

Modelagem de um sistema embarcado como um Autômato Finito Determinístico que auxilie na validação do boi em vaquejadas

Arthur V. F. Fialho , Mozart Lima do Nascimento  & José Antonio C. B. da Silva 

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Rua Tranquilino Coelho Lemos 671, Dinamérica 58432-300, Campina Grande, Paraíba, Brasil. E-mail: arthur.venancio@academico.ifpb.edu.br, mozart.nascimento@academico.ifpb.edu.br, jose.borges@ifpb.edu.br

Fialho A.V.F., Nascimento M.L. & Silva J.A.C.B. (2025) Modelagem de um sistema embarcado como um Autômato Finito Determinístico que auxilie na validação do boi em vaquejadas. *Pesquisa e Ensino em Ciências Exatas e da Natureza*, 8(EDIÇÃO ESPECIAL – 2024/2025): 34–48.

Editor acadêmico: Fernando A. P. Cunha. **Recebido:** 15 março 2024. **Aceito:** 25 maio 2024. **Publicado:** 15 janeiro 2025.

Resumo: O objetivo geral deste trabalho é modelar um sistema embarcado por meio de um Autômato Finito Determinístico (AFD), que pode vir a apoiar juízes em suas decisões, durante as vaquejadas na validação da queda do boi, dentro ou fora da faixa (objetivo do esporte), uma vez que, o juiz de vaquejada, pode ter dificuldade para julgar o boi, em algumas situações. Um levantamento das regras da vaquejada foi realizado baseado no Regulamento Geral da Vaquejada e no Manual de Julgamento de Boi, um estudo sobre os AFDs e uma discussão sobre computação de resultados em uma vaquejada. Além disso, foi modelado um AFD com estados como "Espera", "Validado" e "Invalidado", e utilizado o alfabeto "Validação", "Invalidação" e "Reset". Este estudo acadêmico introduziu a questão da dificuldade na validação do boi em vaquejadas e propôs uma solução através da modelagem do sistema como um Autômato Finito Determinístico.

Palavras chave: Teoria da computação, Teoria dos autômatos, prática cultura tradicional, nordeste brasileiro.

Modeling of an embedded system as a Deterministic Finite Automaton that assists in the validation of cattle in vaquejadas

Abstract: The overall objective of this work is to model an embedded system through a Deterministic Finite Automaton (DFA) that could potentially assist judges in their decisions during rodeos regarding the validation of the bull's fall, whether inside or outside the designated area (the sport's objective). Given that rodeo judges may face difficulty in judging the bull in certain situations, a survey of rodeo rules was conducted based on the General Rodeo Regulations and the Bull Judging Manual, along with a study on DFAs and a discussion on result computation in rodeos. Additionally, a DFA was modeled with states such as "Waiting," "Validated," and "Invalidated," utilizing the alphabet "Validation," "Invalidation," and "Reset." This academic study introduced the challenge of bull validation in rodeos and proposed a solution by modeling the system as a Deterministic Finite Automaton.

Key words: Theory of computation, Theory of automata, traditional cultural practice, northeastern Brazil.

Introdução

O impacto da tecnologia no esporte é objeto de estudo, sob a perspectiva dos atletas, treinadores, espectadores, fãs, pais, oficiais, mídia, indústria e indivíduos (Katz 2002). De acordo com Katz (2002), o uso de ferramentas tecnológicas na arbitragem é um fator primordial, para oferecer aos juízes a oportunidade de arbitrar, com a ajuda de evidências relevantes.

Considerando a visão de acordo com a posição física, as ramificações de localização e a habilidade de processar dados, de forma precisa e eficaz, a tecnologia abrange o desenvolvimento de simulações, de modo que, possibilite aos juízes, tornarem suas decisões mais assertivas. Para tal fim, é primordial o uso de ferramentas como animação gráfica, modelos tridimensionais e o uso de sequências de vídeo reais da competição, usando ângulos múltiplos de câmera, além de todo um arcabouço, de possíveis tecnologias utilizadas a favor do esporte. Conforme relatado na literatura (Gantois 2015; dos Santos Neto & Silva 2023), o uso de tecnologias trouxe impactos positivos, em relação a várias métricas, em esportes como base, esgrima, *taekwondo* e futebol, por exemplo.

A utilização da tecnologia no esporte é realidade desde a adoção do *photo finish* nas corridas de atletismo, automobilismo e hipismo. Atualmente, faz parte do cotidiano dos envolvidos no esporte (atletas, espectadores, juízes, técnicos, dentre outros), o auxílio tecnológico, seja com o “Vídeo Assistant Referee (VAR)”, os desafios no vôlei ou mesmo a vaquejada, que atualmente utiliza filmagens, para auxiliar na arbitragem, o boi TV. Sabendo que a vaquejada é um esporte dinâmico, cuja fração de segundo no lance não pode ser analisada de forma precisa, o juiz, muitas vezes, tem dificuldade em julgar a validade do boi. Assim, surge a seguinte problemática: O juiz de vaquejada tem dificuldade em definir a validade da derrubada do boi, em alguns casos, nos quais, o boi cai em cima de uma das faixas de pontuação.

