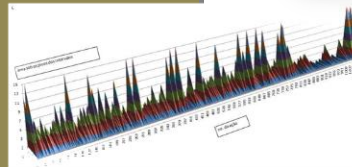
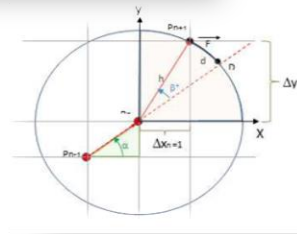
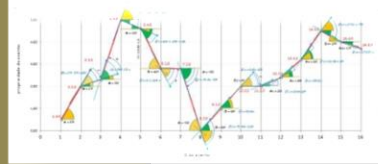
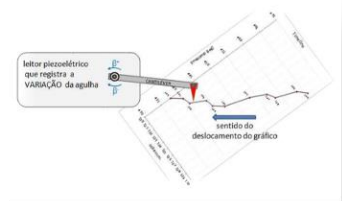


MYRIAM KIENITZ LEMOS



ANÁLISE DE PADRÕES EM REGISTROS DE JOGO COMPUTACIONAL NEUROPSICOPEDAGÓGICO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

MYRIAM KIENITZ LEMOS

ANÁLISE DE PADRÕES EM REGISTROS DE JOGO
COMPUTACIONAL NEUROPSICOPEDAGÓGICO

Rio de Janeiro
2020

Myriam Kienitz Lemos

ANÁLISE DE PADRÕES EM REGISTROS DE JOGO
COMPUTACIONAL NEUROPSICOPEDAGÓGICO

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito parcial à obtenção do título de Doutor.

Orientadora: Maira Monteiro Fróes

Co - Orientador: Marcelo Miranda Barros

Rio de Janeiro
2020

- L47a Lemos, Myriam Kienitz
Análise de padrões em registros de jogo
computacional neuropsicopedagógico / Myriam Kienitz
Lemos. -- Rio de Janeiro, 2020.
110 f.
- Orientadora: Maira Monteiro Fróes.
Coorientador: Marcelo Miranda Barros.
Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio
de Janeiro, Decania do Centro de Ciências
Matemáticas e da Natureza, Programa de Pós-Graduação
em História das Ciências e das Técnicas e
Epistemologia, 2020.
1. Cognição humana e sistemas complexos. 2.
Neuropsicopedagogia. 3. Análise trigonométrica de
padrões. 4. Rugosidade. 5. Jogos computacionais. I.
Fróes, Maira Monteiro , orient. II. Barros, Marcelo
Miranda , coorient. III. Título.

Myriam Kienitz Lemos

ANÁLISE DE PADRÕES EM REGISTROS DE JOGO COMPUTACIONAL NEUROPSICOPEDAGÓGICO

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito parcial à obtenção do título de Doutor.

Aprovada em 03 de agosto de 2020.

Maira Monteiro Fróes, DSc, PPGHCTE/UFRJ

Ricardo Kubrusly, DSc, PPGHCTE/UFRJ

Marcelo Miranda Barros, DSc, Departamento de Estruturas/UFJF

Katia Nunes Sá, DSc, EBMSP

Luiz Bevilacqua, Ph.D, COPPE/UFRJ

Claudia Lage Rebello da Motta, DSc, PPGI/NCE/UFRJ

Ao meu pai Wolf

De mi próprio maestro solamente puedo decir que el también produjo entre sus amigos una obra en la que ellos, sin saberlo, actuaron a perfección, y cuya trama fué su propia muerte. Em silencio dió instrucciones a sus corazones; algunos las reconocieron, otros no. “Siempre estaré com vosotros” pudo haber dicho también él – pero en forma ligera [...].

A Teoria da Vida Eterna. Versão em espanhol licenciada a Roberto Guzman. México. (1951, p. 145).

AGRADECIMENTOS

Uma história de meio século rebobina no tempo (quem tem meio século conhecerá este termo) iniciando na mente, deflagrando emoções e o sentimento de gratidão! A constatação da responsabilidade e o respeito por todos que fazem parte desta ontogênese.

Deus decidiu por meu nascimento. Agradeço a cada oportunidade de aprendizado e evolução proporcionada por um novo nascer do sol que pude assistir desde então!

Fui designada a nascer em uma família que em sua trajetória viveu experiências que nortearam a tomada de decisões intensas que impactariam irreversivelmente nas gerações posteriores. Nascer, passar a infância, a adolescência ou a juventude em meio a uma Guerra Mundial é uma experiência da magnitude de uma bomba atômica para um ser humano. Que dirá passar por duas! Assim foi para os meus bisavós, avós e pais. Mas Deus dotou o ser humano de resiliência para reparar, aprender e renascer apesar de suas dores e feridas. E se nossa família alemã – austríaca por um capricho do destino se encontrou em Barra do Piraí, no Brasil, existe uma razão de profundo aprender muito especial para este acontecimento! Agradeço a todos os meus antepassados por cada dia que dedicaram à sobrevivência desta linhagem genética da qual faço parte, por terem feito o melhor que puderam de si, nas condições à sua época.

Família - o núcleo mais sólido cujas referências determinarão e aportarão as condições psíquicas para o enfrentamento das adversidades que se apresentarão nesta passagem - nem tão longa, nem tão curta - desta vida. Quais palavras seriam suficientes para expressar a gratidão por pais que deram tudo de si, abdicaram de sonhos, sacrificaram o luxo, decidiram enfrentar a adversidade e escolher uma vida afastada dos centros urbanos, reduziram ao máximo a interferência midiática de baixa qualidade e nos mostraram a verdadeira riqueza da vida nos colocando dentro de um manancial de conhecimento que vem aportando as condições para aprender o mais importante – o conhecimento sobre si mesmo. Que palavras para agradecer? Simplesmente OBRIGADA PAPAI WOLF E MAMÃE ZISSI!

E ainda no legado familiar tudo que construímos juntos, nas diversas situações pelas quais passamos agradeço ao meu paciente, carinhoso, leal, fiel, amigo, parceiro, conselheiro, artista, ciclista, amor e marido Luiz Sérgio. Ao nosso

filho Henrique que também vem acompanhando minha trajetória e tem se revelado um parceirão! Como é bom ser sua mãe e poder contribuir para a formação de seu ser! Como cresço e me divirto com nossas conversas! Se eu escrever mais um pouco revelarei a autêntica mãe coruja – leoa que habita em mim! Irei poupá-los desta vez! Às minhas irmãs Agnes e Natália que eu simplesmente adoro principalmente quando me chamam carinhosamente de “Memé” ou “Mãe... Myriam”! Acho que não preciso dizer mais nada... Ao meu irmão Thomas que chegou a nossa família antes de todas nós, Wolfetes, para nos ensinar o quanto ele é especial sendo especial. Aos meus tios e primos que sempre torcem pelas conquistas de cada membro da família. Afinal na “Liga dos Kienitz” compartilhamos mais alegrias do que tristezas nos últimos tempos!

Sobre o manancial mencionado anteriormente, a experiência de nascer e ser educada segundo as ideias do Sr. Gurdjieff. Conviver com pessoas comuns extraordinárias e buscadoras do autoconhecimento pelo trabalho e o esforço constitui-se em um pilar em minha formação humana. Agradeço a todos os amigos, companheiros desta rede de sustentação de um modelo educativo que congrega o corpo, a mente e os sentimentos.

A todos os professores (as) que contribuíram para a minha trajetória acadêmica eterna gratidão! Aos professores Kátia Sá, Izabel Cafezeiro, Ricardo Kubrusly e Alfredo Boente pelas palavras valorosas por ocasião do Exame de Qualificação. Ao professor Raul Gomes de Siqueira Filho pela amizade de longa data e suas contribuições preciosas no artigo de transdução de dados cognitivos para valores musicais. Aos professores da banca que generosamente aceitaram fazer parte desta etapa tão importante de minha trajetória.

Aos meus professores – orientadores Maira Monteiro Fróes, Marcelo Miranda Barros e Wolfgang Kurt Kientiz (*in memorium*). Maira, querida, desde quando a conheci fui arrebatada pelo ser humano que você personifica e por sua essência amorosamente exigente consigo mesma e, portanto, com seus orientandos. Naquele momento a escolhi e agradeço imensamente a sua coragem em me aceitar e embarcar nesta aventura cheia de incertezas, revelações e construções únicas! Estes anos de convívio foram indescritíveis! Guardo, além de todo o conhecimento construído, uma amizade entre almas e um exemplo da relação linda e generosa possível de ser estabelecida entre o mestre e o aprendiz. Gratidão pelo período de paz, beleza, respeito e amorosidade durante nosso fazer científico! Marcelo, querido!

Nossos destinos se encontraram no final do Mestrado. Tive a certeza de que trabalharíamos juntos em algum momento. Quando você aceitou integrar-se a esta pesquisa quase explodi de felicidade! Suas contribuições nos levaram ao patamar que alcançamos. Você é o cara! Pessoa linda! A coragem em realizar uma pesquisa em área tão diferente de sua formação é exemplar! Tem sido um presente conviver com um ser humano que reúne tantas qualidades. Preservo em meu coração um entrelaçamento espiritual cujos encontros de produção científica foram sempre regados de emoção, arrebatamento, alegria, café quentinho e delícias preparadas com muito carinho por minha mãe! Já estou sentindo saudades! Obrigada por sua generosidade e paciência! Wolf, papai, quando iniciamos esta jornada? A científica acadêmica não foi há 10 anos como pensávamos. Foi bem antes disso quando estudávamos matemática, física e química juntos inúmeras vezes; quando fui sua ajudante nos experimentos científicos na cozinha da mamãe; quando me levava para aprender a consertar o motor dos carros; quando te acompanhei nas visitas às diversas fábricas. E se volto ainda mais no tempo lembro-me de brinquedos como uma caixa de química, um microscópio, balanças, modelos para montagem, inúmeros jogos e quebra-cabeças. Incontáveis oportunidades em que você me colocou diante da natureza e de seus fenômenos implantando em mim o espírito investigador e o encantamento pela ciência. Todas as vezes em que me lembro de sua felicidade, seu brilho nos olhos enquanto nos desenvolvemos nestes últimos 10 anos com novos “brinquedos” no Mestrado e no Doutorado, sinto que retribuí o investimento imaterial que você dedicou a mim. Sei que te dei muito trabalho! Obrigada por sempre encontrar uma forma de “traduzir” o que não compreendia do mundo. Você foi embora cedo demais. Este título é seu! Estaremos sempre juntos em qualquer que seja a dimensão.

Às minhas amigas queridas especialmente à Ana Cristina, sempre presente, que me brinda com sua amizade-irmandade e me dá forças para seguir nesta jornada!

Ao HCTE (Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia e ao LAMAE (complexo de Laboratórios de Métodos Avançados e Epistemologia) onde são desenvolvidas pesquisas de caráter interfacial que abarcam questões relativas à subjetividade nos processos de razão e lógica, incluindo aqueles aplicados à ciência, unificando práticas interdisciplinares e inovadoras no NCE/UFRJ, em parceria com o Espaço Alexandria (PR2/UFRJ);

FAETERJ Duque de Caxias (MatFuzzy); LabFuzzy/COPPE/UFRJ; HCTE/UFRJ e Games Inteligentes do Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais (NCE/UFRJ). Por existirem, protegerem e permitirem que a interdisciplinaridade, imbuída de suas singularidades e complexidades possa de fato ser expressa nas pesquisas que fomentam! Encontrei meu habitat científico e nele me fortaleci!

A parceria com o NCE/UFRJ que desenvolve os recursos computacionais não invasivos Games Inteligentes e ao Departamento de Estruturas da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) que desenvolve pesquisas de análise fractal em sistemas complexos. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Ao corpo docente, colegas e funcionários da secretaria do HCTE com os quais tive o privilégio de conviver. Obrigada pelas oportunidades de trocas e amizade!

RESUMO

LEMOS, Myriam Kienitz. **Análise de padrões em registros de jogo computacional neuropsicopedagógico**. Tese (Doutorado em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia) – Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

A cognição é sem dúvida a função mais complexa do organismo humano e encontra-se transduzida nas ações de um indivíduo em situação de jogo, tornando-se, em certo grau, legível na perspectiva de um observador, bem como possível objeto para estudos científicos. O reconhecimento de padrões de ordem em sistemas complexos, como aqueles envolvendo cognição e comportamento humano, é passo fundante para a identificação dos sistemas funcionais envolvidos em sua dinâmica, e para que se alcance níveis desejáveis de controle. Nesta pesquisa, procuramos desenvolver um sistema analítico que pudesse provar-se adequado à identificação de padrões matemáticos levantados a partir da análise de séries numéricas de dados registrados pela interação do humano com jogos computacionais. Os padrões, uma vez identificados em bases objetivas, poderão substanciar análises futuras que visem testar hipóteses de correlação com perfis cognitivos, classificados a partir de nossa amostra de jogadores e jogadas. Neste estudo, utilizamos como fonte de dados experimentais logs correspondentes ao registro das ações (cliques no mouse) de 20 jogadores na linha do tempo, realizadas em situação de jogo computacional, denominado Jogo dos Elásticos (LEMOS, 2013). Desenvolvemos um sistema analítico, ou método, cuja medida mais importante é o ângulo de deflexão, definido a partir de diferenças de medidas angulares, geradas por tratamento trigonométrico dos valores consecutivos assumidos por uma variável dependente, o tempo decorrido entre ações, e que reflete alterações de comportamento cognitivo e ação, exercidos pelos jogadores. As diferenças angulares foram organizadas em distribuições de frequência e comparadas quantitativamente por análise dos Coeficientes de Forma e Simetria aqui propostos. Três grupos de curvas, aparentemente bem distintos entre si, foram sugeridos, tendo como base perfis de distribuição de frequência dos ângulos de deflexão típicos. Observou-se comportamento oscilatório das variáveis medidas, com tendência ao retorno para faixas de valores caracterizadas em tempos progressos, sugerindo um sistema propenso ao equilíbrio, ainda que dinâmico. Apostamos ainda num outro caminho, qual seja a possibilidade da classificação dos indivíduos em grupos sugeridos a partir de qualificadores de construtos musicais. Nossos ensaios sugeriram a ocorrência de três perfis de combinação das sequências de notas sonoras, indicando possível adequabilidade deste sistema como proposta pré-classificatória para análise futura de perfis de comportamento cognitivo.

Palavras-Chave: cognição – padrões – jogo computacional – neuropsicopedagogia – rugosidade

ABSTRACT

LEMOS, Myriam Kienitz. **Analysis of patterns in records of a neuropsychopedagogical computational game.** Thesis (Doctorate in History of Science and Techniques and Epistemology) - Center for Mathematical and Nature Sciences, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

Cognition is undoubtedly the most complex function of the human organism and is transduced in the actions of an individual in a game situation, becoming, to some degree, readable from the perspective of an observer, as well as a possible object for scientific studies. The recognition of order patterns in complex systems, such as those involving cognition and human behavior, is a fundamental step towards the identification of the functional systems involved in their dynamics, and to achieve desirable levels of control. In this research, we seek to develop an analytical system that could prove to be suitable for the identification of mathematical patterns raised from the analysis of numerical series of data registered by the human interaction with computational games. The patterns, once identified on an objective basis, may substantiate future analyzes that aim to test hypotheses of correlation with cognitive profiles, classified from our sample of players and plays. In this study, we used logs corresponding to the record of actions (clicks on the mouse) of 20 players on the timeline, performed in a computer game situation, called Jogo dos Elásticos (LEMOS, 2013) as a source of experimental data. We developed an analytical system, or method, whose most important measure is the deflection angle, defined from differences in angular measures, generated by trigonometric treatment of the consecutive values assumed by a dependent variable, the time elapsed between actions, and which reflects changes of cognitive behavior and action, exercised by the players. The angular differences were organized in frequency distributions and compared quantitatively by analyzing the Form and Symmetry Coefficients proposed here. Three groups of curves, apparently quite distinct from each other, have been suggested, based on the frequency distribution profiles of typical deflection angles. There was an oscillatory behavior of the measured variables, with a tendency to return to ranges of values characterized in previous times, suggesting a system prone to equilibrium, even if dynamic. We bet on yet another path, which is the possibility to classification of individuals in groups suggested from qualifiers of musical constructs. Our tests suggested the occurrence of three combination profiles of the sequences of sound notes, indicating possible suitability of this system as a pre-classification proposal for future analysis of cognitive behavior profiles.

Keywords: cognition - patterns - computational game - neuropsychopedagogy - roughness

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	À esquerda em miniatura a tela de abertura do Jogo dos Elásticos e à direita, expandida, a primeira tela de ação	20
Figura 2	Jogo dos Elásticos – primeira tela de interpretação	21
Figura 3	Exemplo de registro do <i>log</i> no formato .txt	22
Figura 4	Recorte de <i>timestamps</i> iniciais de 20 indivíduos no Jogo dos Elásticos	26
Figura 5	<i>Timeline</i> (azul), intervalos de tempo entre ações (verde) e o ângulo de deflexão β (magenta) do dado produzido por um jogador.	27
Figura 6	Três pontos genéricos da <i>timeline</i> sempre ascendente no quadrante positivo com as respectivas restrições impostas aos ângulos α_{n-1} e α .	30
Figura 7	Três modos possíveis em que pontos consecutivos podem ocorrer numa curva com as respectivas inclinações (ângulos α) dos segmentos que os une. Em <i>timelines</i> ocorrem somente deflexões (β) entre -90° e $+90^\circ$. Na figura A : $\beta+$ (positivo) reflete desaceleração na sucessão de ações, pois decorre do aumento nos valores de intervalo de tempo consecutivos; em B : $\beta-$ (negativo) reflete aceleração na sucessão de ações, pois decorre da diminuição nos valores de intervalo de tempo consecutivos e em C : inércia. Imagens com animação criadas no <i>software</i> Algodoo.	31
Figura 8	Exemplo de <i>timeline</i> invertida para dados do Jogo dos Elásticos	35
Figura 9	Análise das Variações do comportamento (f) entre dois “instantes” consecutivos (t_n e t_{n+1})	37
Figura 10	Recorte de 70 ações (de 80 a 150) na <i>timeline</i> (invertida) ampliada duas vezes. Evidencia o caráter fractal multiescala, onde se revelam detalhes na curva rugosa na medida em que se aproxima a observação.	38
Figura 11	Exemplo genérico de distribuição de frequência de ângulos de deflexão	40
Figura 12	Correspondência de classes e figuras de som	42
Figura 13	Frequência de cada nota musical para os 20 jogadores	42
Figura 14	Distribuição da frequência estatística de beta (β) para sua correspondente frequência sonora	43
Figura 15	Transdução de intervalos sequenciais em notas musicais de ações do Jogador 1	43
Figura 16	Vinte primeiros compassos do construto musical resultante do ensaio para o Jogador 1 no <i>Encore 5</i>	44
Figura 17	Esquema síntese do sistema analítico de padrões	45
Figura 18	Correspondências na conversão do dado linear em angular	47

Figura 19	Correspondência interpretativa entre a <i>timeline</i> e o círculo trigonométrico	47
Figura 20	Correspondência linear dada pela equação da linha de tendência $y=0,0227x - 0.0565$ para intervalos $< 1, 2$ s e $\alpha < 50^\circ$	48
Figura 21	Curva dos intervalos (linha verde no gráfico ao centro) expressa pelos ângulos α (linha rosa nos gráficos inferior e superior). Amplificação dos dados no trecho inicial (0-200 ações) no gráfico superior e compressão dos intervalos maiores no limite de 0-90° no trecho final da jogada (800-1064 ações) no gráfico inferior. A linha azul corresponde à <i>timeline</i>	49
Figura 22	Frequência acumulada de intervalos do Jogador 1 perfazendo 87,4% dos intervalos menores que 5s e apenas 5,1% maiores que 10s	50
Figura 23	Recorte de uma <i>timeline</i> mostrando as oscilações da “rota” representadas nas áreas em azul pelos ângulos de deflexão β	51
Figura 24a	Ângulos de deflexão ao longo das ações dos Jogadores 1 a 4	52
Figura 24b	Ângulos de deflexão ao longo das ações dos Jogadores 5 a 12	53
Figura 24c	Ângulos de deflexão ao longo das ações dos Jogadores 13 a 20	54
Figura 25	Distribuição arbitrária da frequência de valores β em sete classes	55
Figura 26	Distribuições de frequência do ângulo de deflexão para os vinte jogadores. O eixo horizontal representa as intensidades dos ângulos de deflexão e o eixo vertical representa as quantidades de ocorrências de cada intervalo de valores de β	56
Figura 27	Ordenação dos Jogadores quanto ao Coeficiente de Forma (Φ)	58
Figura 28	Três perfis emergentes das vinte curvas a partir do Φ : a; b e c, correspondendo respectivamente aos Jogadores 2, 7 e 12 que caracterizam cada perfil.	58
Figura 29	Comparativo entre o Φ e a inspeção visual. Cada aluno ocupa uma posição na abscissa segundo seu Φ (em azul) e sua posição na inspeção visual (em vermelho). A largura de cada moldura mostra o grau de aproximação posicional entre os dois métodos	59
Figura 30	Ordenação dos jogadores em termos de Coeficientes de Simetria. Desta forma o Jogador 3 tem um comportamento mais simétrico que o Jogador 13	60
Figura 31	Construto musical do Jogador 1	70
Figura 32	Construto musical do Jogador 5	71
Figura 33	Construto musical do Jogador 3	71
Figura 34	Construtos musicais dos Jogadores 7 (esquerda) e 8 (direita)	71
Figura 35	Construto musical do Jogador 6 - regularidade na distribuição das notas nos compassos	71

