas e buscar uma possível relação monotônica ou proporcional com a dificuldade da pista. São elas:

- **Comprimento da pista**: comprimento total da pista, calculado a partir do somatório dos tamanhos de todos os segmentos, dado em metros;
- **Número de retas**: é o número de segmentos do tipo reta, ou seja, aquele que possuem atributo do tipo “*str*” no XML;
- **Comprimento de retas**: somatório dos comprimentos das retas da pista em metros;
- **Número de curvas**: número de segmentos do tipo curva, ou seja, aquele que possuem atributo do tipo “*lft*” ou “*rgt*” no XML;
- **Comprimento de curvas**: somatório dos comprimentos das curvas da pista em metros, cada um calculado multiplicando seu raio (em metros) por seu arco (em radianos), método de cálculo descrito pelo manual do TORCS.

2) *Métricas relacionais*: As métricas chamadas de relacionais foram desenvolvidas a partir de medidas estatísticas de dispersão aplicadas aos dados adquiridos e também tendo como base outras métricas presentes em artigos de referência. Foram assim denominadas pelo fato de buscarem relações mais

profundas entre os dados conseguidos.

A primeira métrica deste tipo foi criada tomando como base o conceito de curvatura presente no artigo [6], sendo que nela há uma busca de relação entre as curvaturas, isto é, o inverso dos ângulos, de todas as curvas com a dificuldade da pista. Ela foi gerada a partir da equação (1), sendo n o número de curvas da pista e r o valor em metros do raio do segmento.

$$M_1 = \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i} \quad (1)$$

Outras quatro métricas também foram criadas a partir da equação (2), ou seja, da fórmula padrão da variância. Nelas buscou-se também uma relação, mas desta vez entre uma dispersão estatística dos valores de comprimentos de reta, de curva, dos raios e dos ângulos das curvas, para com a dificuldade da pista. A equação utilizada para todos os casos foi a mesma, adaptando somente seus valores para cada um dos casos descritos.

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \mu)^2 \quad (2)$$

Na Tabela II, Σ_C é o somatório das curvaturas das curvas, σ_R^2 é a variância dos comprimentos de reta, σ_C^2 é a variância dos comprimentos de curva, σ_α^2 é a variância dos ângulos e σ_{raios}^2 é a variância dos raios, ambos os últimos das curvas.

IV. EXPERIMENTOS

Possuindo as classificações em relação à dificuldade das pistas “*D-Speedway*” (tipo “*oval*”), “*Forza*” (tipo “*road*”), “*Brondehach*” (tipo “*road*”) e “*Alpine-1*” (também do tipo “*road*”); e as métricas definidas, os experimentos consistiram na aplicação de todas elas em cada uma dessas pistas. Os resultados do processo podem ser vistos nas Tabelas I e II.

De todas as métricas aplicadas, a única que resultou em um comportamento proporcional e monotônico, vide a figura 4, foi a natural que relacionou o número de segmentos do tipo curva de cada pista, observado que quanto maior o seu valor, maior a dificuldade. As outras métricas não resultaram em comportamentos esperados, devido à disparidade entre os valores encontrados.

De modo a verificar os resultados para as métricas desenvolvidas, elas também foram aplicadas a oito pistas que foram

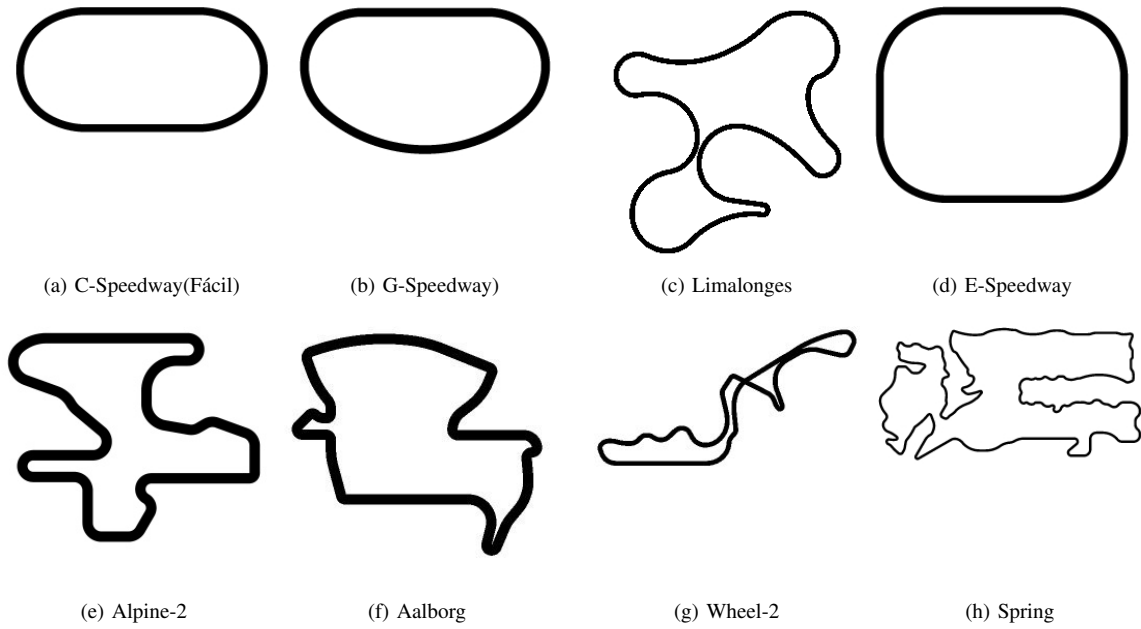


Figura 3: Pistas presentes no SCRC 2015 utilizadas nos testes.