No Manual de Julgamento de boi, da Associação Brasileira de Vaquejada (ABVAQ 2022) são definidas diversas regras, que definem como o juiz de vaquejada deve julgar o boi. As páginas 5 e 6, do manual em questão, abordam como deve ser julgada a validação do boi, sendo fundamentais para entender como ocorre a validação do boi em vaquejadas. De maneira simplificada, o boi deve cair entre as duas faixas de pontuação, para que seja validado, seguindo todas as regras da vaquejada.

Assim como em outras áreas da Engenharia, há as fases de projeto e execução, seja em edificações, estações de tratamento de água, conservação ou secagem de alimentos. Os esforços foram centrados na fase de construção do modelo de autômato, que terá o papel de modelo base para a futura implementação de um protótipo. Deixa-se claro que não haverá implementação de um protótipo. A modelagem do presente trabalho, destina-se a responder o que o sistema deve fazer, modelando o comportamento do sistema, não entrando em detalhes sobre como deve ser feita a implementação de um protótipo.

Com o intuito de solucionar a problemática mencionada, o objetivo geral deste trabalho é modelar um sistema embarcado por meio de um Autômato Finito Determinístico (AFD) que pode vir a apoiar juízes em suas decisões durante as vaquejadas.

Vaquejada

A Vaquejada é um patrimônio cultural imaterial do Brasil, de acordo com a ementa da Lei 13.364/2016, cumprindo os requisitos para ser enquadrada como esporte e podendo, portanto, gozar de toda a homologação esportiva, sofrendo os ditames elencados no artigo 217 da Constituição da República Federativa do Brasil, na lei geral do Desporto (Lei nº 10.671).

Hoje, a vaquejada reproduz uma técnica centenária, usada por vaqueiros que tentavam arrebanhar touros e vacas, nos quais fugiam de criadouros, que não possuíam cercas adequadas, para cercá-los em grandes áreas do rebanho das fazendas (Rodrigues & Cavalcanti 2017; Veiga 2020). Atualmente, este esporte está conquistando regiões diversificadas do país, passando das fronteiras do Nordeste do Brasil, chegando ao Norte e ao Sudeste (Veiga 2020).

A Associação Brasileira de Vaquejada (ABVAQ) normatiza a prática profissional do esporte no país, elaborando manuais e chancelando corridas de vaquejada em território nacional. Dessa forma, a vaquejada obedece a regras para sua prática, de forma profissional e/ou amadora (ABVAQ 2022, 2023). A compreensão das regras é de suma importância, para que o autômato possa vir a modelar o dispositivo. As regras sobre validação do julgamento da derrubada do boi na faixa estão apresentadas no **Anexo A**, podendo ser encontradas, também, no Manual de Julgamento de Boi (ABVAQ 2022).

Em uma vaquejada, o boi pode ser validado ou invalidado. Um boi validado é aquele que foi derrubado pelo puxador entre as duas faixas de pontuação, seguindo todas as regras da vaquejada (ABVAQ 2022).

O Regulamento Geral da Vaquejada (ABVAQ 2023) define na segunda página (Seção 1, art. 3, inciso 6) que “6. Valeu o boi – Expressão que caracteriza o êxito do competidor”. Assim, a expressão “valeu o boi” é uma expressão comum no meio e explicada no regulamento, ressaltando que o boi pode valer ou não, ser validado ou invalidado.

A competição de forma simplificada e de acordo com a regulamentação da ABVAQ, é formada pela disputa entre duplas de vaqueiros (vaqueiro-puxador e vaqueiro-esteireiro) a fim de obter a maior pontuação através da derrubada do boi. Cada dupla tem o direito de correr, em média, três bois por senha. Para conquistar a derrubada do boi (“valeu boi”), o vaqueiro puxador deve derrubar o boi em uma faixa de 9 m de distância, demarcada com cal sob o colchão de areia (pista de corrida), conforme representado na **Figura 1**.

De acordo com o manual de julgamento de boi (Anexo A), as partes superiores do boi (linha imaginária onde se localiza o jarrete - joelho ou parte seca, para cima) não podem tocar a primeira faixa de pontuação. Assim, a problemática encontrada na derrubada do boi, ocorre quando parte do corpo do animal, fica para fora das faixas demarcadas. Para isso, a ABVAQ faz uso de uma comissão alternativa (Boi TV), porém essa alternativa pode apresentar erros de julgamento, pois o ângulo da filmagem pode comprometer o julgamento.

Nas **Figuras 1–3** têm-se casos duvidosos sobre o toque, ou não, das partes superiores do boi na primeira faixa de pontuação.

Autômatos Finitos Determinísticos

Máquinas de Estados e autômatos são programas que procuram por padrões e, frequentemente, possuem uma estrutura especial. É possível identificar posições no código em que se conhece algo particular sobre o progresso do programa, a fim de reconhecer uma instância de um padrão. Estas posições são chamadas de estados. O comportamento do programa, pode ser visto como a transição de um estado, para o outro, conforme a entrada é lida (Araújo 2015).



Figura 1. A derrubada do boi em vaquejadas.