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	01
1.1	HIPÓTESES	05
1.2	OBJETIVO	05
1.2.1	Objetivo Geral	05
1.2.2	Objetivos Específicos	06
1.3	ORGANIZAÇÃO DA TESE	06
2	FUNDAMENTOS: O TEMPO, A RUGOSIDADE E O ÂNGULO DE DEFLEXÃO	08
2.1	O TEMPO	08
2.2	A RUGOSIDADE COMO PARÂMETRO PARA A IDENTIFICAÇÃO DA COMPLEXIDADE	09
2.3	O ÂNGULO DE DEFLEXÃO – ANÁLISE TRIGONOMÉTRICA	11
2.4	TRANSDUÇÃO ESCALAR PARA ANGULAR	13
3	O JOGO COMPUTACIONAL COMO FERRAMENTA DE REGISTRO COGNITIVO	15
3.1	BREVE PANORAMA DOS JOGOS COMPUTACIONAIS COM PROPÓSITO	15
3.2	JOGOS SÉRIOS	17
3.3	DO JOGO NEUROPSICOPEDAGÓGICO AO <i>GAME</i> INTELIGENTE	18
3.4	O JOGO DOS ELÁSTICOS	20
3.4.1	Aquisição de dados	21
3.4.2	O experimento piloto	22
4	METODOLOGIA	24
4.1	ENGENHARIA REVERSA	24
4.2	ARQUITETURA DO PROCEDIMENTO DE ANÁLISE	25
4.2.1	A ferramenta de registro	25
4.2.2	Caracterização dos dados	25
4.2.3	Conversão linear para angular	29
4.2.4	Estudo do ângulo de deflexão β na <i>timeline</i> particular	30
4.2.5	A <i>timeline</i> invertida	34
4.2.6	O estudo das variações	36

4.2.7	Tratamento matemático e estatístico	38
4.2.8	Aplicação para os dados do Jogo dos Elásticos	40
4.2.9	Transdução para valores musicais	42
4.3	SÍNTESE	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1	INVESTIGAÇÃO DE PADRÕES PELA OBSERVAÇÃO DAS VARIAÇÕES DE COMPORTAMENTO	46
5.1.1	A variação de α e β	46
5.1.2	Relação funcional entre registros temporais	50
5.2	O SISTEMA ANALÍTICO PARA OS DADOS DO JOGO DOS ELÁSTICOS	55
5.2.1	Distribuição de Frequência (f_{β}) dos Ângulos de Deflexão (β) e o Coeficiente de Forma (Φ)	55
5.2.2	Coeficiente de Simetria (Ψ)	60
5.3	SIMETRIA E O PROCESSO ADAPTATIVO – EQUILIBRAÇÃO E DESEQUILIBRAÇÃO	61
5.4	NOTAS SOBRE IMPLICAÇÕES BIOFÍSICAS DE UMA ANÁLISE DO TEMPO COMO VARIÁVEL DEPENDENTE	66
5.5	A TRANSDUÇÃO PARAMÉTRICA DOS INTERVALOS ENTRE AÇÕES EM VALORES MUSICAIS	69
6	CONSIDERAÇÕES	73
6.1	CONTRIBUIÇÕES DA TESE	74
6.2	TRABALHOS FUTUROS	76
6.3	PALAVRAS FINAIS	77
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
	APÊNDICE A	87
	APÊNDICE B	88

1 INTRODUÇÃO

No Mestrado em Informática idealizamos um jogo computacional, Jogo dos Elásticos (LEMOS, 2013) que proporcionasse uma experiência de aprendizagem e promovesse avanços cognitivos durante o tempo da jogada. O Jogo dos Elásticos, uma versão digital do original em material manipulável, de autoria de Marques (2017), integra um conjunto de jogos neuropsicopedagógicos que são estudados há mais de 15 anos pelo grupo de Games Inteligentes, da linha de pesquisa Informática, Educação e Sociedade, do Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais NCE (UFRJ).

Intrigados com a dinâmica da cognição na resolução de problemas, desenvolvemos a ferramenta jogo, tal que, por meio do tempo de cada ação realizada e registrada em seu *log*, tivéssemos um volume considerável de dados que possibilitasse observar e diferenciar comportamentos cognitivos (LEMOS, 2013). Uma coleta piloto revelou a complexidade em interpretar as informações do conjunto de dados e em significá-los à luz da ciência cognitiva (LEMOS, 2013).

A não existência de um método de análise adequado aos dados registrados no jogo direcionou o prosseguimento do estudo na tentativa de contribuir para o fortalecimento de pesquisas que envolvem o desenvolvimento de jogos neuropsicopedagógicos e estudos sobre a dinâmica da cognição humana. Dedicamo-nos, portanto, a investigação da natureza dos dados registrados no jogo e à elaboração de um método analítico para o reconhecimento de padrões.

O estudo de padrões em comportamentos complexos tem contribuído para o avanço científico na caracterização, por exemplo, de diversos fenômenos e expressões na natureza que vão desde a dinâmica dos fluidos, na geração de ondas e na velocidade dos ventos (MONTEIRO, 2017), assim como em registros de ocorrências de fenômenos humanos, a exemplo do ritmo dos batimentos cardíacos (CREANGA, 2009) e da análise não linear para a identificação de padrões sonoros em séries de sons pulmonares humanos (CUSTÓDIO, 1999). O alargamento deste campo se intensificou com o advento da computação e a automação da visualização de dados possibilitando o exercício de simulações matemáticas que pudessem testar, com precisão e rapidez, hipóteses de organização/estruturação dos dados. Estas simulações contavam antes somente com os recursos matemáticos e a imaginação de especialistas que se dedicavam a enxergar padrões de ordem em

meio a incertezas e irregularidades (MANDELBROT, 1982 apud HEIN, 1995). Estabeleceu-se, deste modo, a análise de sistemas não lineares, fortalecendo o vasto campo científico dos sistemas complexos (GRESSLER, 2008).

Sistemas lineares, caracterizados por comportamento simples, produzem respostas dentro de margens estatísticas previsíveis, como o **avanço do tempo** marcado por um relógio. Sistemas dinâmicos não lineares, caracterizados por comportamento complexo, produzem resultados muitas vezes caóticos, imprevisíveis, identificáveis pela superfície de dados extremamente rugosa que produzem. Padrões dinâmicos, portanto, variáveis no domínio do tempo, são esperados nestes sistemas, no entanto, caracterizá-los é frequentemente um desafio.

A geometria fractal auxilia na caracterização e compreensão de padrões complexos (BARROS, 2011) e como princípio de estruturação da natureza (MANDELBROT, 1982 apud HEIN, 1995) se aplica a fenômenos que envolvem incertezas, irregularidades, estruturas escalares de propriedades autossimilares e dimensão fractal (MOREIRA *in* NUSSENZVEIG, 2008). Aporta, caracteristicamente, um conjunto de técnicas para o estudo das formas irregulares não estudadas pela matemática clássica euclidiana (MANDELBROT, 1982; COVA, SOUZA, ARAÚJO, 2010). Mandelbrot (2006) destaca o caráter multiescalar da dimensão fractal, ou seja, a persistência de um determinado padrão em múltiplas escalas de mensuração. Reafirma a universalidade dos fractais caracterizados por invariâncias do grau de sua irregularidade/fragmentação, semelhantes em um intervalo de escalas. Curvas, superfícies ou poeiras possuem propriedades geométricas e físicas cujas medidas intrínsecas podem ser mensuradas por parâmetro matemático da relação entre escalas e medidas (MANDELBROT, 2006).

A geometria fractal tem sido estudada e aplicada na solução de problemas em diferentes áreas de conhecimento a partir, justamente, da análise da rugosidade. Esta propriedade reflete as forças de armazenamento e disponibilização das informações referentes à natureza constituinte do material. A dimensão fractal, segundo Mandelbrot (1982) é uma medida do **grau de rugosidade**. Mandelbrot (2006) assegura que a rugosidade está em toda parte e é um parâmetro considerado para descrever formas da natureza, superfícies de metais e interpretar variações do clima, assim como de preços financeiros (de certa forma uma expressão de origem natural) e ainda na modelagem da intermitência da turbulência,

fenômenos diferentes que podem ser abordados essencialmente com as mesmas ferramentas (MANDELBROT, 2006).

Segundo Mandelbrot (2006), empreender abordagens diferentes a conhecimentos científicos estabelecidos passa por três fases: a criação de um vocabulário próprio e suficientemente enriquecedor; a organização de uma narrativa convincente e apaziguadora de que os fundamentos permanecem irrefutáveis, contudo podem ser abordados com novos entrelaçamentos e, por último, com uma ciência quantitativa adequada. Para o autor, o desenvolvimento de sistemas quantitativos de medida pode mover um campo até a sua maturidade.

Retomando a cognição humana, objeto de nossa análise, o contato com Kromer (1999) e sua proposta de que redes neurais seriam baseadas em algoritmos fractais apontou para possíveis entrelaçamentos percebidos intuitivamente acerca da hipótese de uma ordem subjacente à dinâmica da cognição. O modelo multiescalar proposto por Friston e Park (2013) que endereçam a natureza funcional do cérebro a partir da análise de ordens dinâmicas e de propriedades de auto-organização hierárquica presente em redes funcionais multiescala (micro e macroscópico) dos circuitos neuronais do cérebro corrobora com o delineamento da pesquisa. Os autores indicam que para compreender essas redes faz-se necessário definir modelos teóricos de processamento neuronal, subjacentes à cognição. Ressaltam a importância da relação estrutura/função no cérebro. Para os autores a conectividade neural define circuitos funcionais dinâmicos que se sobrepõem e se ancoram em conexões relativamente permanentes da circuitaria, sugerindo a modelagem computacional como sistema de estudo das possibilidades de comportamento ordenado no cérebro. Estas propostas inspiram interpretações inovadoras da cognição humana e desafiam a formação de conexões com teorias fundantes para a ciência da Pedagogia e da Psicologia Humana, endereçadas a teóricos renomados como Piaget, Luria e Vigostsky que em seu legado deixaram pistas de entrelaçamentos interdisciplinares para o avanço científico.

O arcabouço teórico da Pedagogia abarca aspectos biológicos e psicológicos cujo alicerce se encontra na Epistemologia Genética - teoria do conhecimento com base no estudo da gênese psicológica do pensamento humano – proposto por Piaget (LA TAILLE, 1992). Piaget (1987) defendeu um modelo de formação de estruturas mentais – as macrogêneses cognitivas, que se dava ao longo das fases de crescimento e amadurecimento. Propôs o desenvolvimento cognitivo como um

processo composto de equilíbrios e desequilíbrios, passando por estágios adaptativos que integram assimilação e acomodação. Inhelder (1996) avançou nos estudos depreendidos por Piaget em relação aos aspectos funcionais da cognição e propôs a observação das microgêneses cognitivas¹ para a formação das estruturas cognitivas, durante a resolução de problemas. Descreveu ainda a formação de esquemas cognitivos inovadores como um processo resultante da *découpage* de esquemas familiares² em prototípicos³. Demonstrou que este processo está desvinculado de estágios cronológicos pré-definidos, tal qual preconizava, outrora, Piaget.

Considerados entre os precursores das neurociências, Luria (1973) e Vigostsky (2008) contribuíram significativamente para a neuropsicologia e a neuroplasticidade associadas ao aprendizado humano, propondo sistemas de reabilitação cognitiva, baseados na dinâmica cerebral. Vygotsky (OLIVEIRA in LA TAILLE, 1992) se interessou pelos processos que envolvem a formação da linguagem cuja base biológica do funcionamento psicológico tem como premissa o cérebro como um sistema funcional complexo, com capacidade para criar funções sem modificar suas condições morfológicas. Para Vygotsky o cérebro busca com diferentes estratégias garantir a estabilidade e a constância do resultado em cada sistema funcional. Estas abordagens, hoje clássicas, constituem as bases do conhecimento contemporâneo acerca do processo da aprendizagem e da formação do sujeito cognoscente⁴.

No campo da racionalização de manifestações intangíveis um campo vasto e em permanente desenvolvimento pode ser reconhecido na psicométrica que consiste na medida do comportamento através de processos mentais (PASQUALI, 2008). A psicométrica deu origem ao conceito de testes de inteligência cujos sistemas de quantificação buscam dar sentido às respostas observáveis produzidas por um

¹ Microgêneses Cognitivas: trata-se de análise minuciosa das condutas cognitivas individualizadas na resolução de problemas evidenciando as características do processo interativo entre o sujeito e o objeto e a integração de eventuais soluções e sucessivos modelos parciais de solução ao problema (INHELDER, 1996, p.12)

² Esquemas Familiares: esquemas cognitivos conhecidos ou familiares escolhidos pelo sujeito para a resolução de problemas (INHELDER, 1996).

³ Esquema Prototípico: isolamento ou *découpage* pelo sujeito de uma unidade privilegiada de trabalho, a partir da globalidade sincrética e imprecisa do problema (INHELDER, 1996).

⁴ Sujeito Cognoscente: abordagem compreensiva global que integra a distinção entre sujeito epistêmico e sujeito psicológico assegurando a análise globalizante do sujeito "(...) levando em conta todos os aspectos que podem contribuir para a elucidação do funcionamento cognitivo, sem poder, certamente, esgotá-los, uma vez que só estudamos o que é acessível a um sujeito num dado momento" (INHELDER, 1996, p.9).

indivíduo enquanto realiza um teste. Ainda argumentando sobre a possibilidade de medir a inteligência, Guilford (1977) defende um modelo cognitivo no qual a inteligência se definiria como um espectro de possibilidades, podendo ser mensurada.

Assumindo a cognição humana como um sistema complexo propomos um entrelaçamento interdisciplinar envolvendo a observação do objeto sob perspectivas ainda não exploradas. Adotamos a matemática como alicerçal na identificação de padrões de ordem que possam ser, em algum aspecto, ancorados em universais como os estágios adaptativos (PIAGET, 1987) definidos como constituintes da dinâmica da cognição. De forma introdutória relacionamos os achados na biofísica dos sistemas biológicos.

Entendemos como Fawcett e Nicolson (2007) a necessidade de que a Pedagogia passe por transformações em função das pesquisas depreendidas em neurociência cognitiva criando novas perspectivas teóricas e aplicadas que contribuam para a compreensão dos processos cognitivos. Enfatizamos o uso de recursos computacionais - neste caso jogos neuropsicopedagógicos - como aliados a pesquisas inovadoras.

1.1 HIPÓTESES

Para iniciar o estudo levantamos três hipóteses: 1. a abordagem matemática no tratamento de séries temporais registradas em jogos computacionais neuropsicopedagógicos pode revelar comportamentos coerentes com o observado em dimensões biofísicas, pavimentando caminho para sua relação com dinâmicas neurobiológicas relacionadas à cognição; 2. a análise matemática de qualquer curva construída a partir de uma série temporal numérica (*timeline*), seja a variável da série o próprio tempo ou não, pode revelar informações acerca da natureza geradora dos dados. 3. os organizadores funcionais em sistemas biológicos cognitivos em situação de aprendizagem são passíveis de transdução em padrões matemáticos em algum aspecto.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver, para séries temporais numéricas de dados registrados durante a interação do humano com jogos computacionais, um sistema analítico que ofereça uma base matemática simples e coerente com estruturantes biofísicos de ordem, endereçável, em ensaios futuros, ao estudo de correlatos matemáticos de perfis cognitivos em sistemas jogador-jogo, que envolvem aprendizagem.

1.2.2 Objetivo Específico

- Definir um método analítico quantitativo para dados computacionais gerados pela experiência do humano com jogos neuropsicopedagógicos.

1.3 ORGANIZAÇÃO DA TESE

A tese foi organizada em seis capítulos. Na Introdução, Capítulo 1, diferenciamos sistemas simples e complexos e abordamos a cognição humana como um sistema a ser analisado sob o paradigma da complexidade. Destacamos o estudo da rugosidade tratado pela geometria fractal como uma possibilidade de estruturação cognitivo comportamental. Sinalizamos a necessidade de agregar conhecimentos neurocientíficos, matemáticos e computacionais ao arcabouço teórico da Pedagogia, visando potencializar este campo da ciência. No Capítulo 2, em Fundamentos: o tempo, a rugosidade e o ângulo de deflexão, apresentamos nossas reflexões acerca da natureza do dado primário deste estudo - o tempo - capturado de duas formas: pelo registro cronológico programado no artefato de coleta (jogo computacional neuropsicopedagógico) e pelas ações realizadas pelos jogadores no tempo cronológico. Compartilhamos os desafios encontrados na busca pela compreensão da singularidade do tempo como fonte e retorno de informações sobre o comportamento do jogado, a partir da interpretação de seu registro temporal. Adotamos o tempo das ações do jogador como variável dependente, portanto subversivamente invertemos a historicidade do tempo. Propusemo-nos a investigar as informações contidas no tempo, determinado pelo jogador, considerando a análise da rugosidade pela transdução linear em angular. Conceituamos a transdução no nosso modelo. O jogo computacional Jogo dos Elásticos - origem dos dados numéricos analisados pelo sistema proposto encontra-se no Capítulo 3. Tratamos de localizá-lo no campo científico a que pertence, segundo a nossa percepção, e apresentamos de forma breve os avanços recentes

sobre a utilização de *games* como meio fornecedor de dados para fins científicos. Buscamos proporcionar uma visão panorâmica da complexidade a que pesquisadores e especialistas estão expostos tanto em relação às possibilidades inerentes a utilização de jogos para a coleta de dados, quanto para a compreensão e extração de significado destes. Ressaltamos a necessidade premente do desenvolvimento de métodos customizados para as análises que se utilizam de dados oriundos de jogos computacionais. No Capítulo 4, Metodologia, em processo de engenharia reversa detalhamos os passos metodológicos que depreendemos e as incursões analíticas testadas. Mostramos o constructo do sistema analítico com a finalidade de identificar padrões em séries temporais. Optamos por detalhar o sistema analítico nesta seção ainda que o consideremos também parte de nossos resultados. Ao longo do detalhamento da metodologia utilizamos exemplos da aplicação experimental nos dados do Jogo dos Elásticos. Em Resultados e Discussão - Capítulo 5 - defendemos o potencial do Método do Ângulo de Deflexão em revelar ocorrências de intervalos de tempo extremos permitindo visualizar informações aparentemente inexistentes em intervalos de tempo muito pequenos. Detalhamos a aplicação do método acompanhado da análise das distribuições de frequência e do tratamento matemático dado pelo Coeficiente de Forma e o Coeficiente de Simetria, para um conjunto de dados do Jogo dos Elásticos. A este conjunto de etapas nomeamos de sistema analítico. Apontamos para possíveis padrões de organização biofísico - cognitivo – comportamental gerados pela interface humano - jogo. No Capítulo 6, Considerações Finais, alinhavamos os achados e nos despedimos desta etapa da jornada deixando nossa contribuição a pesquisa interdisciplinar com a certeza de que vivemos intensamente os anos de dedicação com a plenitude que nos foi concedida e mirando em desdobramentos futuros!

2 FUNDAMENTOS: O TEMPO, A RUGOSIDADE E O ÂNGULO DE DEFLEXÃO

2.1 O TEMPO

A divisão do tempo fundamenta a humanidade organizando e localizando as múltiplas ocorrências num espaço – tempo. Exerce influência sobre modelos mentais de pensamento e direciona a forma como se estruturam as ações. O tempo cronológico convencionado com divisões exatas de segundos, minutos e horas, que por sua vez determinam calendários anuais subdivididos em meses, semanas e dias impõem um ritmo aos seres humanos. A sociedade está construída considerando esta organização, mas, e se esta organização não encontrar ressonância com o tempo particular? Como seria pensar o tempo cronológico apenas como referencial sobre o qual cada indivíduo produz uma trajetória própria não submetida a ideias do tempo cronológico? Como resolver o tempo do processamento interno no tempo externo convencionado? Seriam encontrados padrões nos registros individuais?

Parece-nos adequado afirmar que o tempo é um continuum avançar em uma direção, infinito e linear sempre a intervalos regulares, tal como citado por Araújo (2019) apoiando-se em postulados propostos por Benveniste (2006, [1965a]) em estudos sobre a linguística geral. O tempo é fragmentável em unidades maiores ou menores de acordo com as regras estabelecidas pela cultura. O tempo cronológico, portanto, histórico, parece estável e controlável. E se as expressões dos seres vivos, ainda que obedecendo a um ciclo regular de tempo, indicassem entre o intervalo início – fim de sua ontogênese, um comportamento diverso da regularidade?