utilizadas durante o SCRC do ano de 2015, com o objetivo de classificá-las fazendo uso da única métrica de comportamento monotônico. O resultado de tal experimento pode ser visto na Tabela III. De acordo com os experimentos, a pista “Spring” seria a de maior dificuldade, seguida de “Wheel-2”.

Como as métricas foram desenvolvidas somente a partir de características dos arquivos básicos da pista, de modo a não se vincularem ao reconhecimento de um controle específico e nem de eventos do acontecimento das corridas, vários fatores não foram levados em conta, como a velocidade média, melhor posicionamento na pista e nem tempos de voltas, restringindo-se somente à estrutura da pista, de modo a não vincular os resultados do projeto à configuração de um controle em específico.

A equipe da Universidade de Brasília participante do SCRC e sua busca por uma melhora de desempenho foram motivadores desta investigação, que, caso fosse possível, buscaria agregar positivamente em algum aspecto do desenvolvimento dos pilotos. Porém utilizar do tempo do projeto para tal propósito poderia comprometer a premissa idealizadora do projeto: desenvolver métricas a partir de características estruturais presentes em arquivos XML.

V. CONCLUSÃO

A equipe da Universidade de Brasília participante do SCRC tem como objetivo melhorar o desempenho na competição de seu piloto, projetado com uma máquina de estados finitos. Assim como os controladores que historicamente tiveram desempenho superior no campeonato, o FSMDriver também é evoluído, porém com algoritmos genéticos. A versão atual dos módulos que realizam a evolução buscam uma configuração para o piloto que tenha o melhor desempenho encontrado

Tabela III: Pistas do SCRC 2015 e resultados da métrica número de curvas.

Pistas	Num. de curvas
Spring	175
Wheel-2	40
Aalborg	25
Alpine-2	18
E-Speedway	12
Limalonges	11
G-Speedway	7
C-Speedway	6

nos variados tipos de pista do TORCS. Com o objetivo de segmentar as condições de otimização para os tipos de pista, de modo a dividir o problema de otimização completa em outros menores, é necessário um critério para classificar as pistas, algo inexistente na literatura.

A busca por uma métrica, proposta deste projeto, se baseou nos arquivos XML das pistas, pelo fato de todas elas possuírem suas características estruturais descritas neles, o que iria generalizar sua aplicação. O critério para classificação das pistas foi a dificuldade, fato consequente das referências à dificuldade delas encontradas no site gerido pelo atual diretor do TORCS. Uma solução em Java foi desenvolvida para a leitura e extração dos dados de tais arquivos, que foram utilizados na concepção de dez métricas diferentes, sendo cinco delas chamadas “naturais” por relacionarem somente as características extraídas com a dificuldade e as demais “relacionais” por envolverem uma manipulação mais complexa dos dados conseguidos, que buscariam um comportamento monotônico em relação à pré-classificação conseguida nas referências.

Com a realização dos experimentos, dados nas tabelas I e II, foi observado que somente uma das métricas obteve o comportamento esperado: o número de segmentos do tipo curva foi tão maior quanto a dificuldade das pistas. De modo a validar tal resultado e estender sua aplicação, tal métrica foi aplicada a oito pista utilizadas no SCRC de 2015, resultado que pode ser conferido na tabela III.

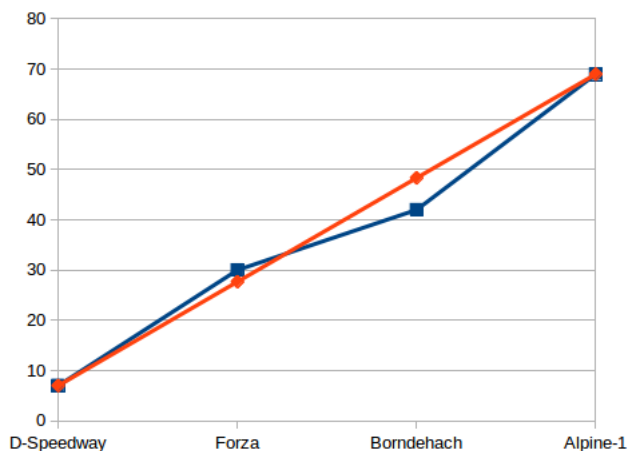


Figura 4: Gráfico que ilustra as pistas pré-classificadas e as quantidades de curvas de cada uma. A linha vermelha representa um comportamento linear.