Figura 2. Dúvida do toque da parte superior do boi na primeira faixa (exemplo 1).



Figura 3. Dúvida do toque da parte superior do boi na primeira faixa (exemplo 2).

A teoria dos autômatos fornece definições e propriedades, para se trabalhar com modelos de computação (Sipser 2007). Existem diversos tipos de autômatos, contudo serão utilizados apenas os autômatos finitos ou máquinas de estados finitos. Estes são usados para processamento de texto, compiladores, e projetos de hardware (Sipser 2007). O projeto de hardware desenvolvido neste trabalho é a modelagem de um sistema embarcado como um autômato.

Definição Formal

Um autômato finito (AF) é um diagrama de transição de estados, que permite modelar, de maneira intuitiva, diversos problemas computacionais (Lewis & Papadimitriou 1998), contendo um conjunto de estados, nos quais, a transição de um estado, para um outro é realizada na ocorrência de um evento (Hopcroft *et al.* 2001).

De acordo com Sipser (2007), um AF pode ser definido como uma 5-upla $(Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ onde:

- Q é um conjunto finito chamado de os estados,
- Σ é um conjunto finito chamado de o alfabeto,
- δ é a função de transição $\delta : Q \times \Sigma \rightarrow Q$,
- $q_0 \in Q$ é o estado inicial, e

- $F \subseteq Q$ é o conjunto de estados finais.

Determinismo

Existem dois tipos de Autômatos Finitos: AFD e Autômatos Finitos Não-Determinísticos (AFND). Os Determinísticos possuem exatamente para cada estado e para cada símbolo do alfabeto da entrada, uma transição com este símbolo deixando este estado. Os Não-Determinísticos, não possuem restrições nos valores de suas transições. Um símbolo pode ser o valor de várias transições, que saem do mesmo estado, e ϵ , a palavra vazia, é um valor possível.

Autômatos Finitos são bons modelos para descrever dispositivos eletromecânicos (Sipser 2017). Os AFDs conseguem, com naturalidade, representar de forma concisa qualquer sistema que mantenha uma definição interna de estado – capacidade do sistema de ser representado, utilizando a metodologia e a terminologia de autômatos finitos determinísticos (Gribkof 2013). Quanto aos AFNDs, do ponto de vista prático, não são modelos realistas, indicados para representar algo concreto, do mundo real (Silva 2017).

O autômato finito usado neste trabalho é determinístico, pois sempre que está num dado estado e lê o próximo símbolo de entrada, sabe-se que estado será o próximo (Sipser 2007). A computação com AFDs é completamente determinística, ou seja, para cada par (q, a) , sendo que um estado e a um símbolo, temos exatamente uma transição definida no ponto (q, a) (Silva 2017). Em contraposição, num AFND, várias escolhas podem existir, para cada próximo estado em qualquer ponto (Sipser 2007).

Computação de strings

Autômatos Finitos são reconhecedores (aceitam ou rejeitam) de *strings*. Eles podem dizer “sim” (aceita) ou “não” (rejeita) sobre cada possível símbolo da entrada. Se todos os símbolos de uma *string* forem aceitos a *string* é aceita, se um dos símbolos de uma *string* for rejeitado a *string* é rejeitada. Pode-se definir formalmente a aceitação e rejeição de *strings* da seguinte forma: “Seja $D = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ um AFD e $w \in \Sigma^*$. Se $\delta^{\square}(q_0, w) \in F$, então dizemos que D aceita a *string* w . Se $\delta^{\square}(q_0, w) \notin F$, então dizemos que D rejeita a *string* w ” (Silva 2017).

Dado um alfabeto, uma linguagem é um conjunto qualquer de *strings* de símbolos sobre este alfabeto. Expressões regulares (ERs) são expressões matemáticas que representam linguagens. Essas ERs têm a capacidade de expressar com exatidão os problemas que podem ser resolvidos pelos algoritmos expressos na forma de um AFD (Silva 2017).

Modelagem

Um sistema embarcado é um sistema computacional aplicado (Noergaard 2005). Visto que, pode-se pensar em computadores como “instâncias” de objetos abstratos e seus possíveis relacionamentos matemáticos em objetos físicos e seu conjunto de possíveis graus de movimento (Silva 2017), podemos considerar o AFD modelado, neste trabalho, como um sistema computacional. Além disso, o projeto tem uma aplicação prática bem definida, que é a validação da derrubada do boi em vaquejadas. Logo, é uma característica do projeto proposto neste artigo ser um sistema embarcado.

Define-se “modelo” como “representação, em escala reduzida, de objeto, obra de arquitetura etc. a ser reproduzida em dimensões normais” (Oxford Languages 2023). Em acordo com a definição, a modelagem de um AFD é uma representação reduzida de um sistema embarcado a ser implementada.

Um modelo é antes de mais nada uma representação de um recorte da realidade, funcionando como um instrumento de abstração destinado à aquisição de novos conhecimentos, representação e compreensão da realidade (Sayão 2001).