Santos (2008, p. 26) nos presenteia com a assertiva “a ordem universal frequentemente apresentada como irresistível é, todavia, defrontada e afrontada, na prática, por uma ordem local, que é sede de um sentido e aponta um destino”, pois nela reconhecemos que o dado tempo em análise por diversas vezes nos levou a interpretá-los da forma irresistivelmente convencional enquanto uma força de igual intensidade nos impulsionava a compreendê-lo a partir de uma perspectiva inusitada e todavia não conhecida. Diversas foram as abordagens e tentativas construídas e desconstruídas em que nos permitimos avanços e retrocessos em nosso tempo também irregular e particular.

Assumindo uma visão epistemológica totalizadora (SANTOS, 2008, p. 54) sobre a qual a sociedade humana em processo se realiza no tempo e no espaço por meio de ações, julgamos interessante a “empiricização do tempo” (SANTOS, 2008, p. 54) como base de sistematização cujas técnicas materializam o tempo e o espaço possibilitando analisá-los quantitativamente. Desta forma, o desafio de interpretar a cognição humana - objetivo fim desta pesquisa – pela análise das menores unidades de ações ou microgêneses cognitivas (INHELDER, 1996), numa base de resolução de milissegundos registradas em jogo computacional neuropsicopedagógico, inaugura um caminho de empiricização do tempo.

No tempo cronológico podem ser observadas ocorrências de eventos de determinada grandeza em função do tempo - as séries temporais. A observação de periodicidades, ciclos de maiores e menores períodos e tendências pode indicar padrões nas séries. No jogo computacional, o tempo, enquanto dado, é preservado, uma vez que o registro cronológico do tempo decorrido (*playtime*) se dá durante todo o decorrer do jogo. O tempo particular em que cada ação é realizada pelo jogador (*timestamps*) também é preservado na medida em que é registrado numa base instantânea (que vimos se dá com resolução de milissegundo) ao longo do tempo cronológico. Os tempos em que as ações acontecem carregariam, em nossa formulação hipotética, uma riqueza de informações. É, pois, variável dependente da intenção do jogador. A linha de tempo clássica se desloca, em nossa proposta, da abcissa para a ordenada, dando ao tempo medido nas condições investigativas aqui testadas, o devido reconhecimento como variável dependente no sistema jogo-jogador. O que ocorre quando subvertemos a linha do tempo clássica, transferindo-a para a condição matemática física de variável dependente?

Assim transposto o tempo, que técnicas seriam adequadas à análise matemática dos registros temporais? Padrões seriam revelados? Os registros individuais deixariam marcas no tempo cronológico que poderiam apontar para a existência de perfis de comportamento de sistemas jogo-jogador analisáveis pela rugosidade?

2.2 A RUGOSIDADE COMO PARÂMETRO PARA A IDENTIFICAÇÃO DA COMPLEXIDADE

Avaliar o fio de corte de uma faca ou identificar o estado geral de qualquer material por um simples exame visual ou tátil são técnicas empíricas tão naturais e

eficientes que as praticamos muitas vezes no cotidiano sem dar-nos conta da presença de uma propriedade que se manifesta no mundo físico, a rugosidade. Qualquer superfície apresenta atributos dentre eles a rugosidade (JOSSO; BURTON; LALOR, 2002), que pode ser visível a olho nu ou somente por tecnologia especializada.

A rugosidade contém informações sobre determinado material, assim como o sulco ou o relevo de uma fissura gerada por uma ruptura informa algo sobre sua estrutura. Há décadas, o registro artificial de sulcos vem sendo utilizado para armazenagem de informações, por exemplo, na gravação de discos. É um parâmetro utilizado em diversas áreas da ciência para analisar, caracterizar e desenvolver materiais, um exemplo ocorre na construção de próteses ortopédicas de quadril que mostram que, para a maior durabilidade de uma prótese e a garantia da qualidade de vida do paciente, é imprescindível que o atrito entre as superfícies das articulações seja minimizado, o que envolve a geometria precisa da prótese e o acabamento das peças (SOUZA, 2011).

Em estudos geotécnicos, Arenas-Rios (2012, p.6) relacionou “a configuração geométrica do relevo ao conteúdo do substrato litológico superficial”. Para a caracterização de efeitos causados por fenômenos naturais, Bertolani e colaboradores (2000) destacaram a importância de identificar o volume de água retida nas micro depressões do solo como medida para evitar impactos em processos erosivos. Indicaram ainda a avaliação da rugosidade superficial como parâmetro para este fim. Com o apoio de rugosímetros de agulha (instrumento mecânico) e a laser (sistema ótico) levantaram as condições de solo, com pasto e pós-arado, e estudaram a variabilidade espacial da rugosidade superficial do solo coletando uma grade de dados pontuais com diferentes graus de precisão. Nas condições de campo, utilizaram um rugosímetro de agulhas e, em condições de laboratório, utilizaram um rugosímetro a laser. Verificou-se que a rugosidade superficial era dependente dos dados obtidos em ambos os métodos e em todos os tratamentos. A alta complexidade do estudo, decorrente da variação dos parâmetros observados, mostrou a dificuldade na definição de um modelo tridimensional que representasse o microrrelevo no campo (BERTOLANI *et al.*, 2000).

No campo da mecânica a rugosidade é tratada como um elemento central para a fabricação e o ajuste de componentes de máquinas. Existe vasto material classificatório que define os elementos de uma superfície e os associa a índices e

classes de rugosidade, bem como determina uma simbologia própria de caracterização da rugosidade. Cálculos como rugosidade média (R_a), máxima (R_y) e total são aplicados para indicação das ações corretivas (FERREIRA, S/A), por exemplo, em processos de usinagem e torneamento de peças (VELOSO, 2017) e na análise da influência da rugosidade superficial no efeito do atrito entre peças (MARTINS et al, 2011). Equipamentos e métodos têm sido desenvolvidos para o estudo da rugosidade, com amplas aplicações no controle e no aperfeiçoamento da qualidade e da estrutura dos materiais.

O reconhecimento biométrico é uma técnica que utiliza algoritmos analíticos para a identificação das características morfológicas de uma imagem, podendo distinguir impressões digitais falsas. Um parâmetro que auxilia a perícia é a rugosidade: em materiais sintéticos, apresenta níveis elevados quando comparados à rugosidade de tecidos naturais, como a superfície palmar dos dedos, na região das digitais (PEREIRA, 2013).

Há diversos métodos para a análise da rugosidade, desde sensores de superfícies a equipamentos de alta precisão como o microscópio eletrônico. A rugosidade é a expressão de um padrão natural de dimensão fractal (MANDELBROT, 1982). Tomando como referência análises da rugosidade da superfície de objetos físicos (MANDELBROT, PASSOJA, PAULLAY, 1984; MANDELBROT, 2006), visando aprofundar estudos relacionados à cognição humana (LE MOS, 2013), propomos uma análise trigonométrica da rugosidade gráfica identificável em curvas, cujos rótulos de dados (numéricos) unidos por retas, representam a assinatura funcional e/ou o estado transitório de um sistema. Diferentes graus de irregularidades nos perfis de picos e vales de nossas curvas, sugerem um balanço de forças complexo. O estudo das variações de comportamento de uma variável, aqui sintetizada pelo conceito de rugosidade, aplica-se potencialmente em caracterização de comportamento, na medida em que se consegue sucesso na identificação de padrões pelos quais as variações se desenvolvem (COVA, SOUZA E ARAUJO, 2010).

2.3 O ÂNGULO DE DEFLEXÃO – ANÁLISE TRIGONOMÉTRICA

Para definir o ângulo de deflexão e sua importância utilizaremos uma metáfora. Imagine uma viagem de automóvel traçada em uma linha reta partindo de

um local até o seu destino. Ao iniciar o percurso por uma rodovia, entre curvas à esquerda e à direita, ocorrem afastamentos e aproximações, mais ou menos acentuadas em relação à linha reta imaginária até o destino – as deflexões. Analogamente, ao distribuir os *timesteps* (ações registradas num jogo computacional) em um gráfico com o tempo na ordenada (*timeline* invertida) avançando infinitamente, observamos que os intervalos entre dois pontos (ações) variam à esquerda (-) ou à direita (+) de uma linha reta imaginária indicando mudança de comportamento. Na série temporal original constituída de uma sequência numérica sucessiva em cadência ascendente aparentemente aleatória, cujos termos parecem não guardar nenhuma relação funcional entre si, podem-se calcular, por diferenças, os intervalos existentes entre cada registro e a maneira em que estes intervalos se sucedem. Mas quanto e como variam? Percebe-se a presença de informação na série temporal escalar, mas não o suficiente para avançar na análise. Precisa-se transduzir os dados para possivelmente vislumbrar informações imperceptíveis naquela condição. Retomando a metáfora do trajeto realizado por um automóvel encontramos na topografia uma possibilidade de transdução dos dados em estudo.

A palavra topografia é definida por Domingues (1979, apud BRANDALIZE, S/A, p. 1) como a “descrição exata e minuciosa de um lugar” sendo a ciência que mede a superfície e o volume (não abarcados neste estudo) e grandezas de dois tipos: angulares e lineares (BRANDALIZE, s/a). Na grandeza angular mede-se o ângulo horizontal e o vertical. A deflexão é o ângulo formado entre o prolongamento da linha imaginária que parte de um determinado ponto e a linha imaginária que se inicia no ponto seguinte. A deflexão pode ser definida como a mudança da direção em relação à trajetória da reta anterior. Que vantagens existem em transformar uma série temporal escalar em série angular?

Com o auxílio de conceitos da trigonometria e da topografia pode-se transformar valores escalares em seus correspondentes geométricos, o que envolve sempre três registros em sucessão. Cada registro plotado num gráfico guarda uma relação com o seu registro antecessor e o seu sucessor através de uma medida angular obtida pela diferença das inclinações de seus segmentos ligantes. As deflexões entre registros descrevem as variações ocorridas na trajetória de tempo sempre ascendente caracterizando acelerações e desacelerações do sistema.

2.4 TRANSDUÇÃO ESCALAR PARA ANGULAR

Os fundamentos apresentados neste capítulo – o tempo, a rugosidade e o ângulo – se entrelaçam e norteiam a pesquisa para o desenvolvimento de um sistema de transdução de séries temporais escalares para angulares. Para tal, adotamos de Padovani (2014, p.2), em estudo aplicado à música, a definição etimológica do termo transdução como sendo um ‘processo dinâmico de *condução* [-*ductio*] de alguma coisa *através* [*trans-*] de meios e/ou “suportes” diferentes’. Para o autor, a condução ou transmissão se dá pela conversão do sinal de um meio energético a outro. Por sua vez, a conversão ocorre pela captação do sinal por algum recurso ou técnica, que deve ser capaz de preservar traços característicos do sinal original reconhecíveis no sinal derivado, tal como apresenta Prates (2011, p. 13) ao afirmar que a “[...] transdução envolve transformações mais complexas do que seria capaz uma tradução literal, pois a conservação de sentidos homólogos deve caminhar *pari passu* à manutenção de homologias estéticas, formais, estruturais”.

A reverberação com nossa proposta se mostra na análise trigonométrica, enquanto técnica por meio da qual realizamos a conversão das ações, de tempo escalar em angular. Prates (2011, p.13) afirma que “Transdução se refere à transmutação neurobiológica de uma forma de energia para outra, isto é, indica um tipo de tradução em que o signo de origem precisa sofrer transformações para gerar interpretantes similares num outro contexto”. Nesta conversão preservam-se as informações originais que podem ser identificadas em desdobramento de nosso estudo na transdução dos dados angulares em notas musicais que, organizadas em pautas, produzem melodias cuja variação no andamento de cada constructo reproduzem melodicamente os intervalos tempo entre as ações realizadas no jogo.

Parece-nos pertinente, ainda que de forma introdutória, apresentar a noção de transdução descrita por Simondon (2005[1958], t.n.) que compreende o termo como multi aspectos e aplicáveis a diversos campos científicos, pois se trata de

[...] uma operação física, biológica, mental, social, pela qual uma atividade se propaga pouco a pouco no interior de um campo, fundando essa propagação numa estruturação do campo operada passo a passo: cada região de estrutura constituída serve de princípio de constituição à região seguinte, de modo que uma modificação se estende progressivamente e

simultaneamente a esta operação estruturante (SIMONDON (2005[1958], p. 33, t.n.).

Agregamos ainda a definição para o transdutor em si, como meio conversor, portanto mediador entre domínios, que carregaria a capacidade de ampliar, estender e transformar a percepção do objeto possibilitando interpretá-lo de uma forma inusitada (PADOVANI, 2014).

O sistema aplicado experimentalmente em dados registrados por um jogo computacional neuropsicopedagógico teve como motivação a identificação de padrões nas curvas, visando contribuir, por generalização, para o estudo da cognição humana. Mas afinal, que dados foram analisados? Como foram obtidos? Por que são considerados cognitivos?

3 O JOGO COMPUTACIONAL COMO FERRAMENTA DE REGISTRO COGNITIVO

3.1 BREVE PANORAMA DOS JOGOS COMPUTACIONAIS COM PROPÓSITO

O ser humano é lúdico e como tal seu ambiente natural de aprendizado é aquele em que a ludicidade está presente. Os jogos, sejam de materiais concretos ou virtuais, atendem a esta demanda e são uma plataforma envolvente que recruta esquemas mentais e emocionais para decifrar o ambiente e atingir o objetivo a que se propõem. Resulta que, com os avanços nas descobertas neurocientíficas e a explosão na criação de jogos digitais, pesquisadores estão entendendo que os jogos digitais podem ser um meio de coleta de dados sobre o comportamento humano inimaginável antes na história da humanidade.

Existem diversos jogos computacionais disponíveis cujo objetivo principal é o entretenimento. Contudo, cada vez mais atraente para a ciência, encontram-se os jogos concebidos para o alargamento da capacidade humana através do lúdico. Boyle *et al.* (2015) afirmam haver um aumento de evidências empíricas positivas do uso de jogos na mudança comportamental e revelam um crescimento no interesse por pesquisas envolvendo este tipo de jogos destacando neste cenário as diferentes terminologias utilizadas para classificá-los. Encontram-se jogos digitais, jogos sérios, jogos de computador, jogos para a aprendizagem e *games* inteligentes (MARQUES, 2017) revelando a complexidade já na classificação de um jogo computacional com propósito, na atualidade.

No termo *game intelligence* (inteligência do jogo - em língua vernácula), utilizado por Devlin et al (2014) verifica-se a semelhança com a designação “jogos com propósito”. *Game Intelligence* configura-se como uma crescente tendência acadêmica, atualmente subutilizada, e comercial para adquirir conhecimento pela análise dos dados gerados por estes instrumentos digitais (DEVLIN ET AL, 2014). Desta forma, jogos criados *a priori* para o entretenimento podem ser potencialmente transformados em jogos que contribuam para descobertas científicas. Os autores também afirmam que *game intelligence* é uma área promissora ainda pouco explorada na formação do que designam *gamerscientists* (cientistas – jogadores) que seriam aqueles que enquanto jogam estudam, analisam e propõem conhecimento por meio de jogos computacionais e vice-versa. Em consequência haveria um aporte sem precedentes de experimentação científica acerca do

comportamento humano proporcionando avanços científicos para as mais diversas áreas (DEVLIN ET AL, 2014). Apresentam uma classificação geral para os jogos atuais como de (A) aprendizagem, (B) conscientização e (C) auto - aperfeiçoamento. Os jogos do tipo A objetivam ensinar um tópico de conteúdo de interesse acadêmico ou pessoal. Do tipo B visam sensibilizar e conscientizar sobre questões sociais, ambientais e políticas e podem incluir um conteúdo específico da matéria de interesse sobre estas questões. Do tipo C promovem e incentivam a participação dos jogadores em tarefas e visam a mudança comportamental (DEVLIN ET AL, 2014).

São inúmeros jogos que poderiam atender a uma demanda científica atual. Com a inserção de mecanismos de coleta de dados possivelmente se tornariam fornecedores de dados preciosos. Por outro lado, tantos outros podem ser desenvolvidos contemplando em sua programação de antemão a coleta de dados, considerando o propósito de ampliar o conhecimento científico sobre os mecanismos cognitivos presentes no aprendizado humano. Contudo, há uma lacuna a ser resolvida que diz respeito à classificação do dado recolhido em termos cognitivo – comportamental e a sua interpretação. Para Devlin et al (2014) a mineração de dados é uma ferramenta fundamental para a análise do que designam de telemetria de jogos. Os autores afirmam que a mineração de dados de jogos se baseia atualmente no *design* do jogo, mas impactaria muito mais em pesquisas futuras se fosse realizada, por exemplo, sobre o aprendizado de habilidades complexas para a obtenção de informações de interesse da educação. Cabe projetar o esforço conjunto de especialistas para atender a esta demanda e a complexidade no desenvolvimento e validação de metodologias adequadas a cada frente.

Sem esgotar o tema e abarcar todas as nuances que o envolvem julgamos oportuno apresentar um compilado de informações acerca dos jogos sérios para, a partir destes, diferenciar um jogo neuropsicopedagógico que apresenta características de um jogo educativo e de entretenimento, e foi desenvolvido para coletar dados do aprendizado do jogador, bem como de um *game* inteligente (MARQUES et al *in* SALGADO; MOTTA; SANTORO, 2015; MARQUES, 2017) que visa também fornecer diagnóstico. Ambos foram idealizados para atender a estudos científicos em neuropedagogia computacional.

3.2 JOGOS SÉRIOS

Jogos Sérios são assim chamados por possuírem um objetivo específico que pode ser a aquisição de uma habilidade, um conhecimento útil, simulação de ambientes reais em ambientes virtuais para treinamentos de tomada de decisão, observação e compreensão de reações e comportamentos em diferentes cenários e contextos que vão de objetivos militares, educacionais em diversas áreas profissionais, na medicina e até na política (GAGGI et al, 2017). Podem ser utilizados como um recurso eficaz para promover avanços no diagnóstico e atenuação de distúrbios. Para Whyte *et al.* (2014) Jogos Sérios conjugam objetivos educacionais com a mecânica de jogos de apoio à aprendizagem. Têm como objetivo promover a aprendizagem de habilidades específicas cognitivas, sociais, afetivas ou em geral difíceis como a mudança de comportamento visando benefícios para a vida do indivíduo. A manutenção e o restabelecimento da saúde são fatores abordados por Wattanasoontorn *et al.* (2013) que defendem o uso de Jogos Sérios como uma divertida e promissora estratégia para a área. Ravyse *et al.* (2016) realizaram uma revisão sistemática na qual expõem diferentes pontos de vista dos autores em relação aos objetivos pedagógicos e o entretenimento inseridos nos Jogos Sérios. Sinalizam princípios de uma estruturação construtivista para promover a aprendizagem e discriminaram pressupostos que definem os jogos desta natureza, dentre os quais, a resolução de problemas como estímulo à construção de hipóteses que podem ser aplicadas a problemas posteriores e à apresentação de novos problemas nas etapas. Os autores ressaltam que a maioria dos trabalhos tem como foco o desenvolvimento de jogos para a aquisição de conhecimentos, habilidades como a comunicação, colaboração ou gerenciamento e mudança de comportamento. Isso indica uma lacuna no desenvolvimento de jogos cujo objetivo primário seja estudar o processo cognitivo visando potencializar esquemas cognitivos.

A aprendizagem construtivista prevê novos ambientes como desafios ao conhecimento prévio do jogador e lhes proporciona o tempo necessário para explorar e testar conflitos cognitivos (RAVYSE, 2016). O item tempo abre um novo campo de discussão no que tange aos objetivos pedagógicos. Os autores da revisão encontram o limite de tempo como um elemento contrário ao objetivo pedagógico. Valladares-Rodríguez *et al.* (2016) em revisão de literatura apresentaram o estado

atual da avaliação neuropsicológica com a utilização de Jogos Sérios, buscando mostrar o potencial deste recurso como alternativa aos tradicionais testes clínicos com lápis e papel.

A denominação “jogos sérios” tem reconhecimento consolidado na comunidade acadêmica, ainda que sua definição exata esteja em construção. Os jogos sérios se enquadram no possível grande acervo subutilizado de fonte de dados para pesquisa científica apontado por Devlin et al (2014).

3.3 DO JOGO NEUROPSICOPEDAGÓGICO AO GAME INTELIGENTE

Pela linha intitulada Informática, Educação e Sociedade, do Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGI) do Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais (NCE) e no complexo de Laboratórios de Métodos Avançados e Epistemologia (LMAE/HCTE), ambos da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) depreendem-se estudos acerca da “neuropedagogia computacional área interdisciplinar que entrelaça as Neurociências às Ciências Biológicas e Humanas e à Tecnologia em prol da Educação” (MARQUES et al, 2014, p. 922; MARQUES, 2017).

Jogos neuropsicopedagogicos confeccionados em material manipulável são estudados e versões computacionais são desenvolvidas e implementadas por equipes de especialistas. Cada jogo neuropsicopedagogico ao ter sua versão computacional construída cuidadosamente considerando os fundamentos teóricos que abarcam as microgeneses cognitivas (INHELDER, 1996), a metacognição (METCALFE; SHIMAMURA, 1994), a elaboração dirigida (SEMINÉRIO, 1987) e a técnica do Fio Condutor (MARQUES, 2009) preveem a coleta e o registro de dados das ações do jogador. Ao incluir ferramentas de diagnóstico sobre o desenvolvimento do jogador no momento da jogada resultam em um *Game Inteligente* que integra a plataforma EICA (MARQUES, 2017). Os jogos neuropsicopedagogicos e os *games inteligentes* constituem-se em recurso não invasivo desenvolvido para a captura e posterior análise de registros de atividade cognitiva comportamental humana, em tempo real de jogo, na resolução de problemas (LEMOS, 2013; KIENITZ LEMOS et al, 2014).