Como foi documentado, alguns arquivos XML das pistas possuem o campo “end radius”, que não fora utilizado, gerando diferenças nos comprimentos reais para com os calculados no programa, melhoria que poderia ser adicionada para aumentar a precisão dos dados adquiridos. Não houve uma análise das superfícies das pistas, processo que demandaria uma alta quantidade de tempo e esforço, com chances de não gerar resultados palpáveis, já que não há na literatura atual indícios de relevância para o projeto em tal área, fazendo com que, por coerência com tal decisão, as pistas do tipo “Dirt”, também presentes no SCRC, não fossem analisadas. No futuro um dos caminhos a ser tomado a partir desta investigação é um que irá adaptar as métricas desenvolvidas para uma versão online, na qual um controle iria identificar as características da pista, gerando dados para que as adaptações criadas possam ser aplicadas, de modo a selecionar pilotos mais adaptados a tal perfil de pista e, com isso, chegar a melhores resultados nas corridas.

Com os resultados adquiridos, fugindo do ambiente competitivo, tais métricas poderiam ser empregadas também na área de geração de conteúdo procedural de pistas para o TORCS e possivelmente para outros simuladores, de modo a manipular a dificuldade da pista desde sua concepção e criação, diferentemente do “TrackGen”⁸, que somente tem a avaliação das pistas baseada no entretenimento e experiência do usuário. Visto que para serem aplicadas não é necessário verificar se as pistas são necessariamente fechadas(aquelas em

que voltas podem ser realizadas e seu fim coincide com o início), assim como são as do TORCS, os resultados obtidos podem ser expandidos para os campos de outros jogos de corrida que não necessariamente são à base de voltas em suas pistas, o que demonstra uma utilidade à mais da pesquisa realizada.

De modo a analisar mais profundamente as informações adquiridas, além de uma possível relação monotônica, próxima da linear, entre eles, algoritmos de mineração de dados e árvores de decisão poderiam também ser utilizados com o objetivo de encontrar padrões consistentes porém mais complexos através de funções matemáticas específicas para tal propósito.

Mesmo com todas as dificuldades e desafios enfrentados durante todo o desenvolvimento do projeto, foi possível chegar em ao menos uma métrica de comportamento esperado. Todo o projeto e seu progresso podem ser encontrados no GitHub⁹.

REFERÊNCIAS

- [1] M. Botta, V. Gautieri, D. Loiacono, and P. L. Lanzi. Evolving the optimal racing line in a high-end racing game. In *2012 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG)*, pages 108–115, Sept 2012.
- [2] M. Buckland. State-driven agent design. In Wordware Publishing, editor, *Programming Game AI By Example, 2nd ed.*, chapter 2, pages 43–45. Wordware, Plano, TX, 2005.
- [3] M. V. Butz, M. J. Linhardt, and T. D. Lonnerker. Effective racing on partially observable tracks: Indirectly coupling anticipatory egocentric sensors with motor commands. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, 3(1):31–42, March 2011.
- [4] Luigi Cardamone, Pier Luca Lanzi, and Daniele Loiacono. Trackgen: An interactive track generator for {TORCS} and speed-dreams. *Applied Soft Computing*, 28:550 – 558, 2015.
- [5] M. Kemmerling and M. Preuss. Automatic adaptation to generated content via car setup optimization in torcs. In *Proceedings of the 2010 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games*, pages 131–138, Aug 2010.
- [6] D. Loiacono, L. Cardamone, and P. L. Lanzi. Automatic track generation for high-end racing games using evolutionary computation. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, 3(3):245–259, Sept 2011.
- [7] D. Loiacono, P. L. Lanzi, J. Togelius, E. Onieva, D. A. Pelta, M. V. Butz, T. D. Lonnerker, L. Cardamone, D. Perez, Y. Saez, M. Preuss, and J. Quadflieg. The 2009 simulated car racing championship. *IEEE Transactions on*

⁸Website: <http://trackgen.pierlucalanzi.net/>

⁹Plataforma que abriga os programas e arquivos utilizados para o projeto. Métricas para pistas do TORCS: <https://github.com/fabioemarquesUnB/MetricaPistasTORCS/>

Computational Intelligence and AI in Games, 2(2):131–147, June 2010.

- [8] M. Preuss, J. Quadflieg, and G. Rudolph. Torcs sensor noise removal and multi-objective track selection for driving style adaptation. In *2011 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG'11)*, pages 337–344, Aug 2011.
- [9] J. Togelius, R. De Nardi, and S. M. Lucas. Towards automatic personalised content creation for racing games. In *2007 IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games*, pages 252–259, April 2007.
- [10] C. Wan, Z. Xu, and P. Pinson. Direct interval forecasting of wind power. *IEEE Transactions on Power Systems*, 28(4):4877–4878, Nov 2013.
- [11] Jiao Jian Wang and O. Missura. Racing tracks improvisation. In *2014 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games*, pages 1–8, Aug 2014.
- [12] M. Żarkowski. Adaptive face identification for small-scale social dynamic environment. pages 630–635, Sept 2014.