Qualquer projeto pode se beneficiar com o uso de algum tipo de modelagem, pois modelos auxiliam a ter uma visão mais abrangente do funcionamento de um sistema, tornando possível desenvolver os projetos de forma mais rápida e correta, pois quanto mais complexo for

o sistema, maior será a probabilidade de ocorrência de erros, caso tenha sido elaborado sem uma modelagem prévia (Chwif & Medina 2010).

Somado a todas a essas vantagens é válido dizer, que um AFD é adequado para representar de forma concisa, natural e ao mesmo tempo formal, qualquer sistema determinístico (Gribkoff 2013).

Metodologia

Um levantamento das regras da vaquejada foi realizado coletando informações das regras a que o vaqueiro, o boi e a pista estariam sujeitos. Para isso, foram realizadas consultas ao Regulamento Geral da Vaquejada (ABVAQ 2023) e ao Manual de Julgamento de Boi (ABVAQ 2022). Assim, todo o material elaborado está de acordo com o regulamento da ABVAQ mais atuais até o momento da construção deste projeto. As principais regras referentes a como julgar a validação do boi, podem ser consultadas no **Anexo A**.

Ao pesquisar sobre a construção de um AFD, foi estudado, como defini-lo formalmente. Tal conhecimento serviu como base para a construção do modelo esboçado neste trabalho. Desta forma, o modelo segue todas as regras às quais um AFD está sujeito, segundo Sipser (2007).

A abordagem determinística foi adotada para modelar o sistema, com o intuito de evidenciar qual seria o comportamento do sistema, quando ele estivesse num determinado estado e fizesse a leitura de um símbolo.

O projeto foi modelado como um AFD e não utilizando outras metodologias determinísticas como redes de Petri, pois os desenvolvedores deste trabalho possuíam familiaridade com a modelagem de AFDs, o que reduziu a curva de aprendizagem necessária para modelar o projeto.

Não existe resultado final duvidoso, no julgamento da validação do boi, em uma vaquejada, existe apenas, dois possíveis resultados, validado (êxito do competidor) ou invalidado (ausência de êxito do competidor). O resultado é discretizado pelos juízes, mesmo nas situações em que o julgamento do boi é difícil (situações de dúvida), como apresentado na problemática.

Este trabalho propõe apenas a modelar o sistema embarcado, como um AFD e não a entrar em detalhes de implementação. A modelagem reflete o resultado final do julgamento do boi de uma vaquejada, que é um resultado discreto.

Resultados

Na **Figura 4** está apresentado o autômato M que modela o sistema.

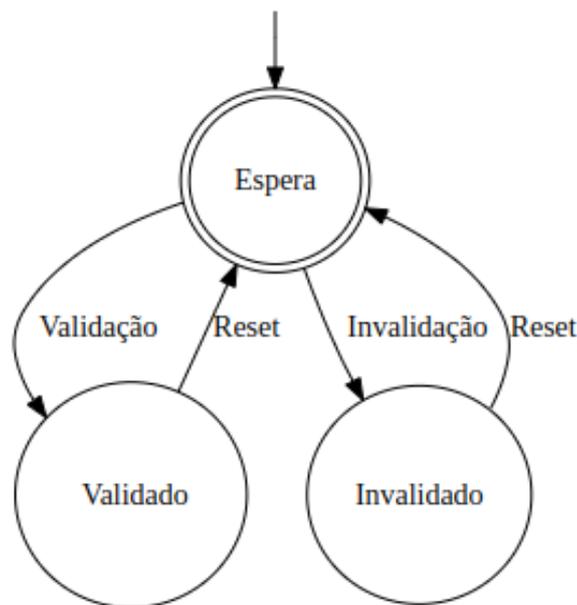


Figura 4. Diagrama de estados do autômato M.

Modelagem na validação do boi em vaquejadas

O AFD M pode ser formalmente descrito escrevendo $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$, com $e =$ “Espera”, $v =$ “Validado”, $i =$ “Invalidado”, $\omega =$ “Reset”, $1 =$ “Validação”, $0 =$ “Invalidação”, onde:

- $Q = \{e, v, i\}$;
- $\Sigma = \{\omega, 0, 1\}$;
- $\delta = \delta_1: e \times 1 \rightarrow v, \delta_2: e \times 0 \rightarrow i, \delta_3: v \times \omega \rightarrow e, \delta_4: i \times \omega \rightarrow e$, o quadro 1 se refere a este conjunto de transições;

Quadro 1. Conjunto de transições do autômato M.

	Ω	0	1
e	–	i	v
v	E	–	–
i	E	–	–

- $q_0 = e$;
- $F = \{e\}$;

A linguagem L que representa o autômato M é

$$L = \{w \vee w \text{ é um sequência contendo qualquer quantidade das strings } 0\omega \text{ ou } 1\omega\} \quad (1)$$

L pode ser representada pela expressão regular

$$((0\omega) \cup (1\omega))^* \quad (2).$$

Interpretação da definição do autômato M

Conjunto de Estados

Estado “Espera” (e)

Indica ao sistema, que ele deverá apresentar ao usuário por meio de atuadores, que o sistema está no estado “Espera”.

O estado “Espera” indica ao usuário, que o sistema está pronto para realizar novas leituras e fazer o julgamento da validação do boi.