Os jogos neuropsicopedagogicos e *games inteligentes* têm duas abordagens:

1. proporcionar ao jogador a experiência de navegação por uma proposta completamente diferenciada dos jogos atualmente disponíveis, podendo

experimental e ativar conexões cognitivas pré-existentes - esquemas cognitivos familiares (INHELDER, 1996) - se conscientizar delas (metacognição) e a partir do processo de ruptura com os esquemas familiares formar novos esquemas cognitivos durante o aprendizado no jogo - esquemas inovadores (INHELDER, 1996) e 2. coletar dados sobre os mecanismos funcionais e estruturais da cognição humana para posterior estudo.

Marques et al (*in* SALGADO; MOTTA; SANTORO, 2015) enfatiza que um *Game Inteligente* se sustenta como tal em função de ser uma ferramenta minuciosamente estudada e construída sobre sólida fundamentação neurocientífica e metacognitiva aliada a recursos computacionais de registro das ações realizadas durante a jogada. Marques (2017) define que os *Games Inteligentes* possuem conceitos educacionais a serem apreendidos numa plataforma permeada pela ludicidade, enquanto dados comportamentais são coletados e tratados por meio da “matematização de axiomas teóricos que definem cada reação do jogo e avaliam o desenvolvimento do jogador” (MARQUES; NOGUEIRA; BRASIL, 2015, p. 165). Este último objetivo atende a finalidade de estudos científicos para profissionais de áreas afins.

O *design* de um *game* inteligente, portanto, neuropsicopedagógico é fundamental para atingir o objetivo de promover a metacognição. Os objetos dispostos nas telas possuem *affordance*⁵ implícita que deve ser descoberta por quem os manipula. As regras do ambiente são desvendadas no desenrolar das tentativas de exploração e elaborações das possíveis relações entre os objetos. O jogo não apresenta instruções de como jogar assim como sons, palavras ou ícones de incentivo, bônus ou pontuação. Pretende-se com esta condição provocar a quebra pela busca de respostas rápidas ou condicionadas e promover um movimento reflexivo profundo de esquemas cognitivos próprios. O desprendimento dos sistemas de recompensas, comumente embutidos nos ambientes de jogo, promove a liberdade de experimentação da qual o jogador paulatinamente se apropria. O processo de construção e desconstrução cognitiva que o *game* provoca é condição para a observação da variação do comportamento. Esse *design* é por si só uma ruptura em relação aos jogos tradicionais.

⁵ “Um uso ou propósito que uma coisa pode ter, que as pessoas percebem como parte do modo como a veem ou experimentam. No design, a disponibilidade percebida é importante - ou seja, nosso entendimento implícito de como interagir com um objeto”. Disponível em <https://dictionary.cambridge.org/pt/dicionario/ingles/affordance>. Acesso em 04.jul.2020. Tradução do Google.

Inseridos neste arcabouço científico analisamos um conjunto de dados de tempo registrados em uma aplicação experimental do jogo neuropsicopedagógico Jogo dos Elásticos, na busca por padrões cognitivo - comportamentais.

3.4 O JOGO DOS ELÁSTICOS

O Jogo dos Elásticos em versão computacional foi desenvolvido para fins neurocientíficos a partir do estudo do jogo neuropsicopedagógico Jogo dos Elásticos, em material concreto manipulável, de autoria de Marques (2017). O Jogo dos Elásticos tem por objetivo promover avanços cognitivos por mediação computacional estruturada pela técnica do Fio Condutor Microgenético (LEMOS, 2013; KIENITZ LEMOS *et al.*, 2014). Nesta versão foi previsto para ser jogado individualmente.

Trata-se de um jogo de tabuleiro que dispõe em suas telas virtuais de ação com nove placas quadradas, cada uma com 16 pontos negros correspondentes a orifícios; elásticos em seis cores diferentes (armazenados em seis potes); 30 pinos; 64 fichas com ilustrações variadas e 75 opções de *tags* para a classificação de possíveis conjuntos. Excluindo as telas de identificação do jogador, o jogo possui seis telas diferentes que alternam fases de ação e interpretação (KIENITZ LEMOS *et al.*, 2014) mostradas respectivamente nas Figuras 1 e 2.

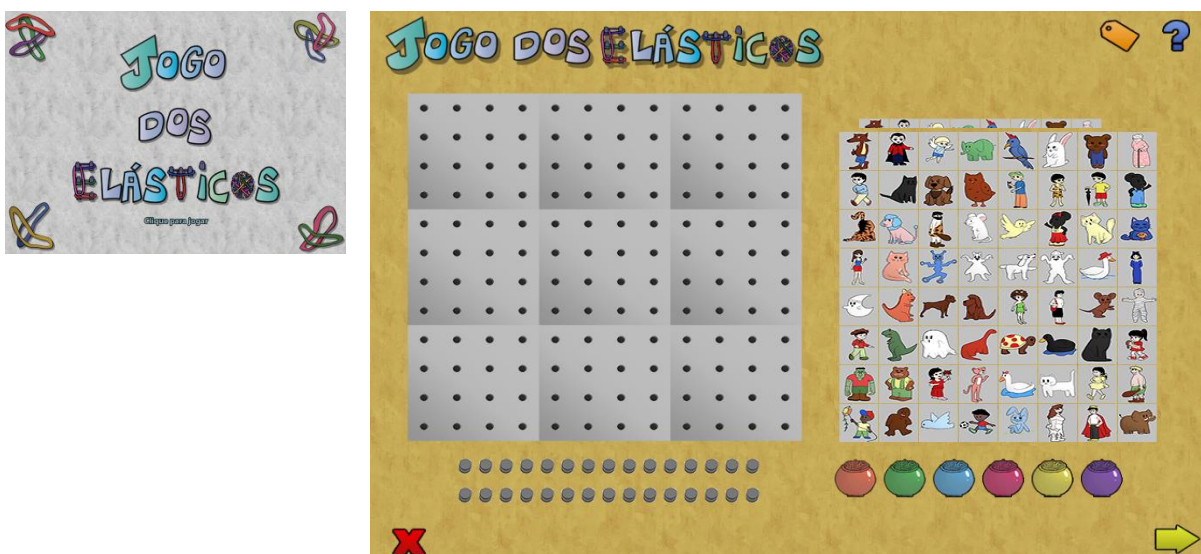


Figura 1 – À esquerda em miniatura a tela de abertura do Jogo dos Elásticos e à direita, expandida, a primeira tela de ação

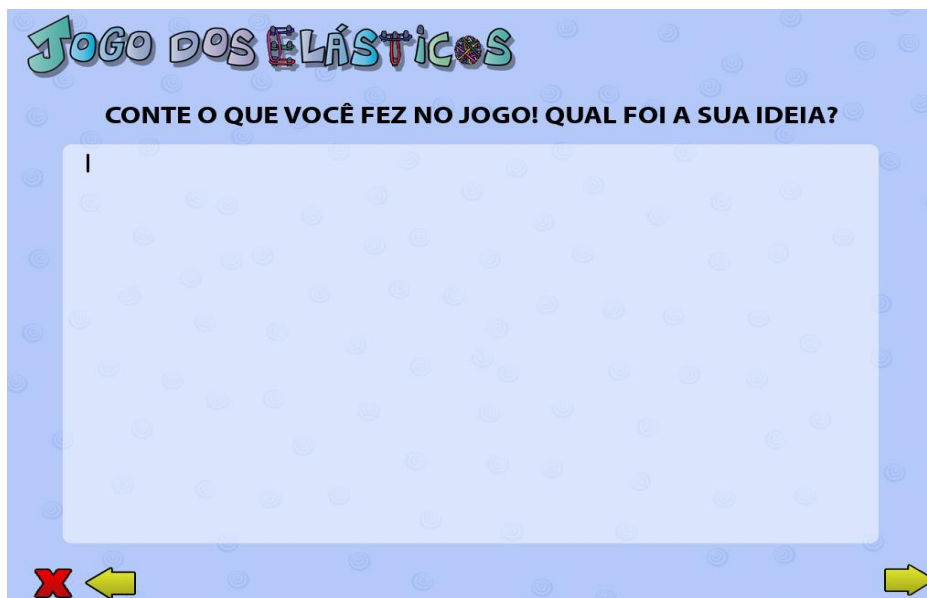


Figura 2 - Jogo dos Elásticos – primeira tela de interpretação

O conteúdo embutido no jogo abarca a Teoria dos Conjuntos relativa às ciências matemáticas. Nas telas de ação podem-se formar conjuntos com as diferentes fichas classificando-as segundo algum critério (*tag*) e criar formas geométricas utilizando os elásticos e os pinos para delimitar os conjuntos e representar uniões, disjunções, interseções e inclusões. Nas telas de interpretação oportuniza-se que o jogador relate o que fez na tela de ação anterior pela digitação de um texto. O trânsito entre telas é livre avançando ou retrocedendo. Tudo que for feito pelo jogador se manterá enquanto ele está no jogo. Caso queira desfazer suas ações o próprio terá que fazê-lo, o que também será registrado no tempo decorrido (*playtime*).

3.4.1 Aquisição de Dados

Desenvolvido na linguagem *Python 2.7* em conjunto com a biblioteca *Pygame 1.9.1* em 2D para computadores do tipo PC, demandando a utilização de *mouse* para manipular os objetos do jogo, o Jogo dos Elásticos foi programado para realizar a inspeção de ocorrências numa frequência de 30 fps (*frames per second*) com precisão de milissegundos. Ao iniciar o jogo, dados de tempo como o *playtime* (tempo total de jogo) e o *timestamp* no tempo (registro do clique do *mouse* - que neste caso se aplica a “pegar” ou “soltar” um objeto) são registrados no *log* do

programa. Ao encerrar o jogo automaticamente é produzido um relatório de formato arquivo *.txt* contendo os registros do *timestamp* no *playtime* (Figura 3).

```
{
  "Actions": [
    {"Action": "Game Start", "ID1": "", "ID2": "", "Timestamp": 0.0},
    {"Action": "Fase1 Start", "ID1": "", "ID2": "", "Timestamp": 41.325},
    {"Action": "Fase1 Initial Action", "ID1": "", "ID2": "", "Timestamp": 65.272},
    {"Action": "Creating rubberband", "ID1": 2, "ID2": 1, "Timestamp": 65.68},
    {"Action": "Finish creating rubberband", "ID1": 1, "ID2": "", "Timestamp": 67.774},
    {"Action": "Selected card", "ID1": 57, "ID2": "", "Timestamp": 69.964},

    {"Action": "Selected card", "ID1": 54, "ID2": "", "Timestamp": 3147.664},
    {"Action": "Dropped card out of board", "ID1": 54, "ID2": "", "Timestamp": 3149.074},
    {"Action": "Selected card", "ID1": 54, "ID2": "", "Timestamp": 3150.594},
    {"Action": "Dropped card in board", "ID1": 54, "ID2": "c", "Timestamp": 3151.182},
    {"Action": "Showed question", "ID1": 19, "ID2": "", "Timestamp": 3189.267},
    {"Action": "Nao quero jogar", "ID1": "", "ID2": "", "Timestamp": 3267.359}
  ],
}
```

Figura 3 – Exemplo de registro do *log* no formato *.txt*

A partir do *log* (*.txt*) os dados de tempo *timestamps* que correspondem ao conjunto de ações realizadas pelo jogador no *playtime* são tratados no programa Excel.

A inteligência para fornecer diagnóstico da aprendizagem neste jogo encontra-se em construção, bem como o desenvolvimento de métodos para a extração de informações que possam contribuir para ampliar o conhecimento de especialistas acerca da natureza da cognição humana – motivação deste estudo.

3.4.2 O experimento piloto

O conjunto de dados de tempo analisado é oriundo de uma única aplicação piloto do jogo com a participação voluntária de 20 estudantes na faixa etária entre 9 e 10 anos à época (LEMOS, 2013) com a anuência de seus responsáveis legais. O experimento foi planejado considerando as condições de espaço (Laboratório de Informática) e *desktops* disponibilizados pela instituição pública participante e contou com a ajuda de particulares no empréstimo de *notebooks*.

No Laboratório de Informática foram instalados oito *notebooks* e dois computadores *desktop*. As mesas com cada computador foram organizadas de tal

forma que cada participante ficasse frente a frente e equidistante de quem estivesse à sua esquerda e direita de tal modo que, se mantendo sentado, não pudesse visualizar a tela de outrem. Cada voluntário recebeu um *mouse* e um fone de ouvido. No fone tocava a música de ambientação do jogo, mas sua reprodução era opcional. Foram organizados dois grupos de 10 participantes aleatórios, com diferentes idades e gênero. Após todos do primeiro grupo terminarem, verificou-se o registro nos *logs* e os computadores foram preparados com a tela de abertura do jogo para o segundo grupo. Tão logo os participantes se acomodavam eram dadas instruções gerais como explorar o jogo individualmente sem conversar com os colegas da sala e ao terminar a atividade guardar segredo sobre o que descobriram ou fizeram, para que fosse novidade para os demais. Também foram dadas instruções para permanecerem sentados durante o tempo de jogo. O tempo de permanência foi individual e livre para cada jogador. Esta condição resultou em 20 conjuntos de dados de tempo total de jogo (*playtime*) e quantidade de ações realizadas (*timestamps*) significativamente variadas.

4 METODOLOGIA

4.1 ENGENHARIA REVERSA

Diante de um sistema complexo escolher um caminho metodológico que atenda ao rigor próprio da ciência e permita o exercício da criatividade exploratória é um desafio que se impõe e se potencializa quando o objeto em estudo é paradoxalmente não palpável e concretamente perceptível como a cognição humana. Neste sentido, acomodamos uma possível classificação para esta pesquisa ainda que nas referências clássicas, notadamente para cada rótulo, tenha sido impossível atender a todos os aspectos que o definem. Portanto, trata-se de uma pesquisa aplicada, descritiva e de procedimento experimental, pois propõe a fundamentação do estudo pelo entrelaçamento de bases teóricas incomuns para a análise da cognição sob a égide da Pedagogia. Abordam-se quantitativamente as séries temporais registradas no *log* de um jogo neuropsicopedagógico, o Jogo dos Elásticos – adotando parâmetros matemáticos como a rugosidade e o ângulo de deflexão apoiados em análise estatística clássica na proposição de coeficientes próprios.

Decidimos apresentar a metodologia na forma de engenharia reversa contextualizando o ponto de partida do estudo. Inicialmente contávamos com descobertas realizadas no Mestrado em Informática: dados registrados pelo *log* do jogo computacional neuropsicopedagógico desenvolvido à época; a motivação pela busca de padrões nas séries temporais e, necessário dizer, uma dose significativa de coragem! Como desenhar a metodologia e uma proposta interdisciplinar tão desafiadora? Como definir um método de análise de padrões para uma sequência numérica de dados escalares flagrantemente complexos? O desenrolar deu forma à arquitetura. Um processo criativo e intenso delineou as etapas e definiu tanto o arcabouço teórico de sustentação do estudo quanto a construção do sistema de análise.

Objetivamente, a Metodologia compreendeu dois encaminhamentos centrais: 1. o desenvolvimento de um método analítico de padrões em séries temporais e 2. a aplicação do sistema analítico em um banco de dados de um jogo neuropsicopedagógico.

Consideramos três elementos fundantes para a interpretação dos dados do Jogo dos Elásticos: 1. o tempo – registro quantificável do banco de dados; 2. a

rugosidade – elemento de medida fundamentado na dimensão fractal e 3. o ângulo – aspecto trigonométrico introduzido para normalizar os dados e revelar as forças atuantes no sistema.

4.2 ARQUITETURA DO PROCEDIMENTO DE ANÁLISE

Descrevemos o procedimento de análise tal como ocorrera o desenrolar do estudo organizando-o por fases de trabalho.

4.2.1 A ferramenta de registro

Percebemos a necessidade de aprofundar a compreensão sobre a ferramenta de captura dos dados – o Jogo dos Elásticos. Investimos em duas frentes: conhecer o jogo em si e a natureza dos registros no *log*. Identificamos a existência de alguns registros zeros gerados pelo sistema, portanto sem valor cognitivo e os excluimos. Esse procedimento foi cuidadosamente executado sincronizando o registro de tempo do *log* com a ação realizada e verificada na captura de tela de nossos arquivos. Revisitamos o contexto da aplicação piloto para perceber se possíveis interferências ambientais poderiam impactar qualitativamente nos dados capturados. Nada significativo foi encontrado. Deprendemos um levantamento bibliográfico acerca da classificação dos jogos digitais em geral a fim de localizar o Jogo dos Elásticos neste universo. Extraímos os registros de tempo e definimos a nomenclatura que adotaríamos para cada ação registrada como *timestamp* (cliques no *mouse* sobre um objeto para pegá-lo ou soltá-lo) e o tempo total de jogo como *playtime*.

4.2.2 Caracterização dos dados

Utilizamos os *logs* produzidos por 20 voluntários que participaram de uma única aplicação piloto do Jogo dos Elásticos. O *playtime* foi definido por cada participante e constituiu num registro estático (*frame*) de sua produção cognitiva naquele momento. Nenhum dos participantes possuía qualquer informação prévia acerca do jogo.

Os dados no jogo são registrados no formato de texto (*.txt*) no *log*. Nele cada ação é classificada por um ID (identificador). Do *log* extraímos todos os dados e os organizamos em tabelas. Ao representarmos graficamente as ações (*timestamps*), na linha de tempo cronológico, observamos a irregularidade da distribuição

evidenciada tanto para a *timeline* individual quanto para o conjunto de *timelines* tal como na Figura 4.

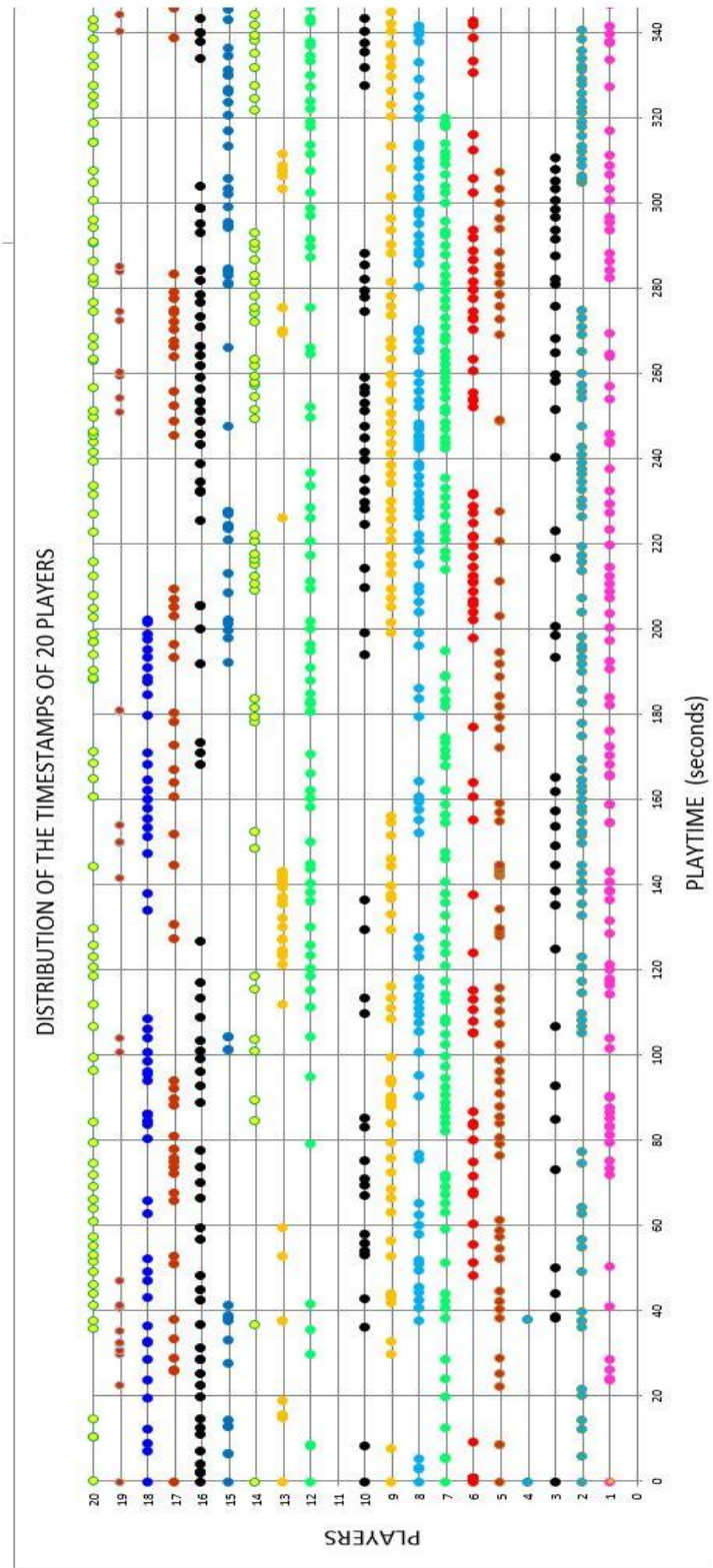


Figura 4: Recorte de *timestamps* iniciais de 20 indivíduos no Jogo dos Elásticos

A irregularidade dos intervalos de tempo entre eventos presente nos dados (Figura 4) sugeriu investigá-los pelo enfoque da complexidade. O caráter da distribuição das ações na linha de tempo está presente em qualquer conjunto de dados que venhamos a extrair do sistema jogo-jogador, conforme podemos concluir pelas amostras acima. Irregularidade e, conseqüentemente, a sugestão de imprevisibilidade, são comportamentos típicos de sistemas caóticos e/ou complexos. Sendo assim, a abordagem em dimensões tanto conceituais quanto metodológicas deve considerar a problematização desenvolvida e os recursos analíticos aplicados a sistemas dinâmicos não lineares.

Os dados foram apresentados por meio de um gráfico cartesiano onde o eixo das abscissas contém a ordenação de n eventos e o eixo das ordenadas o tempo corrido (*timeline*). Desta forma definiu-se uma função $t(i)$ onde t representa o instante de tempo em que ocorreu o evento $i = 1, 2, \dots, n$, que está representada por t_i visto ser uma função discreta conforme mostra a *timeline* para o Jogador 1 na Figura 5 (expandida na próxima página) na linha em azul.

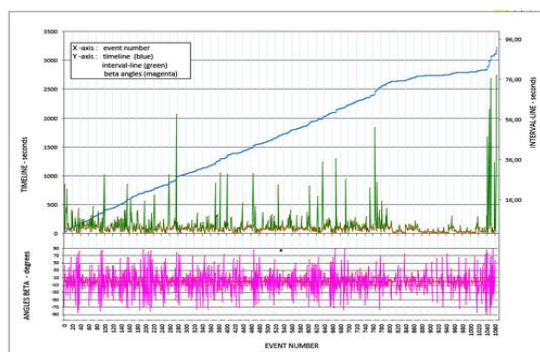


Figura 5 - *Timeline* (azul), intervalos de tempo entre ações (verde) e o ângulo de deflexão β (magenta) do dado produzido por um jogador.

A *timeline* apresentou um aspecto próximo do linear para uma boa parte das ações. No caso de uma *timeline* reta o gráfico do intervalo de tempo entre ações consecutivas seria constante, evidenciando um comportamento não variável como o intervalo de tempo de um tic - tac de relógio. Porém, um olhar mais próximo evidenciou um comportamento irregular, rugoso e aparentemente aleatório.

Acompanhando a trajetória na *timeline* percebem-se constantes oscilações ou mudanças de direção (deflexões) no sentido vertical do gráfico, a cada trinca de pontos (*timesteps*). Ao observar a *timeline* com distanciamento nota-se também a conservação de uma direção desde o registro do primeiro *timestamp* ao último,

descrito pela inclinação da linha de tendência da curva toda ou pelo menos de trechos relativamente longos da mesma.

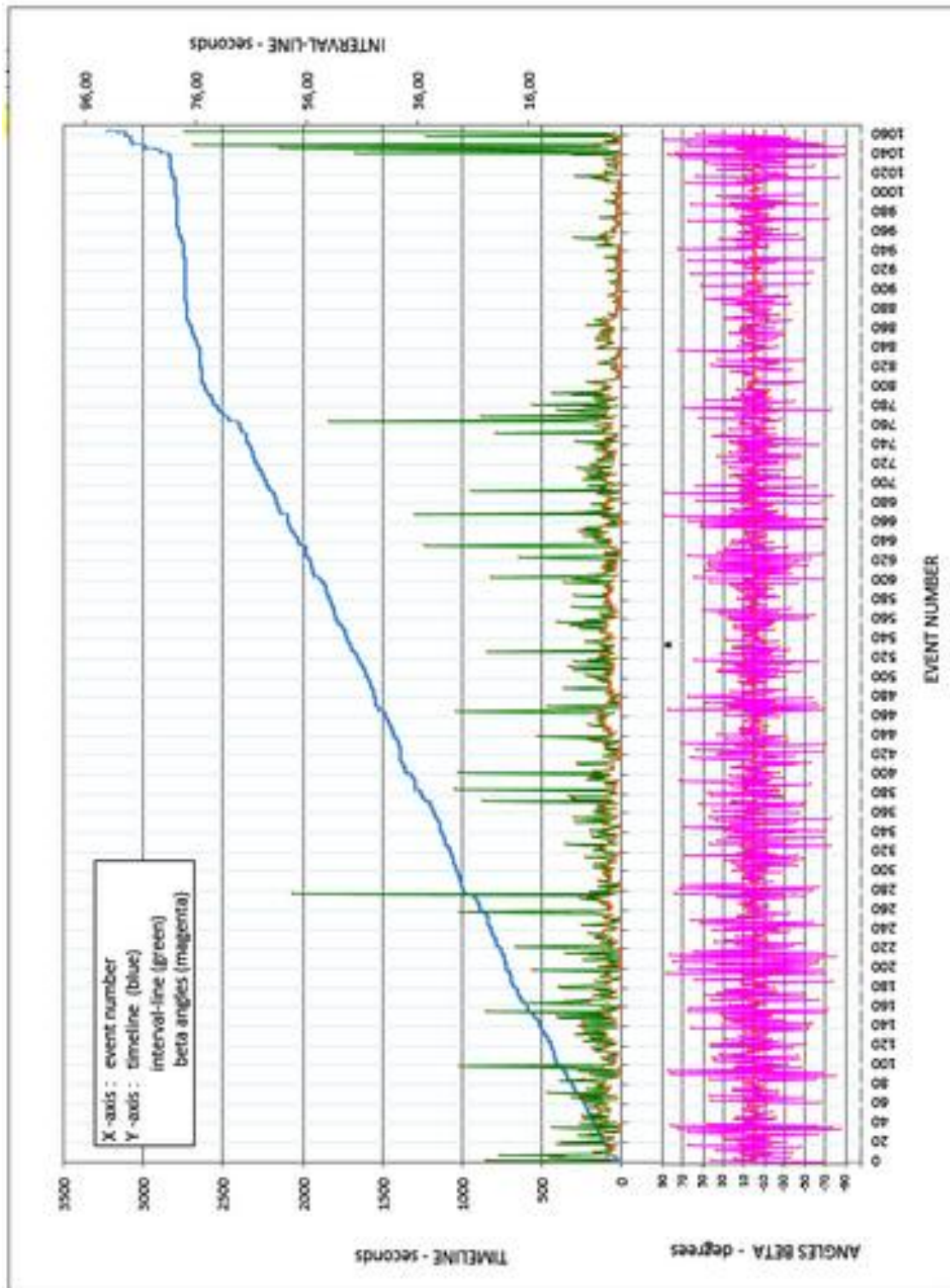


Figura 5 - *Timeline* (azul), intervalos de tempo entre ações (verde) e o ângulo de deflexão β (magenta) do dado produzido por um jogador.

Uma informação que evidencia o aspecto rugoso da *timeline* foi o intervalo de tempo entre eventos (Figura 5 - gráfico em verde), definida por $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$, que é uma medida do comportamento (interno) do sujeito entre dois eventos ou ações (comportamento externo). O caráter complexo dos dados, revelado pelos gráficos, é coerente com a esperada complexidade biofísico - cognitiva.

4.2.3 Conversão linear para angular

O ângulo associado a cada par de pontos no gráfico verde da Figura 5 representa uma medida do comportamento (α) correspondendo ao intervalo de tempo entre ações. Uma maneira equivalente de encontrar a informação do intervalo de tempo entre ações é pelo ângulo que uma reta, que une dois pontos consecutivos na *timeline*, forma com a horizontal: $\alpha_i = \tan^{-1}(\Delta t_i)$. A representação do comportamento do jogador por meio do ângulo α_i permite uma normalização visto que o tempo entre ações pode ter qualquer duração enquanto que o ângulo é limitado, i.e. $\Delta t_i \in (0, \infty)$ e por outro lado $\alpha_i \in (0, \pi/2)$. A variação de um comportamento é então representada pela variação do ângulo α_i , definido como ângulo de deflexão $\beta_i = \alpha_{i+1} - \alpha_i$ e assim $\beta_i \in (-\pi/2, \pi/2)$. O gráfico em magenta na Figura 5 mostra o ângulo de deflexão como função dos eventos para o Jogador 1.

Introduzimos a conversão dos dados lineares em angulares inspirados na topografia. Encontramos na trigonometria uma ferramenta adequada para normalizar conjuntos de dados que registram um movimento oscilatório periódico, mesmo numa cadência aparentemente desordenada tornando-os comparáveis entre si para facilitar o reconhecimento de padrões. Os dados de intervalos ocorridos originalmente inter ações registrados no Jogo dos Elásticos pela grandeza tempo, foram convertidos na grandeza angular α . A diferença entre grandezas α foi convertida em grandezas angulares beta, o que possibilitou a manutenção de todos os valores dentro do domínio de $[-90, +90]$, explicitando deste modo os gradientes aceleradores e desaceleradores das ações, assim como sua posição relativa nas classes de frequência de suas ocorrências.

4.2.4 Estudo do ângulo de deflexão β na *Timeline* particular

Examinando um recorte ampliado da *timeline* observa-se que existem nesta estrutura pequenos segmentos que interligam os pontos determinados por suas coordenadas $[x, y]$ para os quais consideramos dois tipos de ângulos: a) com a horizontal ou eixo X (ângulo $\alpha =$ alfa) e b) entre si com seus pontos vizinhos: antecessor e sucessor ($\beta =$ beta). Num primeiro passo examinamos somente as inter-relações trigonométricas de três pontos consecutivos quaisquer (Figura 6).

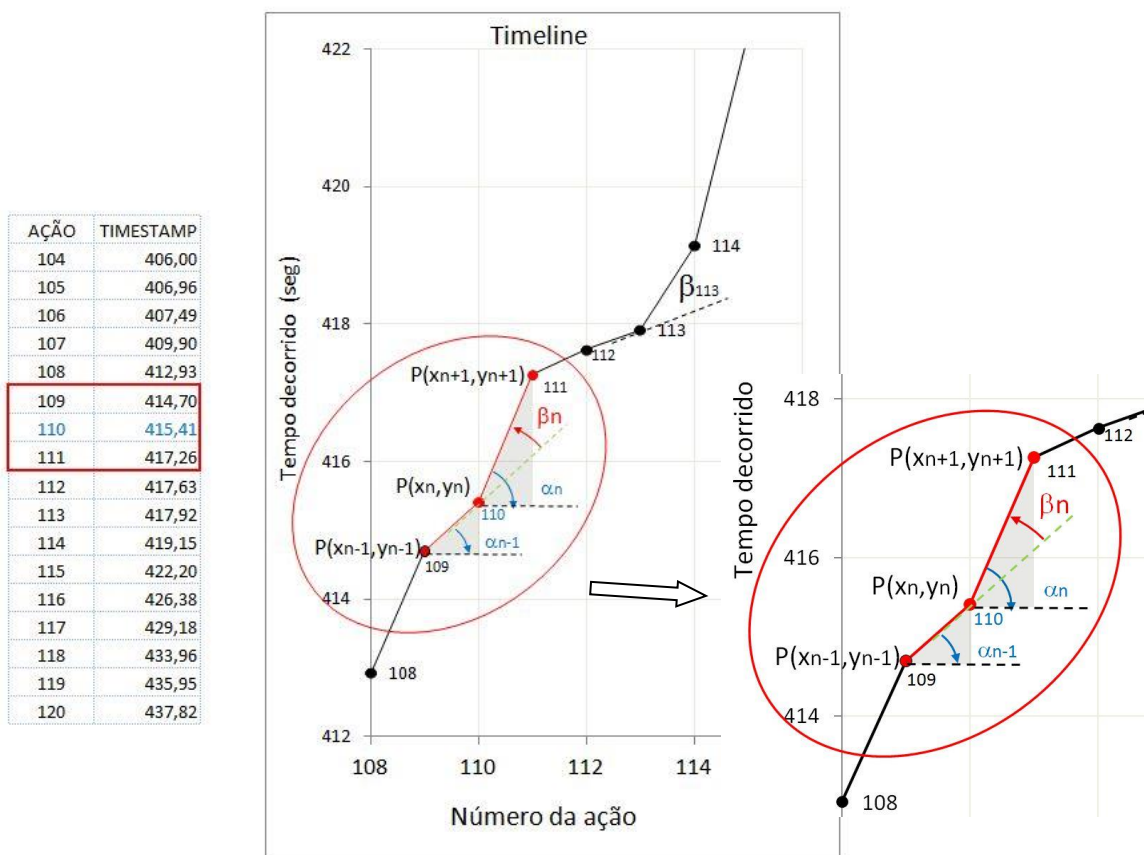


Figura 6 – Três pontos genéricos (em ampliação) da *timeline* sempre ascendente no quadrante positivo com as respectivas restrições impostas aos ângulos α_{n-1} e α_n .

Detalhando esta condição temos que ao percorrer um gráfico ponto a ponto há sempre uma relação matemática entre um ponto qualquer (P_n), o ponto que o precede (P_{n-1}) e o ponto que o sucede (P_{n+1}), que pode ser deduzida a partir das coordenadas de cada ponto. O primeiro e o último ponto da curva não têm um antecessor ou um sucessor respectivamente (a menos que estes sejam unidos formando um polígono). O ponto intermediário ou central P_n alinha-se à ré com P_{n-1} e

a frente com P_{n+1} , sendo, assim, o encontro de dois segmentos da reta. O ângulo ou inclinação de cada um destes dois segmentos poderá ser calculado pelas coordenadas dos três pontos, referido aqui como ângulo alfa (α_n e α_{n-1}). A Figura 7 ilustra arranjos de três pontos consecutivos de uma curva e seus respectivos ângulos α . A variação entre α_{n-1} e α determinará o ângulo de deflexão β . Trata-se, portanto, de uma medida angular obtida por análise de diferenças de mesma natureza. O ângulo β pode assumir valores positivo, negativo ou nulo, dentro de limites, no entanto, determinados pela relação dos dois ângulos α_{n-1} e α_n .

Na Figura 7 (expandida na próxima página), ao prolongarmos o segmento P_{n-1} verificamos que o segmento P_n pode encontrar-se acima (deflexão no sentido anti-horário ou positivo – A); abaixo (deflexão no sentido horário ou negativo - B) ou sobre a linha (deflexão nula - C). Deduzimos que, quanto maior a deflexão positiva (no sentido anti-horário), maior será a duração da ação n e maior será o intervalo de tempo entre ações (aceleração retrógrada). Inversamente, quanto maior a deflexão negativa (sentido horário) menor será a duração da ação n , o que significa que, quando β for negativo (β_n) o intervalo de tempo entre ações diminuiu, ou seja, o sistema sofreu aceleração.

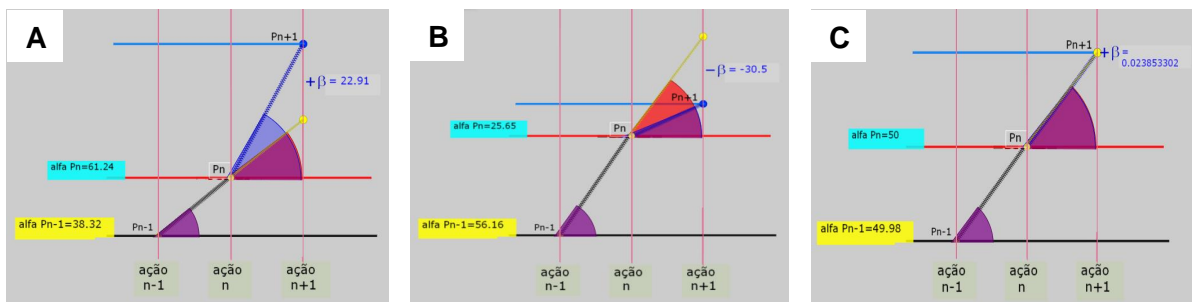


Figura 7 - Três modos possíveis em que pontos consecutivos podem ocorrer numa curva com as respectivas inclinações (ângulos α) dos segmentos que os une. Em *timelines* ocorrem somente deflexões (β) entre -90° e $+90^\circ$. Na figura **A**: $\beta+$ (positivo) reflete desaceleração na sucessão de ações, pois decorre do aumento nos valores de intervalo de tempo consecutivos; em **B**: $\beta-$ (negativo) reflete aceleração na sucessão de ações, pois decorre da diminuição nos valores de intervalo de tempo consecutivos e em **C**: inércia. Imagens com animação criadas no *software* Algodoo.

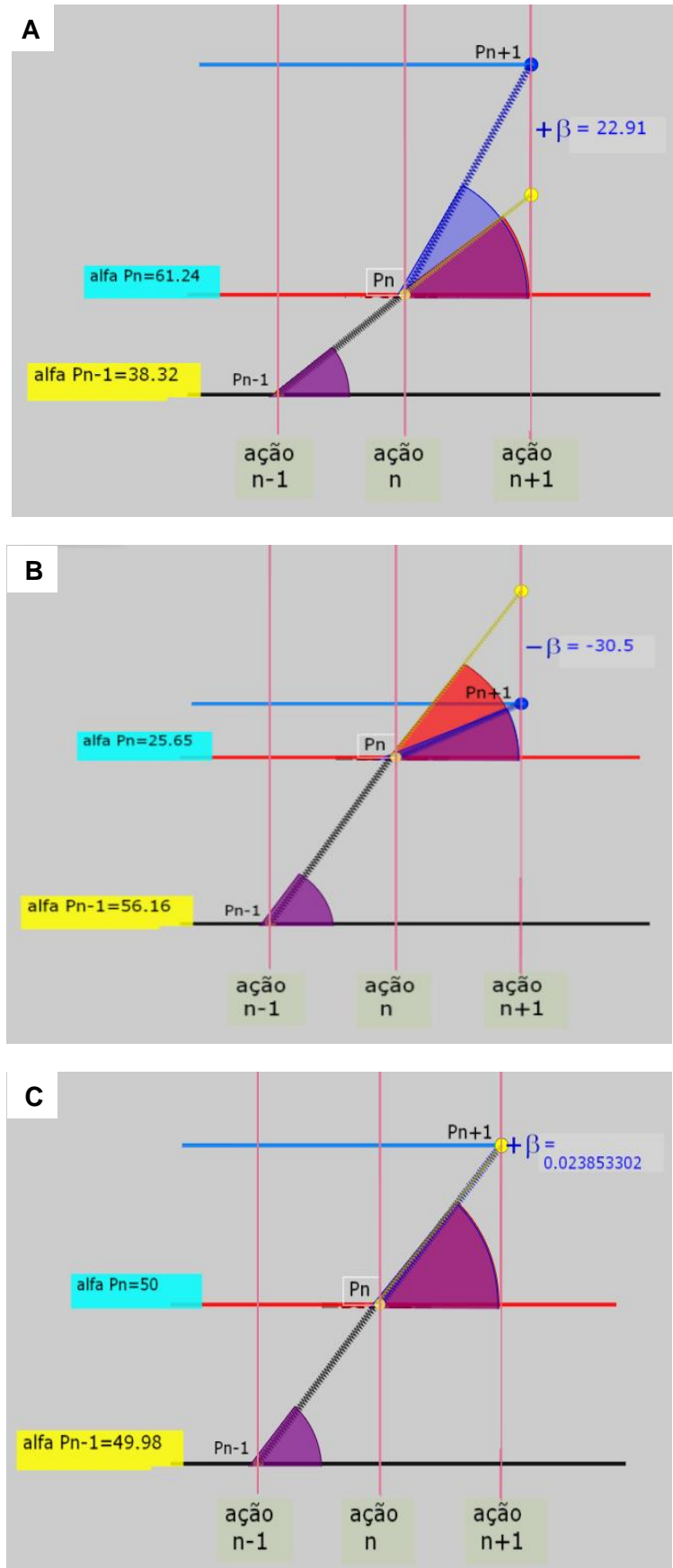


Figura 7 – Expandida

Deste modo, um ponto P_n qualquer, enquanto referência fixa para medidas de alteração geométrica de direção será também o portador do valor de β_n e deste modo, além das suas coordenadas pontuais X_n e Y_n agrega mais um valor geométrico definido pelo ângulo de deflexão (β). A análise matemática dos ângulos α e β de qualquer curva construída a partir de dados brutos obtidos por registros experimentais poderá fornecer dados estruturais e padrões comportamentais. A exemplo da Figura 7 nota-se que o cálculo dos ângulos α permite determinar os ângulos β . Pela trigonometria temos

$$\alpha_n = \arctan \left(\frac{y_{n+1} - y_n}{x_{n+1} - x_n} \right) = \arctan (y_{n+1} - y_n) \quad (1)$$

onde

$$x_{n+1} - x_n = 1 \text{ (variação padrão entre duas ações consecutivas)}$$

$$y_{n+1} - y_n = \text{intervalo medido em segundos entre duas ações consecutivas}$$

Na *timeline*, a inclinação ou ângulo α_n de um segmento é proporcional à variação ou ao intervalo de tempo (Δy) entre dois *timestamps* consecutivos, sendo α_n proporcional à velocidade de uma ação e expresso em unidade angular (radianos ou graus). O deslocamento de P_{n-1} até P_n ocorre numa direção dada por α_{n-1} . Conforme afirmamos anteriormente, P_n é referencial fixo para a mudança geométrica de direção das retas conectoras entre coordenadas sucessivas da curva funcional, conexão esta indicada pela trajetória $P_n \rightarrow P_{n+1}$.