Estado “Validado” (v)

Indica ao sistema, que ele deverá apresentar ao usuário por meio de atuadores, que o sistema está no estado “Validado”.

O estado “Validado” indica ao usuário, que o sistema realizou o julgamento do boi e confirmou a validação.

Estado “Invalidado” (i)

Indica ao sistema, que ele deverá apresentar ao usuário, por meio de atuadores, que o sistema está no estado “Invalidado”.

O estado “Invalidado” indica ao usuário, que o sistema realizou o julgamento do boi e confirmou a invalidação.

Alfabeto

Símbolo “Validação” (1)

O sistema recebeu um conjunto de entradas indicando que o boi foi validado.

Símbolo “Invalidação” (0)

O sistema recebeu um conjunto de entradas indicando que o boi foi invalidado.

Símbolo “Reset” (ω)

O sistema recebeu um conjunto de entradas, indicando que ele deve voltar ao estado inicial.

Estado Inicial

Estado “Espera” (e)

Indica que ao ser inicializado o sistema deve iniciar no estado “Espera”. Com o intuito de aguardar instruções do usuário.

Conjunto de estados de aceitação

Estado “Espera” (e)

Indica que ao ser finalizado, o sistema deve finalizar no estado “Espera”, com o intuito de garantir, que quaisquer leituras tenham sido capturadas pelo usuário.

Conjunto de Transições

$\delta 1$: “Espera” X “Validação” \rightarrow “Validado”

Ocorre quando o sistema está no estado “Espera” e lê uma entrada de “Validação”. O sistema transita para o estado “Validado”, com o intuito de indicar a validação do boi.

$\delta 2$: “Espera” X “Invalidação” \rightarrow “Invalidado”

Ocorre quando o sistema está no estado “Espera” e lê uma entrada de “Invalidação”. O sistema transita para o estado “Invalidado”, com o intuito de indicar a invalidação do boi.

$\delta 3$: “Validado” X “Reset” \rightarrow “Espera”

Ocorre quando o sistema está no estado “Validado” e lê uma entrada de “Reset”. O sistema transita para o estado “Espera”, com o intuito de resetar o sistema.

$\delta 4$: “Invalidado” X “Reset” \rightarrow “Espera”

Ocorre quando o sistema está no estado “Invalidado” e lê uma entrada de “Reset”. O sistema transita para o estado “Espera”, com o intuito de resetar o sistema.

Computação de algumas *strings* arbitrárias como entradas do autômato M

1ω

1. e
2. $e \times 1 \rightarrow v$
3. $v \times \omega \rightarrow e$

Nesse caso, o estado final é o estado de aceitação, logo a *string* é aceita.

0ω

1. e
2. $e \times 0 \rightarrow i$

3. $i \times \omega \rightarrow e$

Nesse caso, o estado final é o estado de aceitação, logo a cadeia é aceita.

$0\omega1\omega$

1. e
2. $e \times 0 \rightarrow i$
3. $i \times \omega \rightarrow e$
4. $e \times 1 \rightarrow v$
5. $v \times \omega \rightarrow e$

Nesse caso, o estado final é o estado de aceitação, logo a cadeia é aceita.

$1\omega0\omega$

1. e
2. $e \times 1 \rightarrow v$
3. $v \times \omega \rightarrow e$
4. $e \times 0 \rightarrow i$
5. $i \times \omega \rightarrow e$

Nesse caso, o estado final é o estado de aceitação, logo a *string* é aceita.

$0\omega\omega1$

1. e
2. $e \times 0 \rightarrow i$
3. $i \times \omega \rightarrow e$
4. $e \times \omega \rightarrow$ rejeição

O autômato não reconhece essa *string*, pois não existe uma transição partindo do estado de espera, lendo o símbolo de reset.

Algoritmo de validação do boi

O algoritmo 1 (disposto nas **Figuras 5–9**) representa o processo de validação do boi, quando o boi está, de alguma forma, entre as duas faixas de pontuação.

Para construção do algoritmo, foram feitas algumas perguntas baseadas nas regras. As respostas a essas perguntas, de forma estruturada num algoritmo, permitem a inferência do resultado do julgamento do boi (validado ou invalidado). Essas perguntas estão numeradas de 1 a 11, dentro do algoritmo, no formato de comentário (linha 1 à linha 33).

No algoritmo, também está explicado, no formato de comentário, o que é a variável *rj* (linha 34 à linha 47).

Tradução do algoritmo

Enfatiza-se que o algoritmo 1 pode ser traduzido para alguma linguagem de programação, que permita o desenvolvimento do sistema embarcado, como a linguagem de programação C, por exemplo.

Contudo, o programador precisa entender que as funções (fp1, ..., fp11 apresentadas nas **Figuras 8–9**) precisam ser implementadas após a tradução, aproveitando-se apenas a sua estrutura, essas funções precisam ser implementadas de acordo com o enunciado de cada uma delas.