A variação entre duas direções (ângulo de deflexão β), portanto $\beta \neq 0$ é consequência da existência de forças de aceleração evidenciáveis na *timeline* como variações da velocidade entre ações consecutivas. Nos Apêndices A, B e C expõem-se ampliações de um trecho inicial de 100 *timestamps* (ações) realizadas numa *timeline* com suas respectivas identificações qualitativas e quantitativas.

Ao processo de conversão dos dados lineares em angulares nomeamos de Método do Ângulo de Deflexão.

4.2.5 A *timeline* invertida

Séries temporais são sequências de eventos observáveis e/ou números ao longo do tempo. Sejam observações, medidas numéricas, os intervalos entre dados podem dar-se 1. uniformemente, 2. linearmente variados ou 3. não linearmente variados.

Usualmente registros temporais são representados graficamente com a escala de tempo na abscissa e a sequência de atividades ou ocorrências na ordenada como, por exemplo, num cronograma. Contudo, para ilustrar as relações trigonométricas implícitas no método, esta disposição dificulta a compreensão das diversas conversões. A *timeline* constitui um caso particular de curva, pois nela o tempo e as ações progridem irreversivelmente somente numa direção. Quando as ações e a escala de tempo são organizadas no eixo vertical (y), a sequência de pontos inexoravelmente se eleva. Estas duas importantes restrições tornam-na menos complexa e por este motivo se adequam como modelo para a análise mais detalhada do ângulo β . Optamos assim por uma representação inversa, ou seja, uma *timeline* invertida (Figura 8) que chamamos simplesmente de *timeline*. Portanto, todas as referências anteriormente feitas à *timeline*, em nosso estudo correspondem a *timeline* invertida. Por conveniência, fixamos o espaçamento entre duas ações consecutivas em uma unidade, em teoria, adimensional.

Num primeiro momento, o trajeto desta sequência de pontos se assemelha a uma reta rugosa que parece não conter informação significativa para além de um avanço linear do tempo. Julgamos oportuno mais uma vez chamar a atenção para o fato de que ao aproximamos o “zoom” sobre os dados da *timeline* constatamos tratar-se de uma linha composta por muitos pontos que parecem oscilar aleatoriamente em torno da reta ideal.

As ações de um dado participante no jogo, resumidas a cliques do *mouse*, portanto, se sucedem, por analogia com a física clássica a velocidades variadas conforme o tempo cronométrico avança (Figura 8). Ainda nos utilizando desta analogia que se provará pertinente daqui para frente, pode-se concluir que o sistema jogo/jogador estabelecido na experiência estaria submetido a forças de aceleração, ora retrógradas, ora anterógradas evidenciáveis pela análise matemática funcional das variáveis estudadas. Não se trata de um sistema em estado inercial.

Na ampliação da Figura 8, a *timeline* é uma linha sinuosa que une a sucessão de pontos determinados pelos dados brutos (*timestamps*). Entendemos que o modo como ela se apresenta graficamente representaria uma assinatura particular do conjunto de dados de cada indivíduo e indicaria, num nível subjacente, uma impressão digital única ou uma senha do registro que a gerou, como o perfil de uma chave se aplica a uma fechadura correspondente.

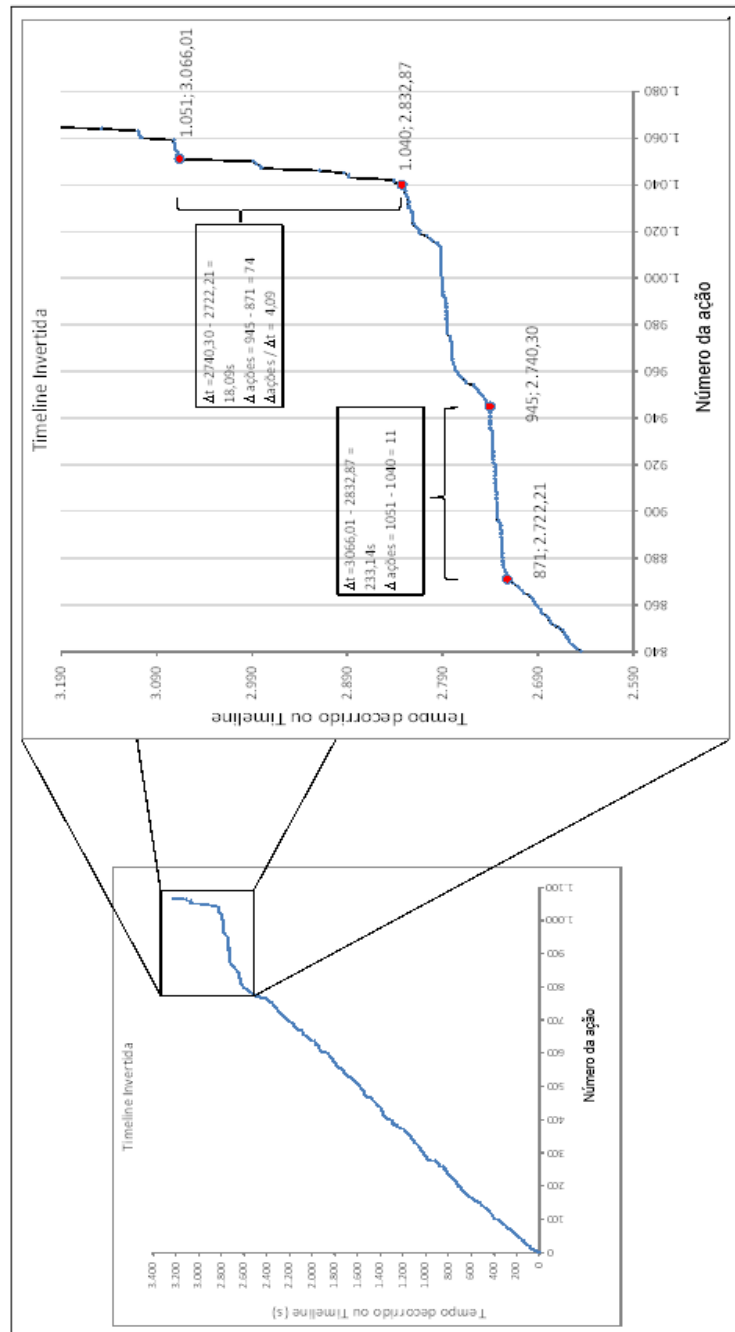


Figura 8 - Exemplo de *timeline* invertida para dados do Jogo dos Elásticos

Desta forma propõe-se um novo paradigma investigativo do comportamento humano onde a variação do tempo não é mais independente, mas depende do indivíduo. Isto é, a impressão digital comportamental dos indivíduos está gravada no tempo investido em cada ação. Por outro lado, a reta que se apresenta na relação tempo x ação não é suficiente para caracterizar a complexidade do comportamento humano em situação de desafio/aprendizagem, isto é, a reta evidencia um aspecto periódico como um tic - tac de um relógio presente no comportamento humano. O que de fato interessa, que é o foco desta pesquisa, é a variabilidade dos comportamentos dos jogadores durante o processo de desafio/aprendizagem, i.e. o comportamento não linear, rugoso, presente nos dados.

4.2.6 O estudo das variações

Encontramos no estudo das variações de tempo entre as ações uma possível pista investigativa para a correspondência cognitivo – biofísico - matemática que buscamos.

Cada *timestamp* guarda em si, além de um conjunto de informações quali quantitativas, informações relacionais. Em decorrência desta constatação, concordamos designar a variação no *timestamp* como comportamento, e desta forma, antecipando as conexões pretendidas com termos e expressões da ciência da cognição, um dos desdobramentos iminentes deste estudo. A variação, revelada pela rugosidade nas curvas de intervalos (Figura 5), constitui, assim, numa medida de comportamento, permitindo inferir sobre possíveis / prováveis correlatos de ordem biofísicos refletidos nos parâmetros físicos registrados a partir das ações ao longo da *timeline*. Investigamos a existência de um conjunto de “identidades” ou “assinaturas” cognitivas que possa contribuir para classificar matemática e cognitivamente a significância dos elementos do conjunto experimental de dados.

Na busca por um método adequado para a compreensão das variações do tempo entre ações, a análise trigonométrica, expressa por algoritmo específico, mostrou-se pertinente, em função da possibilidade de normalização das variações, entre -90° e $+90^\circ$ (Figura 9), retomando o que foi dito anteriormente.

$$\frac{\Delta f_n}{\Delta t_n} = \frac{f_{n+1} - f_n}{t_{n+1} - t_n} = \tan \alpha_n \quad (2)$$

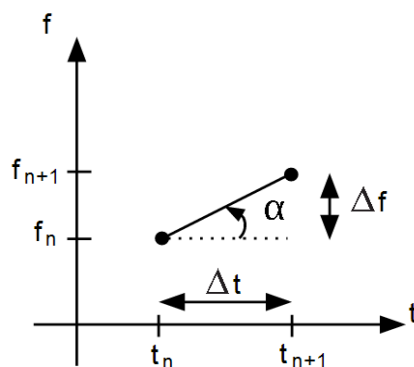


Figura 9 - Análise das Variações do comportamento (f) entre dois “instantes” consecutivos (t_n e t_{n+1})

Para interpretar definimos um algoritmo que revelasse a estrutura interna dos dados, pela *timeline* ou por suas variações. O intervalo de tempo entre ações, que representa o comportamento do indivíduo, corresponde à velocidade de um movimento. Pela lei de conservação do movimento, usualmente relacionada a Newton, a alteração do estado de movimento ou alteração da velocidade (aceleração) está associada a ações externas denominadas forças. Assim, com a analogia proposta visualiza-se o ângulo de deflexão β_i como um equivalente à aceleração e, portanto, equivalente a forças. Portanto, sugere-se que a dinâmica do jogador seja governada por um conjunto complexo de forças que o induzem a agir no jogo apresentando um padrão de sistema dinâmico não linear, complexo. Assim, a dinâmica de um jogador seria semelhante num certo sentido com a dinâmica de sistemas complexos, como a dinâmica do vento ou dos batimentos cardíacos por exemplo.

Uma analogia pode ser feita entre a proposta que se apresenta com sistemas dinâmicos clássicos. Tomando a variável t_i como análoga à variável posição X_i num movimento tem-se que a variação Δt_i do tempo em relação às ações, representada por α_i , corresponde à variação da posição em relação ao tempo, qual seja a velocidade V_i do movimento. Assim a segunda variação representada por β_i corresponde à aceleração a_i no movimento. Desta forma, propõe-se uma analogia em que, em sua definição, inverte-se o conceito de tempo tratando-a como uma variável dependente. Decidimos investir no estudo da frequência de ocorrência da variação dos comportamentos, i.e. a distribuição de frequências.

4.2.7 Tratamento matemático e estatístico

As primeiras tentativas de análise estatística foram tentativas básicas como média, moda e mediana que logo se mostraram inadequadas. Análises como Quiquadrado, pareamento, Teste T também foram experimentados nos intervalos de tempo, todas resultando em insucesso. A partir da constatação da natureza complexa dos dados fundamentamo-nos na geometria fractal e selecionamos a rugosidade como parâmetro para investigar padrões de ordem. Constatamos o caráter multiescalar dos dados (Figura 10 expandida na próxima página).

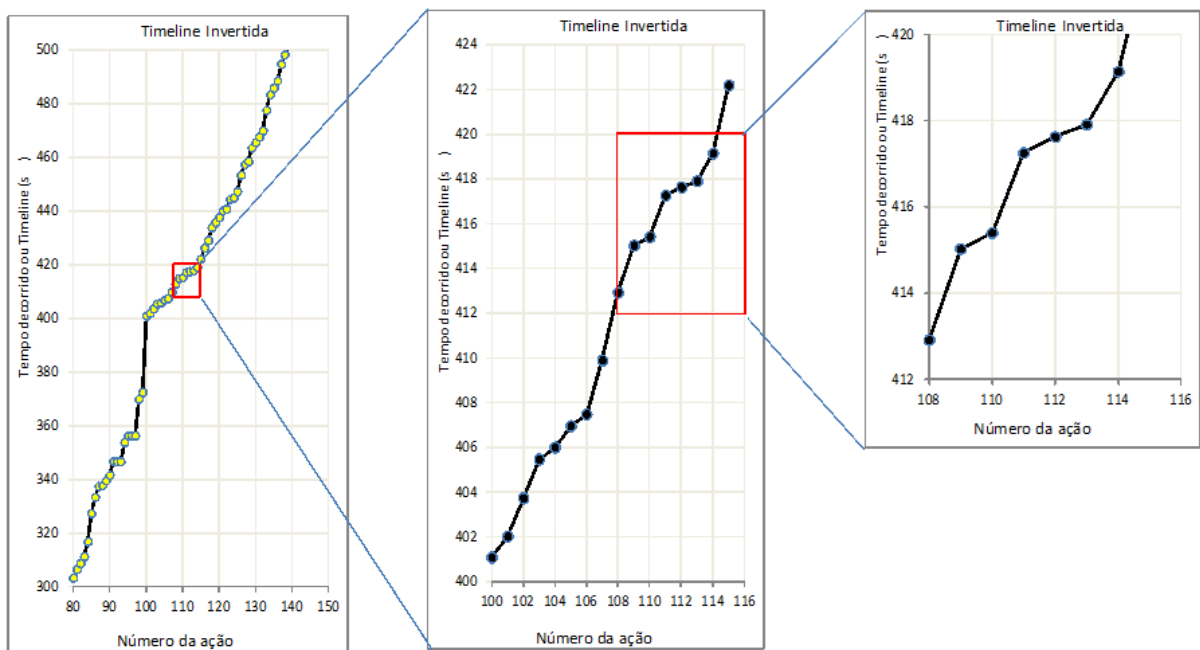


Figura 10 - Recorte de 70 ações (de 80 a 150) na *timeline* (invertida) ampliada duas vezes. Evidencia o caráter fractal multiescala, onde se revelam detalhes na curva rugosa na medida em que se aproxima a observação.

Aplicamos a análise clássica de Fourier por meio do espectro de frequências. Esta igualmente não contribuiu para a caracterização dos dados uma vez que não evidenciou um padrão no domínio da frequência destes dados (LOUMOS; DEEMING, 1978). O espectro de frequências dos dados é semelhante ao espectro de frequências de séries aleatórias, o que é mais uma evidência do caráter complexo dos dados em análise.

A análise dinâmica fractal (BARROS, 2011) vem sendo investigada em paralelo a este estudo encontrando-se, neste estágio, inconclusiva para correlações biofísica e cognitiva.

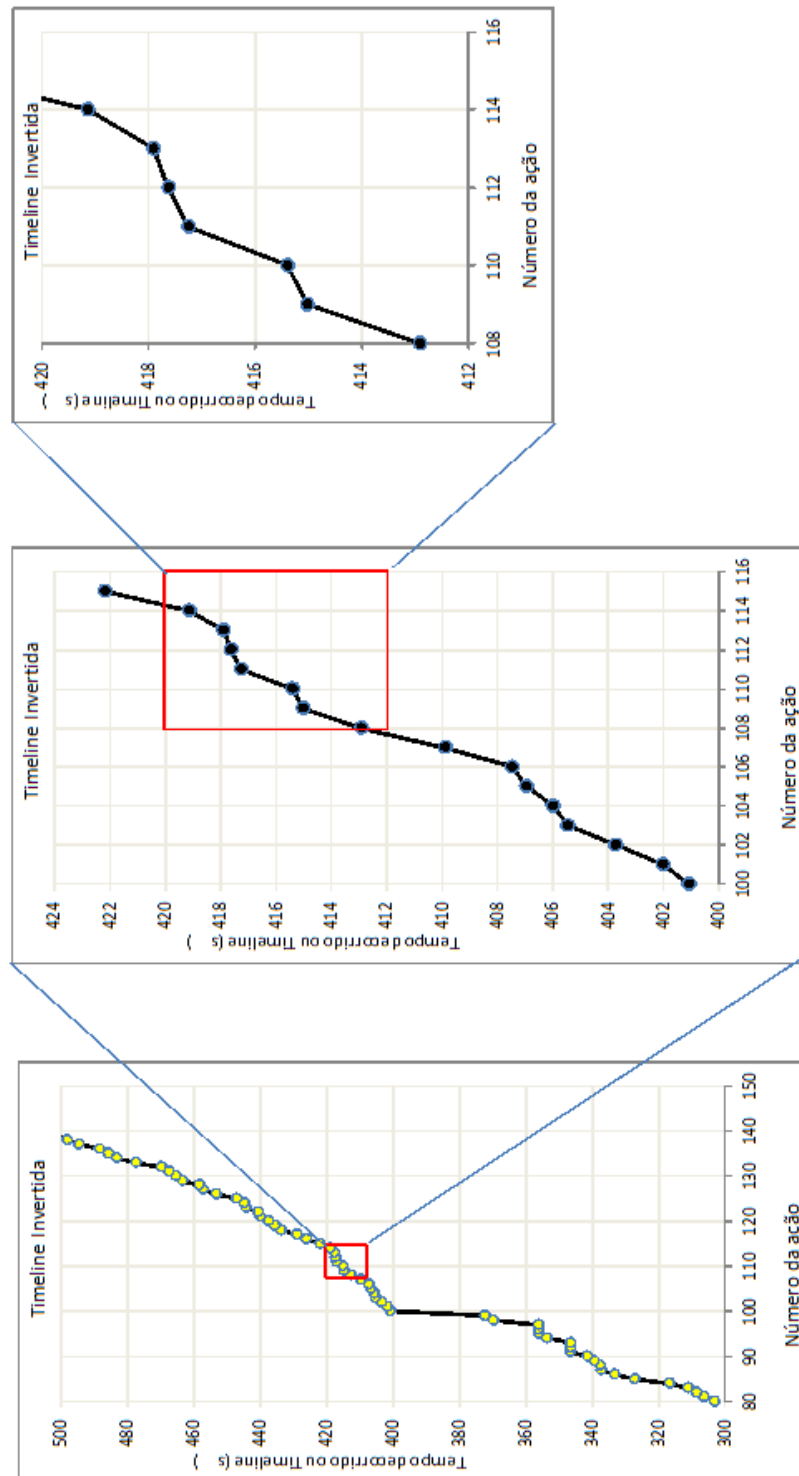


Figura 10 – Ampliação Recorte de 70 ações (de 80 a 150) na *timeline* (invertida) ampliada duas vezes. Evidencia o caráter fractal multiescala, onde se revelam detalhes na curva rugosa na medida em que se aproxima a observação.

Optamos pela distribuição de frequência para os intervalos de tempo. Os resultados se mostraram interessantes apontando para prováveis agrupamentos por perfis das curvas. Pela inspeção visual projetamos seis prováveis grupos.

Abandonamos a análise sobre os intervalos de tempo e repetimos a distribuição de frequência nos dados angulares β resultantes do Método do Ângulo de Deflexão β organizando-os em intervalos de classe.

4.2.8 Aplicação para os dados do Jogo dos Elásticos

As medidas dos ângulos de deflexão (β) foram organizadas sob a forma de taxas ou frequências por intervalos de valor de mesma natureza para cada um dos 20 *playtimes*. Os valores β foram divididos em intervalos de variação e, para cada intervalo, levantamos a ocorrência de valores β a este pertencente. A esta medida, definida por intervalo, denominamos taxa ou frequência f_{β} , a qual normalizamos para o total de medidas β realizadas. Os dados f_{β} assim organizados corresponderam às clássicas curvas ou gráficos (geralmente de barras) de distribuições de frequência por intervalos de classe. Para o caso particular das curvas geradas a partir dos dados do Jogo dos Elásticos utilizamos a função Frequência do Excel (*Microsoft Corporation, 2007*). Subdividimos arbitrariamente os valores β em classes de tamanhos ajustados tal que favorecessem a visualização dos resultados para cada uma das análises derivadas das Frequências de β (Figura 11).

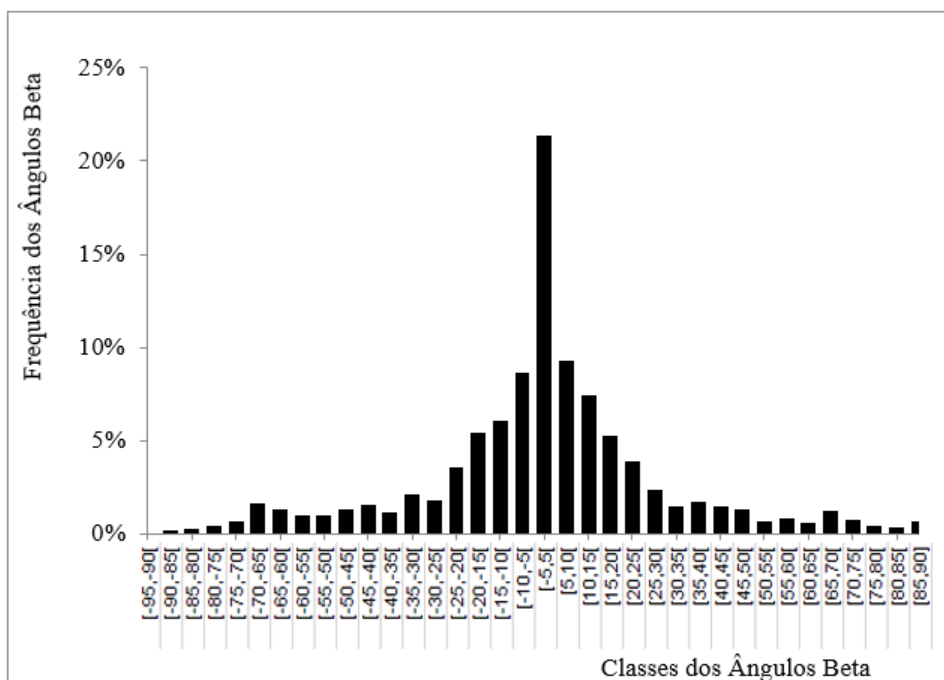


Figura 11 - Exemplo genérico de distribuição de frequência de ângulos de deflexão

A análise visual nesta etapa mais uma vez contribuiu para indicar a necessidade de validar nossa percepção por meio da matemática. Para organizar o gradiente de distribuições de frequência de padrões de forma distintos e evidenciar o decréscimo ou o decréscimo seguido de crescimento definimos o **Coefficiente de Forma** (Φ) pela expressão (3) generalizada para uma quantidade N de intervalos positivos, que são iguais à quantidade de intervalos negativos, obtendo-se

$$\Phi = \frac{\sum_{n=1}^{N-1} [f_{(n)} - f_{(n+1)}] + [f_{(-n)} - f_{(-n-1)}]}{f_{(0)}} \quad (3)$$

O Coeficiente de Forma tal como proposto avalia a forma da distribuição de frequência do ângulo de deflexão em termos de crescimento ou decrescimento em relação ao centro com ângulo de deflexão nulo, em somatória ou integral, i.e. para toda a distribuição, por meio de um único número. Assim, se o gráfico tem um aspecto estritamente decrescente a soma dos incrementos será positiva enquanto que se houver um comportamento em forma de “U” haverá incrementos positivos e incrementos negativos levando a uma tendência de valor próximo de zero ou mesmo assumindo valores negativos.

As distribuições de frequência de β dos 20 conjuntos de dados em estudo revelaram uma característica comum de simetria. A fim de avaliar quantitativamente quão próximo do simétrico está um gráfico de distribuição de frequência do ângulo de deflexão definimos matematicamente o **Coefficiente de Simetria** (Ψ) pela expressão

$$\Psi = \frac{\sum_{n=1}^N |f_{(n)} - f_{(-n)}|}{\sum_{n=-N}^N f_{(n)}} \quad (4)$$

onde N é a quantidade de intervalos positivos que é igual à quantidade de intervalos negativos. O Coeficiente de Simetria definido pela expressão (4) contabiliza a soma das diferenças entre valores positivos e negativos e a normaliza em relação à quantidade total de ocorrências, correspondente à quantidade de ações. Desta forma o Coeficiente de Simetria é sempre um valor positivo e menor que a unidade. Além disso, quanto mais próximo de zero for o Coeficiente de Simetria, maior é a simetria. Se a simetria for perfeita será igual a zero. Desta forma foi possível ordenar

o comportamento das 20 curvas em termos de seus padrões de simetria, ou tendências de equilíbrio.

4.2.9 Transdução para valores musicais

Um desdobramento do estudo consistiu no ensaio metodológico em que intervalos variáveis de tempo entre ações, transformados em ângulos β foram convertidos parametricamente em espectro de variações de notas musicais, organizadas no tempo. O experimento de transdução dos dados do *log* do jogo para notas musicais foi construído adotando-se três figuras musicais e seus respectivos valores (Figura 12) arbitrados e parametrizados em correspondência com três classes de intervalos de tempo entre ações no jogo.

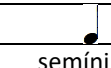

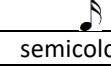
Classes de Intervalos	Figura de Som	Tempo
[6, 100]	 semínima	1
[2, 6 [ colcheia	0,5
[0, 2 [ semicolcheia	0,25

Figura 12 - Correspondência de classes e figuras de som.

Em seguida, desenvolvemos uma rotina no programa *Excel* (*Microsoft Co.*) para a automatização da associação entre medidas de análise dos intervalos de tempo entre ações e as figuras musicais. Calculamos a taxa de incidência com que os intervalos de tempo entre ações recaem sobre determinadas faixas de variação destes valores, e a partir daí, os valores destas taxas passaram a determinar, por parametrização arbitrária, as notas musicais correspondentes, num processo que culmina com a transformação das *timestamps* dos 20 jogadores (Figura 13) em 20 construtos musicais.




	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	101	68	102	48	41	123	25	82	38	39	37	42	36	37	38	33	13	129	54	72
	367	171	406	152	108	438	184	221	181	137	309	174	127	151	212	107	69	353	157	248
	596	216	318	231	181	240	855	1112	87	162	455	187	121	214	54	230	278	400	94	143
TOTAL	1065	457	829	435	335	807	1071	1423	315	348	812	415	297	416	319	386	377	900	324	483

Figura 13 - Frequência de cada nota musical para os 20 jogadores

Aplicamos um algoritmo aos intervalos de tempo entre dois cliques de *mouse* convertendo-os em medida angular favorecendo a representação estatística das variações do andamento do jogador. A altura de cada nota no pentagrama foi definida pela correspondência das variações menores - menos de dois segundos - à nota *la3*. À medida que estas variações crescem negativa ou positivamente são classificadas respectivamente em sons mais agudos ou mais graves. Ao todo arbitramos 17 notas cobrindo um pouco mais de duas oitavas musicais (Figura 14).



Figura 14 - Distribuição da frequência estatística de beta para sua correspondente frequência sonora

Na etapa seguinte, aplicamos o método à sequência de intervalos de cada jogador (Figura 15) e utilizamos o programa *Encore 5* para escrever a partitura.

ação	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
nota	sol4	do3	la3	mi3	la3	sol3	fa4	fa3	fa3	re4	si3	fa4	do3	do4	sol3	fa3	fa4
duração	1	1/4	1/2	1/2	1	1	1	1/4	1/2	1/2	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/2
compasso	1						2										

Figura 15 - Transdução de intervalos sequenciais em notas musicais de ações do Jogador 1

O pentagrama foi preenchido manualmente para as primeiras ações produzidas por cada um dos 20 jogadores (variando de 119 a 234), o que equivaleu à mesma quantidade de notas distribuídas em 20 compassos 4/4 - cada compasso contendo no máximo quatro semínimas de um tempo, ou oito colcheias de $\frac{1}{2}$ tempo ou 16 semicolcheias de $\frac{1}{4}$ tempo (tempo = pulso) ou uma mistura destas três figuras, desde que a soma de seus tempos resultasse em quatro. O programa distribuiu as notas nos compassos, produzindo sequências tonais (Figura 16).

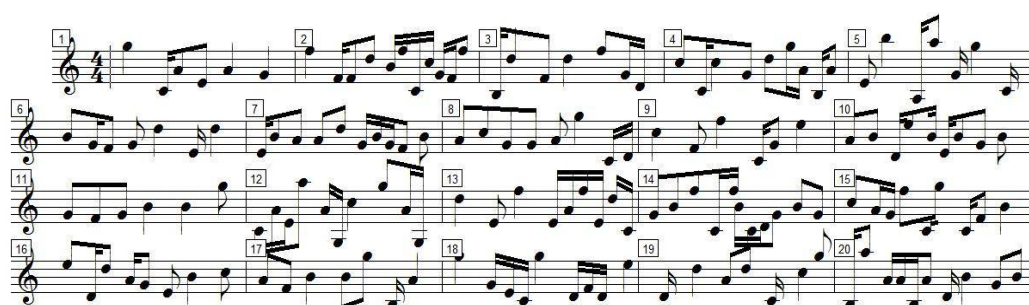


Figura 16 - Vinte primeiros compassos do construto musical resultante do ensaio para o Jogador 1 no *Encore 5*

O objetivo deste ensaio foi gerar uma aplicação do Método dos Ângulos de Deflexão β em um modal que integra linguagens-código (SEMINÉRIO, 1984; 1985) para o reconhecimento de padrões. Desta forma o dado bruto (ações) produzido por um humano pelo canal viso motor (SEMINÉRIO, 1984; 1985), convertido em dado matemático (intervalo de tempo α e ângulo de deflexão β) e transduzido em valores musicais poderia ser reconhecido pelo canal áudio fonético (SEMINÉRIO, 1984; 1985) de outro humano estimulando-o a diferenciar padrões sonoros.

4.3 SÍNTESE

Os conceitos matemáticos necessários para o método proposto consistem de ferramentas simples e bem estabelecidas, incluindo funções, trigonometria e distribuição de frequências, todavia propostos de forma inédita e utilizados sobre aspectos dos dados possivelmente não investigados. Descrevemos o Sistema de Análise proposto neste estudo sintetizado na Figura 17.

Desta forma, contemplamos o objetivo geral da pesquisa que ensejou o desenvolvimento de um sistema analítico para a identificação de padrões de ordem

para séries temporais numéricas, aplicado experimentalmente a dados registrados durante a interação do humano com um jogo computacional.

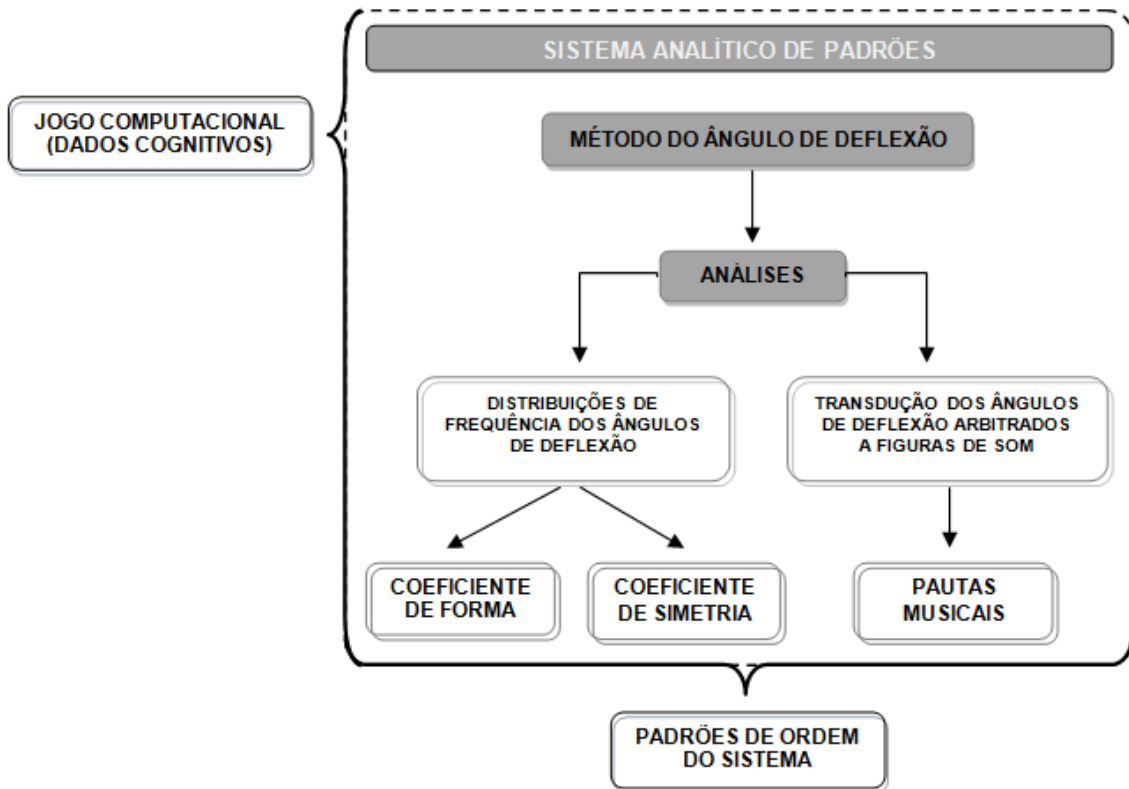


Figura 17 – Esquema síntese do Sistema Analítico de Padrões

No Capítulo 5 apresentamos os Resultados da aplicação e nossas reflexões à luz da complexidade imposta pelo entrelaçamento matemático – biofísico – cognitivo, caso particular das 20 séries temporais do Jogo dos Elásticos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 INVESTIGAÇÃO DE PADRÕES PELA OBSERVAÇÃO DAS VARIAÇÕES DE COMPORTAMENTO

Intuitivamente, por vezes nos é dado perscrutar indicadores de regularidade na irregularidade, contudo o desafio está no desenvolvimento de instrumentos e métodos sistemáticos, objetivos e reprodutíveis de identificação e classificação de padrões em dados complexos. Neste sentido desenvolvemos o Método do Ângulo de Deflexão cujo mecanismo central consiste na conversão de dados de comportamento. Descrevemos adiante porque converter um sistema escalar em angular consiste numa transformação que detecta mudanças do padrão de mudanças.

5.1.1 A variação de α e β

Uma série temporal pode ser ilustrada pelo registro sucessivo de seus marcadores temporais ou *timestamps*. Ao subtrairmos um *timestamp* n de seu antecessor $n-1$, estamos calculando o intervalo entre duas ações, em outras palavras, a duração do que se acredita ser a preparação do participante para a próxima ação n em segundos. A natureza destes dados nos leva a um equivalente, invertido e aproximado, do que seria, na física clássica, definível como velocidade. Esta unidade (segundos por ação) pode ser convertida em seu respectivo valor angular, medido em radianos ou graus por ação (rd/ação ou grau/ação). Este tratamento matemático permite visualizar, numa série de ações em função de intervalos de tempo entre ações, a sucessão de **variações** das durações das ações que a compõem.

É possível verificar matematicamente se, entre cada equivalente inverso de velocidade ou a partir da simples duração do processamento/preparação para a próxima ação, houve aumento ou redução do correspondente (invertido e aproximado) parâmetro de velocidade. Obtém-se, deste modo, um registro dos gradientes deste equivalente que ocorrem na série de ações. Nomeamos o equivalente à velocidade de ângulo alfa (α) e a **variação deste equivalente**, de ângulo beta (β), podendo ser compreendido geometricamente como alteração ou deflexão registrada entre ações sucessivas. Correspondentemente, adotada esta

perspectiva de análise, temos que o ângulo β derivaria de um equivalente, invertido e aproximado, da aceleração, traduzindo mudanças do equivalente da velocidade em nosso sistema (Figura 18).

	DADO	SIGNIFICADO
Input	marcadores temporais ou <i>timestamps</i> (dado bruto ações na <i>timeline</i>)	(s) deslocamento
1ª conversão	intervalos ângulo α (dado primário funcional)	Δs (variação de Y em relação a X) velocidade ou duração da ação n
2ª conversão	ângulo β	variação da velocidade (aceleração e desaceleração)

Figura 18 - Correspondências na conversão do dado linear em angular

Dado o exposto surge uma pergunta fundamental: na conversão de um sistema de medição linear (expresso em segundos/ação) para um sistema trigonométrico (expresso em graus/ação) poderia ocorrer uma distorção do *input* de dados ou de uma série de ações? Comparando os gráficos da *timeline* e do círculo trigonométrico nota-se que o intervalo i ou a duração da preparação para a ação P_n corresponde à tangente do ângulo α_n (Figura 19). No círculo trigonométrico $i = \text{tg } \alpha$.

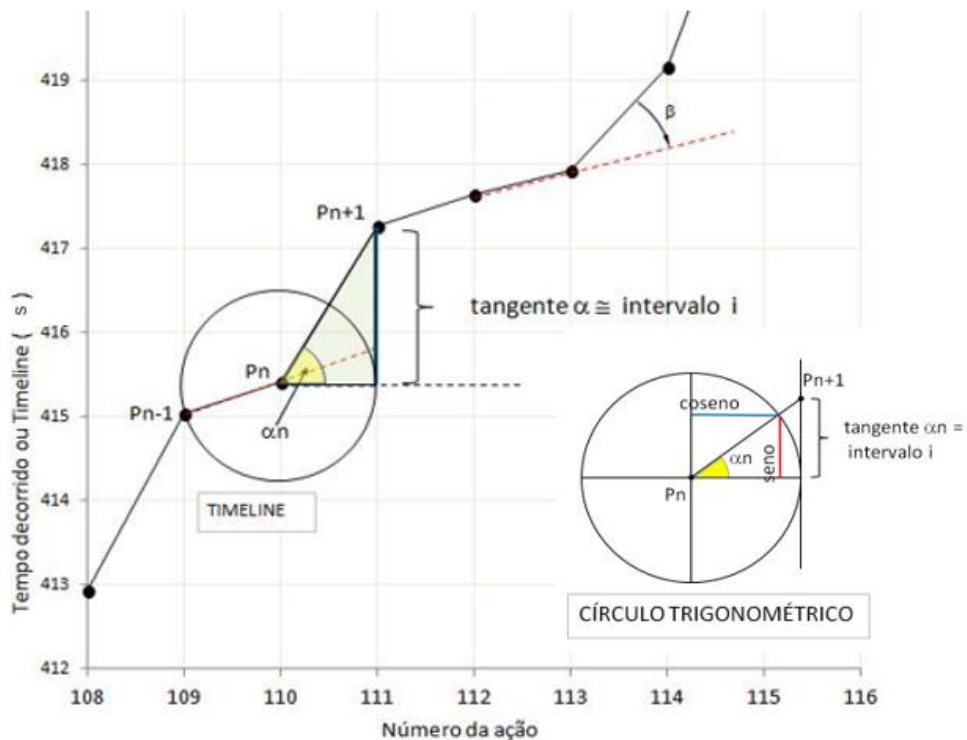


Figura 19- Correspondência interpretativa entre a *timeline* e o círculo trigonométrico

Deste modo, a expressão

$$\alpha_n = \arctan \left(\frac{y_{n+1} - y_n}{x_{n+1} - x_n} \right) = \arctan (y_{n+1} - y_n)$$

pode ser reescrita na forma $\text{tg}\alpha = \text{intervalo } i$ cujo gráfico para os valores de α variando de 0° a 90° está na Figura 20.

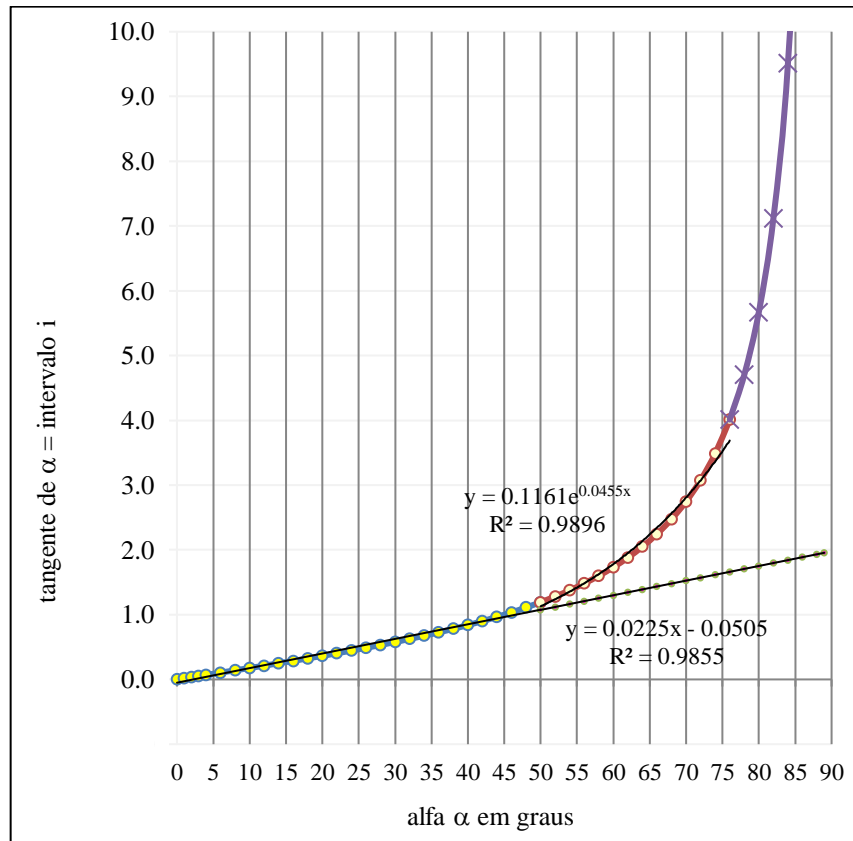


Figura 20 - Correspondência linear dada pela equação da linha de tendência $y=0,0227x - 0,0565$ para intervalos $< 1, 2$ s e $\alpha < 50^\circ$.