Destaca-se também que o algoritmo 1 representa o processo de validação. Não necessariamente, um dispositivo que auxilie o juiz, precisa detectar todas as informações de forma autônoma, o dispositivo pode interagir com o juiz e solicitar algumas informações. Por

exemplo, a função fp11 que se propõe a identificar se o puxador agiu pelo lado errado, poderia haver um botão, para o juiz pressionar quando o juiz identificasse essa irregularidade.

A tradução de um algoritmo, em uma linguagem de programação, pode ser feita manualmente, ou de forma automática, por softwares dedicados a isso, como por exemplo o ChatGPT (do inglês: *Chat Generative Pre-Trained Transformer*) – um chatbot online de inteligência artificial desenvolvido pela OpenAI.

```

1  /* Perguntas a serem respondidas
2
3  p1: O puxador, montado no seu cavalo, derrubou o boi, puxando-o
4     pelo protetor de cauda do bovino?
5
6  p2: Após adentrar as faixas de pontuação, o boi saiu total
7     ou parcialmente (qualquer parte do corpo)? (Se p1 == F)
8
9  p3: A primeira faixa de pontuação permanece intocada pelas partes
10    superiores do boi (do jarrete para cima)? (Se p1==V)
11
12  p4: O boi está próximo à segunda faixa de pontuação,
13     de forma que ele possa se levantar com mais de 50% do seu corpo após
14     a segunda faixa de pontuação? (Se p3==V)
15
16  p5: Faz mais de 30s que o boi foi deitado entre as faixas? (Se p4==V)
17
18  p6: O boi se levantou? (Se p4==V)
19
20  p7: Mais de 50% do boi está entre as duas faixas de pontuação? (Se p4==V)
21
22  p8: Após 30 segundos do boi ser deitado entre as faixas.
23     Alguma parte do boi permanece dentro da faixa.
24     O boi ainda está sendo reposicionado entre as
25     faixas de pontuação pelos vaqueiros? (Se p6 ==F)
26
27  p9: O estereiro passou pelo boi e voltou para
28     reposicionar o boi entre as faixas de pontuação?
29
30  p10: Algum vaqueiro não montado teve contato
31     físico com o boi ao tentar reposicioná-lo?
32
33  p11: O puxador agiu pelo lado errado?*/

```

Figura 5. Algoritmo 1 - parte 1.

```

34  // rj: resultado do julgamento
35  // rj pode assumir os valores -1, 0 e 1
36
37  // -1 representa que o que resultado ainda não
38  // foi definido, está em espera
39  // 0 representa que o boi não valeu, foi invalidado
40
41  // 1 representa que o boi valeu, foi validado
42
43  // rj é inicializado com o valor -1, representando que
44  // ainda não existe um resultado final
45
46  // rj finaliza com o valor 0 ou 1,
47  // representando o resultado final do julgamento

```

Figura 6. Algoritmo 1 - parte 2.

```

48 // funções booleanas podem retornar verdadeiro (V) ou falso (F)
49 //As função fp1, ..., fp11 são funções booleanas (retornam V ou F)
50 fp1()
51     se (de alguma forma foi identificado que o puxador, montado no seu cavalo,
52         derrubou o boi, puxando-o pelo protetor de cauda do bovino)
53         retorne SIM
54 fp2()
55     se (de alguma forma foi identificado que após adentrar as faixas de pontuação,
56         o boi saiu total ou parcialmente)
57         retorne SIM
58 fp3()
59     se (de alguma forma foi identificado que a primeira faixa de pontuação
60         permanece intocada pelas partes superiores do boi)
61         retorne SIM
62 fp4()
63     se (de alguma forma foi identificado que o boi está próximo à
64         segunda faixa de pontuação, de forma que ele possa se levantar
65         com mais de 50% do seu corpo após a segunda faixa de pontuação)
66         retorne SIM
67 fp5()
68     se (de alguma forma foi identificado que faz mais de 30s
69         que o boi foi deitado entre as faixas)
70         retorne SIM
71 fp6()
72     se (de alguma forma foi identificado que o boi se levantou)
73         retorne SIM

```

Figura 7. Algoritmo 1 - parte 3.

```

74 fp7()
75     se (de alguma forma foi identificado que mais de 50% do boi
76         está entre as duas faixas de pontuação)
77         retorne SIM
78 fp8()
79     se (de alguma forma foi identificado que após 30 segundos
80         do boi ser deitado entre as faixas, alguma parte do boi permanece
81         dentro da faixa, e o boi ainda está sendo reposicionado entre
82         as faixas de pontuação pelos vaqueiros)
83         retorne SIM
84 fp9()
85     se (de alguma forma foi identificado que o estereiro passou
86         pelo boi e voltou para reposicionar o boi entre as faixas de pontuação)
87         retorne SIM
88 fp10()
89     se (de alguma forma foi identificado que algum vaqueiro não montado
90         teve contato físico com o boi ao tentar reposicioná-lo)
91         retorne SIM
92 fp11()
93     se (de alguma forma foi identificado que o puxador agiu pelo lado errado)
94         retorne SIM

```

Figura 8. Algoritmo 1 - parte 4.

Conclusão

A vaquejada é um esporte bastante praticado no Nordeste brasileiro, e está enraizado de forma profunda na cultura desta região. Utilizar os conhecimentos adquiridos ao longo do curso, em prol da comunidade, e abordar essa temática no meio acadêmico, faz com que a universidade se torne ainda mais presente na sociedade. Assim, cumprindo um de seus principais papéis, que é propor soluções para demandas da comunidade.

As várias regras da vaquejada, que determinam a validade do boi são abstraídas pelos símbolos 1 (“validação”) e 0 (“invalidação”), de forma que esses dois símbolos são suficientes em uma abstração de alto nível do sistema.

O modelo apresentado se destaca como uma referência essencial para orientar futuras implementações, destacando-se por diversos pontos. Clareza, um AFD pode ser esboçado como um diagrama de estados, que evidencia de forma visual a essência do projeto. Generalismo, o

modelo deixa em aberto o uso de uma tecnologia para a implementação do projeto. Minúcia, uma vez que, o AFD fornece o passo a passo, do que fazer em cada situação, desde o início até a finalização do sistema, por isso, ele é chamado de determinístico. Rigor matemático, em razão de um AFD ter uma definição sólida e reconhecida no universo da teoria da computação. Replicabilidade, o AFD está definido e detalhadamente explicado, ele pode ser utilizado como base para a implementações futuras.

Como uma implementação futura da modelagem proposta vai julgar se o boi está 50% dentro da faixa, ou não (por exemplo), é um problema futuro. Seja qual for a abordagem adotada para solucionar esse problema, ela precisará, em análise final, ser discretizada, se quiser validar ou invalidar o boi e essa discretização precisará ser detalhada, informando como a discretização foi realizada.

Assim, este trabalho cumpriu seu objetivo, modelou um sistema embarcado como um AFD, que auxilie na validação do boi, em vaquejadas, iniciando no meio acadêmico, a discussão sobre a dificuldade em julgar a validação do boi, em uma vaquejada e projetando uma possível solução para o problema.

```

95  inicio
96  rj = -1
97  enquanto rj == -1
98      se fp1() == V // "boi caiu"
99          se fp3() == V // "não encostou na primeira faixa"
100             se fp4() == F // "não está próximo a segunda faixa de pontuação"
101                 rj = 1 // boi validado
102             enquanto rj == -1 // "está próximo a segunda faixa de pontuação"
103                 se fp9() == V ou fp10() == V ou fp11() == V
104                     // "boi foi invalidado por descumprimento de alguma regra"
105                     rj = 0 // boi invalidado
106                 se fp5() == V // "após 30s da queda"
107                     se fp7() == V // "mais de 50% entre as faixas"
108                         rj = 1 // boi validado
109                     se não
110                         se fp8() == V // "vaqueiro reposicionando o boi"
111                             rj = 1 // boi validado
112                         se não
113                             rj = 0 // boi invalidado
114                     se não
115                         se fp6() == V e fp7() == V
116                             // "boi levantou com mais de 50% entre as faixas"
117                             rj = 1 // boi validado
118                         se não // "encostou na primeira faixa"
119                             rj = 0 // boi invalidado
120                 se não fp2() == V // boi saiu das faixas
121                     rj = 0 // boi invalidado
122                 se fp9() == V ou fp10() == V ou fp11() == V
123                     // "boi foi invalidado por descumprimento de alguma regra"
124                     rj = 0 // boi invalidado
125  imprimir rj
126  fim

```

Figura 9. Algoritmo 1 - parte 5.

Referências

- ABVAQ (2022) Manual de Julgamento de Boi da ABVAQ 2022. João Pessoa: ABVAQ. Disponível em: <https://www.abvaq.com.br/regulamento>. Acesso em: 13/11/2023.
- ABVAQ (2023) Regulamento Geral da Vaquejada 2023. João Pessoa: ABVAQ. Disponível em: <https://www.abvaq.com.br/regulamento>. Acesso em: 13/11/2023.

- Araujo R.V. (2015) Algoritmo de Autorização de Serviços baseado em Autômatos Finitos. Rio de Janeiro: CEFET/RJ. 33 p.
- Chwif L. & Medina A.C. (2010) Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações. 3ª edição. São Paulo: Autor. 312 p.
- dos Santos Neto J. & Silva A.A. (2023) Estudo do Impacto da Adoção de Tecnologias Digitais no Futebol. *Revista Científica Multidisciplinar*, 4(3): e432923.
<https://doi.org/10.47820/recima21.v4i3.2923>
- Gantois R.A. (2015) Fair Play na arbitragem: a tecnologia no futebol. A importância do auxílio da tecnologia nas partidas do esporte mais popular do mundo. Monografia (Programa de Pós-Graduação em Jornalismo), Centro Universitário de Brasília, Instituto CEUB de Pesquisa e Desenvolvimento, Brasília.
- Gribkoff E. (2013) Applications of deterministic finite automata. Computer Science Theory (TTTTK2223). Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Hopcroft J.E., Motwani R. & Ullman J.D. (2001) Introduction to automata theory, languages, and computation. 2ª edition. *ACM SIGACT News*, 32(1): 60. <https://doi.org/10.1145/568438.568455>
- Katz L. (2002) Inovações na Tecnologia Esportiva: Implicações para o Futuro. *Revista Educação Física*, 3: 27-32.
- Lewis H.R. & Papadimitriou C.H. (1998) Elements of the Theory of Computation. 2ª edition. New Jersey: Prentice-Hall. 361 p.
- Oxford Languages (2023) Modelo. Disponível em: <https://www.google.com/search?q=defini%C3%A7%C3%A3o+de+modelo&oq=defini%C3%A7%C3%A3o+de&aqs=chrome.69i59j69i57j0i512l8.4925j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8> (Acesso em: 16/10/2023).
- Noergaard T. (2005) Embedded Systems Architecture: a Comprehensive Guide for Engineers and Programmers. Burlington: Elsevier. 656 p.
- Rodrigues F.L.F. & Cavalcante C.H.L. (2017) Desenvolvimento do jogo vaquejada para dispositivos Android, utilizando como motor gráfico. Canindé: IFCE.
- Sayão L.F. (2001) Modelos Teóricos em Ciência da Informação-abstração e Método Científico. *Ciência da informação*, 30: 82-91.
- Silva M.V.G. (2017) Autômatos, computabilidade e complexidade computacional. Curitiba: Universidade Federal do Paraná. 119 p.
- Sipser M. (2007) Introdução à Teoria da Computação. 2ª edição. São Paulo: Cengage Learning. 447 p.
- Veiga M.F.C. (2020) Da tourada em Portugal à Vaquejada no Brasil: Aspectos Jurídicos. Lisboa, Portugal: Universidade Autónoma de Lisboa.

Anexo A

Regras da derrubada do boi na vaquejada de acordo com o manual de julgamento da ABVAQ 2022.

1) A primeira faixa de pontuação é intocável pelas partes superiores do boi.

a) É considerada parte superior do boi da linha imaginária (**Figura 10**) onde se localiza o jarrete (joelho ou parte seca) para cima.



Figura 10. Métrica para considerar a derrubada do boi. **Fonte:** ABVAQ (2022).

2) Só será válido o boi, se o mesmo em algum momento da ação do puxador, ao deitar-se no solo, se soltar completamente e, ao levantar-se (considerando "levantar-se" como o momento em que o boi retoma o contato das extremidades de suas 4 patas com o solo, ou seja, o casco de cada uma delas tocar o solo e se firmar completamente) estiver com as patas entre as duas faixas de pontuação.

a) O boi deverá ser julgado quando o mesmo estiver em pé, depois das 4 (quatro) patas firmadas, jamais no momento em que o boi tirar a barriga do solo. Boi alavancado, não pode ser considerado firmado e, portanto, não pode ser julgado.

b) Só será válido o boi na faixa, se o puxador agir pelo lado certo (se de direita ou de esquerda).

c) O boi na faixa só terá validade se, e somente se, tiver a ação direta do puxador, ou seja, o vaqueiro puxador, desde que esteja montado no seu cavalo, deve ter puxado no protetor de cauda do bovino.

d) Se o puxador não conseguir validar o boi de imediato, o esteireiro pode auxiliá-lo com o seu animal, desde que venha na corrida.

e) Se o esteireiro passar pelo boi não poderá mais voltar para completar a pontuação do mesmo, salvo se ainda estiver ocorrendo ação da puxada ainda em movimento.

f) Se o boi cair sozinho dentro da faixa de pontuação, sem a ação direta do puxador não vale para pontuação, será zero (0).

g) Em caso de segundo cal, em que se precise julgar se o boi saiu ou não, mais de 50%, deverá o juiz de pista, proceder da seguinte forma:

g.1 Dentro dos 30 segundos previstos no regulamento geral da ABVAQ, caso o boi se levante fora do segundo cal, será julgado zero pelo juiz de pista;

g.2 Caso o competidor consiga reposicionar o boi, para que se levante entre as faixas, ou se o boi permanecer imóvel no prazo de 30 segundos, o boi deverá ser remetido à comissão alternativa, sem ônus para o vaqueiro, para que seja julgado a questão dos 50%.

g.3 A comissão alternativa verificando que o boi estava com menos 50% para fora, validará o boi, independentemente de onde o bovino se firme, do contrário permanece zero.

h) Após o boi ser deitado entre as faixas, o juiz terá no máximo 30 segundos, para julgá-lo. Caso o boi ainda esteja sendo trabalhado pelo vaqueiro, o juiz deverá julgá-lo em favor do competidor.

i) O vaqueiro, caso não esteja montado no seu cavalo, só poderá participar do reposicionamento do bovino, quer na faixa, ou em qualquer outro local da pista de competição, se não houver contato físico com o boi. Caso haja contato físico, nesse caso, o boi será julgado zero.

3) Ao adentrar na faixa de pontuação, o boi não poderá mais sair da mesma total ou parcialmente antes de dar ponto.

a) Se, ao adentrar na faixa de pontuação, o boi tocar a parte externa da faixa, com qualquer parte do corpo, antes de dar ponto, o mesmo será julgado zero, mesmo que o puxador, seguindo na puxada, consiga trazê-lo para dentro e deitá-lo.