Na Figura 20, no trecho de intervalos de 1, 2 a 4s observa-se uma curva crescente que indica que os intervalos contidos nesta faixa são comprimidos moderadamente para dentro de uma faixa de ângulos α de 50° a 76° . Acima destes valores de $i=4$ s (50°) esta atenuação dos intervalos cresce rapidamente e passam a ser comprimidos para o teto de 90° . Pode-se afirmar assim que o método realça os intervalos pequenos e insere os grandes em um limite.

A Figura 21 apresenta um exemplo deste fenômeno com dados do Jogador 1. A *timeline* (em azul) de um jogo com 1064 ações e sua respectiva curva dos

intervalos ou equivalentes das velocidades das ações (em verde) mostra com alguma nitidez somente os intervalos maiores que 5s. Se ampliarmos os quase 90% de picos teríamos que truncar os maiores que 5 segundos. Esta incompatibilidade dimensional é facilmente superada pela curva dos intervalos expressa pelos ângulos α cuja linha lilás mostra a amplificação dos dados no trecho inicial (0-200 ações), tornando-os visíveis a uma inspeção visual e a compressão dos intervalos maiores no limite de 0-90° como no trecho final da jogada (800-1064 ações).

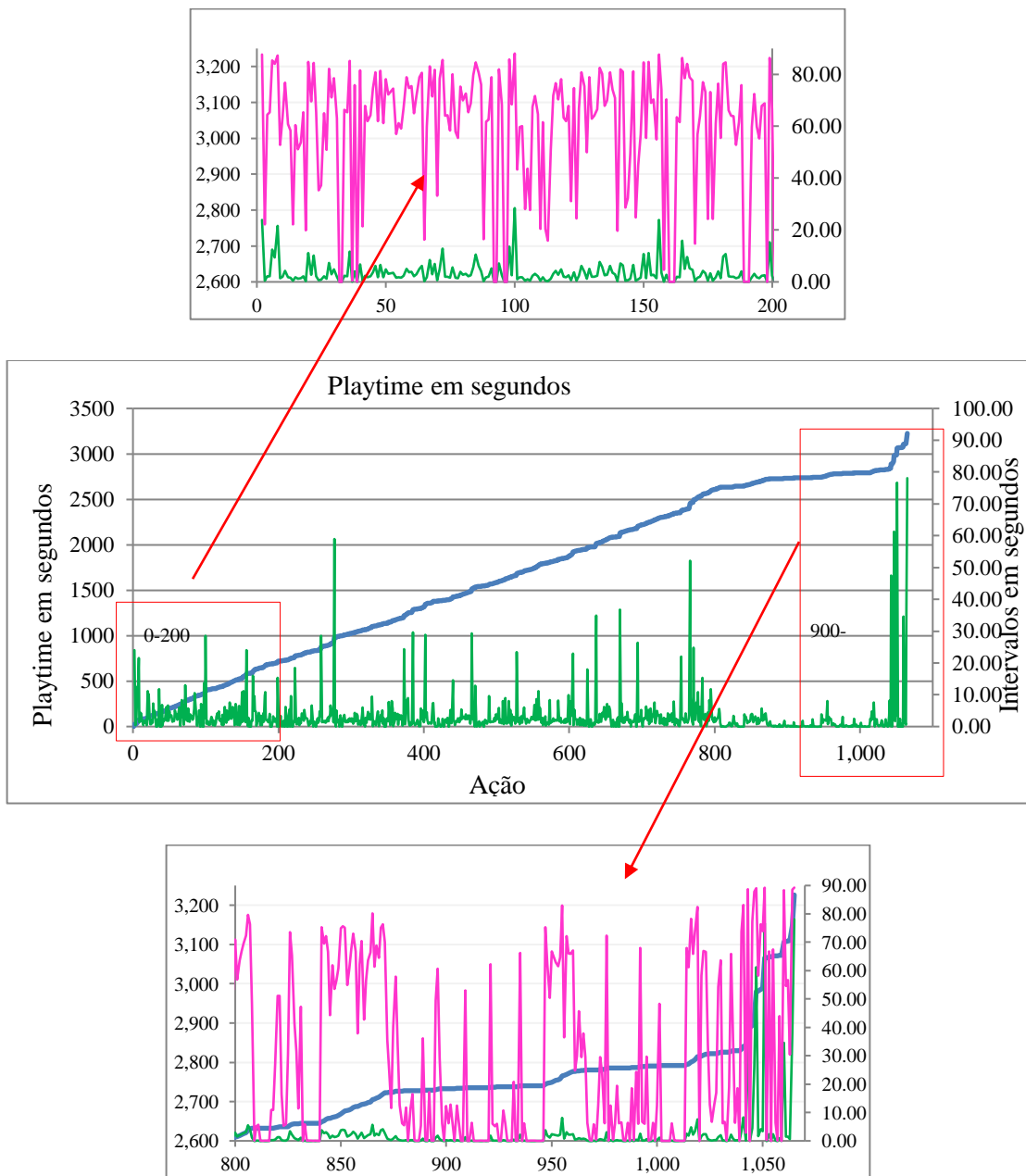


Figura 21- Curva dos intervalos (linha verde no gráfico ao centro) expressa pelos ângulos α (linha rosa nos gráficos inferior e superior). Amplificação dos dados no trecho inicial (0-200 ações) no gráfico superior e compressão dos intervalos maiores no limite de 0-90° no trecho final da jogada (800-1064 ações) no gráfico inferior. A linha azul corresponde à *timeline*.

A exemplo da curva do Jogador 1 sua distribuição consiste em 87,4% dos intervalos menores que 5s e apenas 5,1% maiores que 10s (Figura 22). A não visibilidade dos intervalos muito pequenos de tempo poderia ser interpretada como ausência de dados, o que acarretaria em perda de informação. Portanto, o método garante a inclusão de todos os dados na análise.

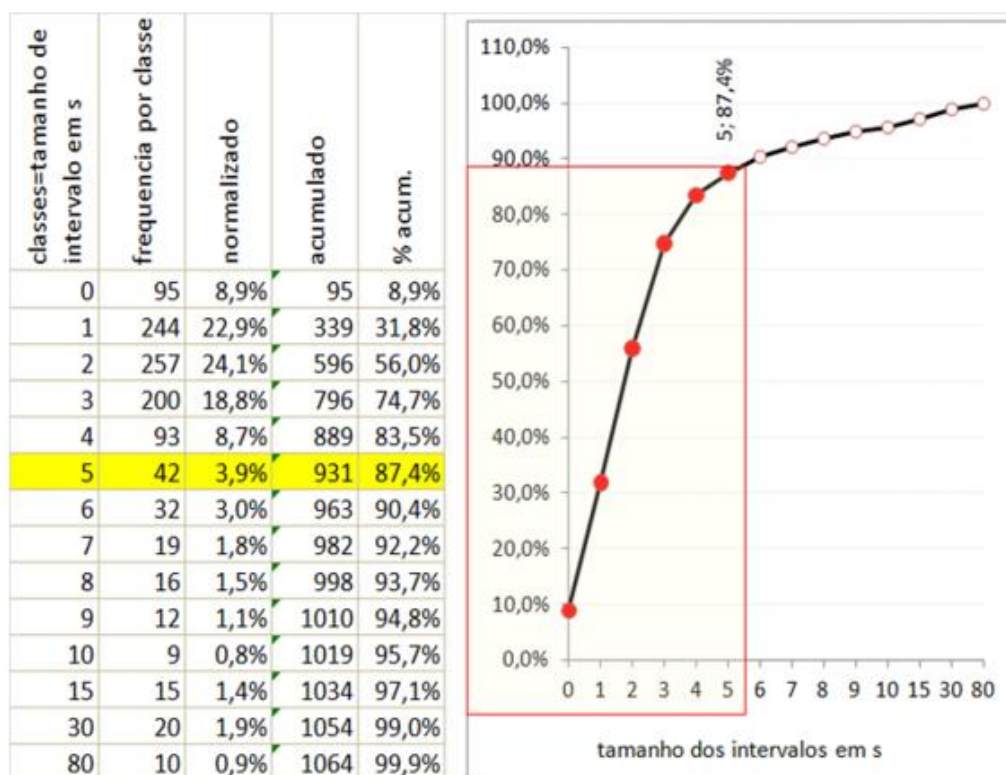


Figura 22 - Frequência acumulada de intervalos do Jogador 1 perfazendo 87,4% dos intervalos menores que 5 s e apenas 5,1% maiores que 10 s.

Ademais desta técnica de nivelamento ressaltamos que os ângulos β resultam da subtração de dois ângulos α , o que torna possíveis distorções na aplicação do algoritmo do *arctan* reduzidos a um mínimo irrelevante para a análise subjacente das séries dos ângulos β obtidos pelo Método do Ângulo de Deflexão.

5.1.2 Relação funcional entre registros temporais

Uma série temporal, como a registrada no *log* do Jogo dos Elásticos de valores escalares ascendentes e registros na unidade de tempo plotados sobre uma linha unidimensional, aparentemente não guarda nenhuma relação funcional entre si. Na conversão em ângulos β estes registros passam a formar uma estrutura

bidimensional que pode ser estudada pela trigonometria, como um corte ortogonal de uma superfície topográfica, evidenciando o comportamento não linear, rugoso, presente nos dados. Desta forma, com três registros em sucessão passa-se a reconhecer a existência de um componente estrutural que correlaciona cada registro com o seu antecessor e seu sucessor. Este encadeamento forma uma espécie de corrente em que cada elo contém as informações espaciais necessárias para descrever o comportamento dos intervalos entre ações na série de ações original como uma rota a seguir num plano. Esta rota é constituída por múltiplas pequenas direções num só sentido devido à natureza irreversível do tempo. A série de ângulos β informa através de seu módulo e de seu sinal (positivo ou negativo) como estas mudanças de direção ou oscilações ocorreram (Figura 23).

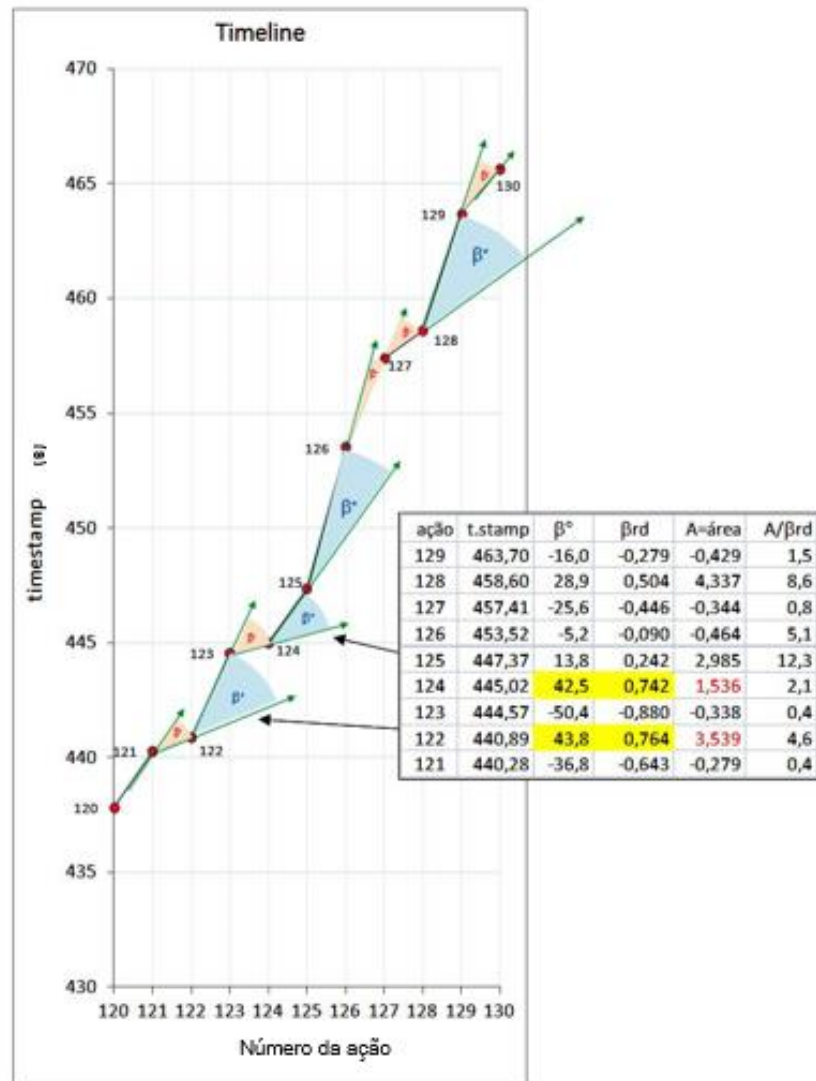


Figura 23 - Recorte de uma *timeline* mostrando as oscilações da “rota” representadas nas áreas em azul pelos ângulos de deflexão β .

Dissemos anteriormente que o tratamento matemático escalar para angular favorece a visualização das variações de velocidades nas *timelines*. Em seguida nos perguntamos se na conversão – linear para angular – haveria perda de informação. Mostramos que se conservam todos os dados, pois o método realça os intervalos de tempo pequenos e contrai os intervalos maiores. Diante do exposto uma questão se impõe. A rugosidade, presente nas *timelines* e observável pelo caráter irregular dos intervalos de tempo entre ações sucessivas - representados graficamente pelos conectores artificialmente implementados entre pontos/ações - se conservaria nos ângulos β ? A rugosidade, como abordada em capítulos anteriores é um parâmetro cuja análise é central neste estudo. Organizamos os dados angulares em vinte gráficos (Figura 24 a, b e c). As curvas conservaram um perfil de rugosidade singular diferenciável para cada jogador. Isto posto, arriscamos anunciar, preliminarmente, que o Método do Ângulo de Deflexão revelou o grau de rugosidade definido por β .

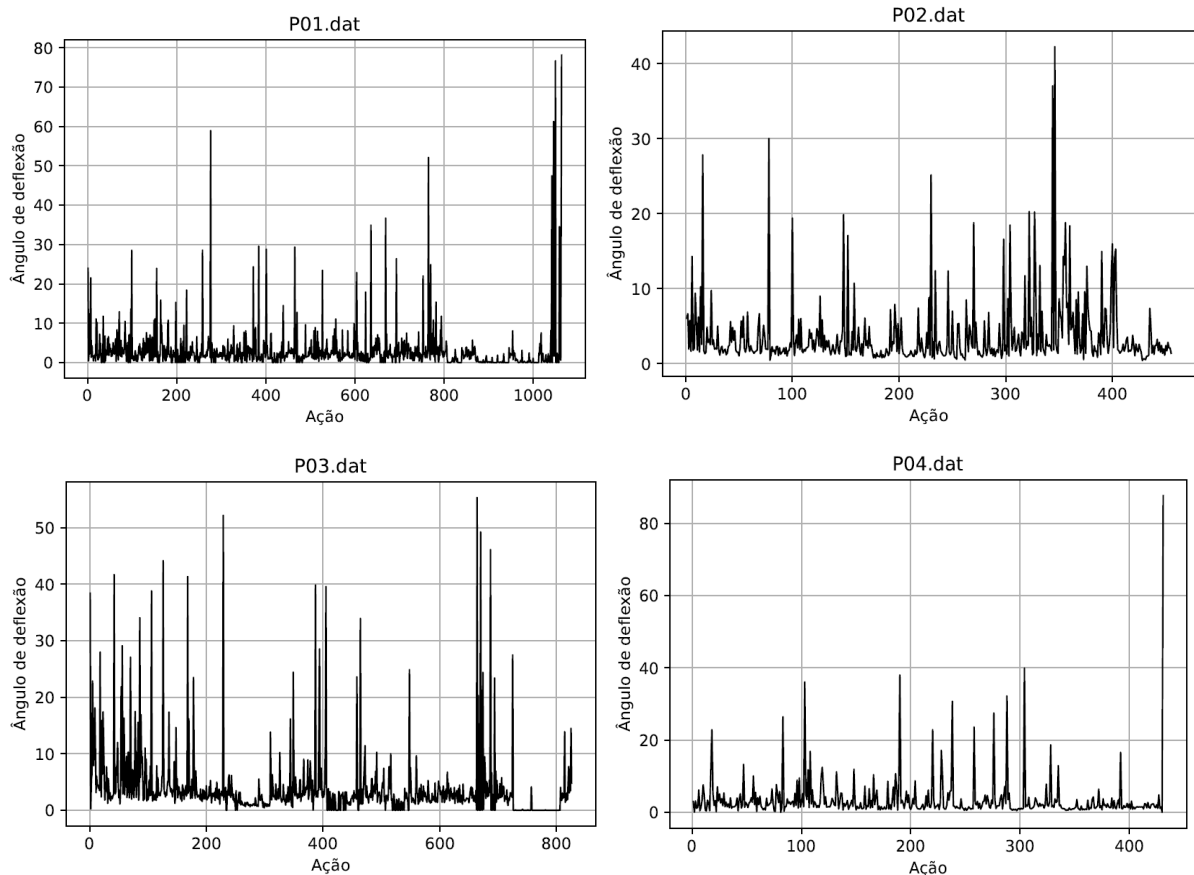


Figura 24 a – Ângulos de deflexão ao longo das ações dos Jogadores 1 a 4

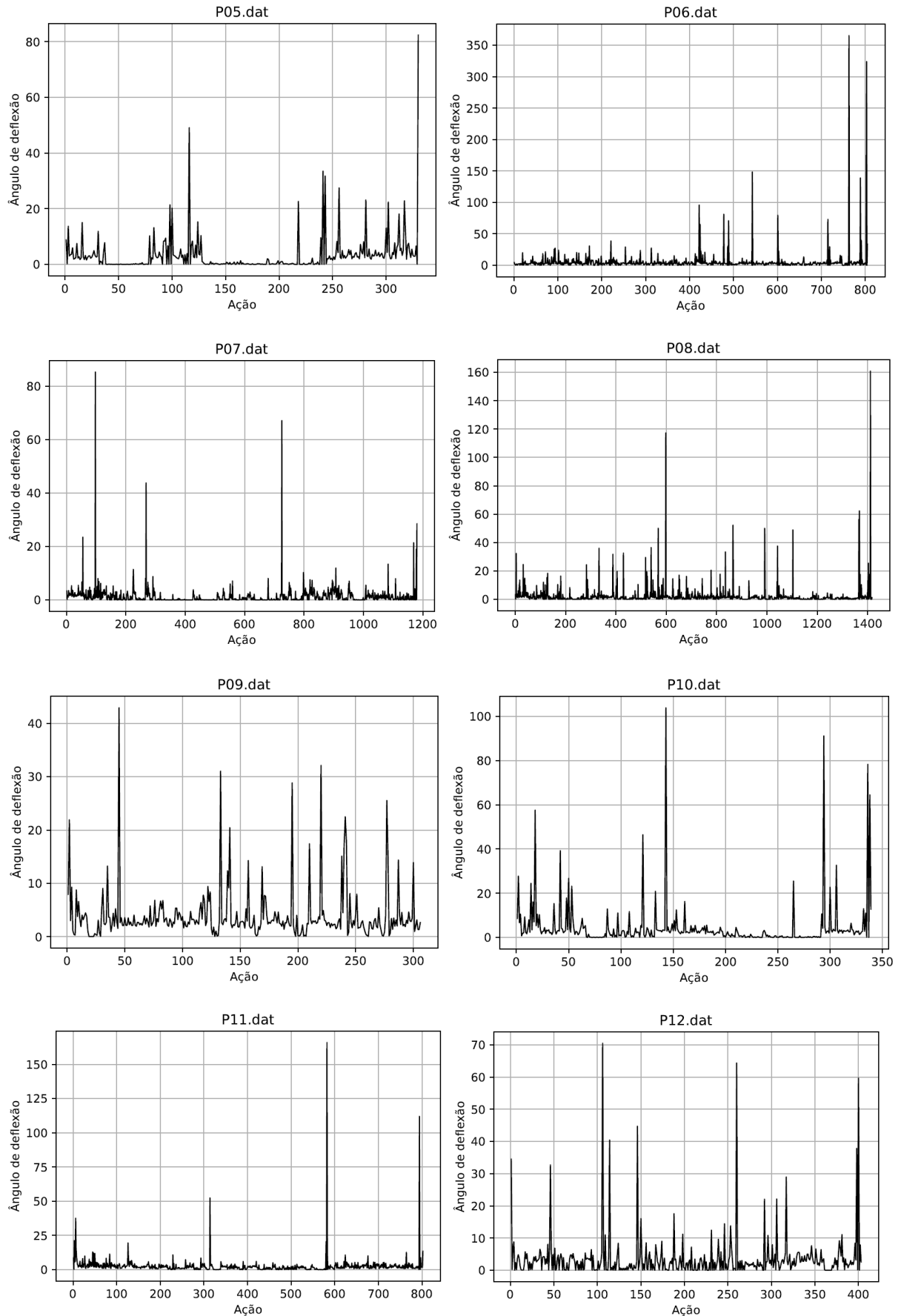


Figura 24 b – Ângulos de deflexão ao longo das ações dos Jogadores 5 a 12

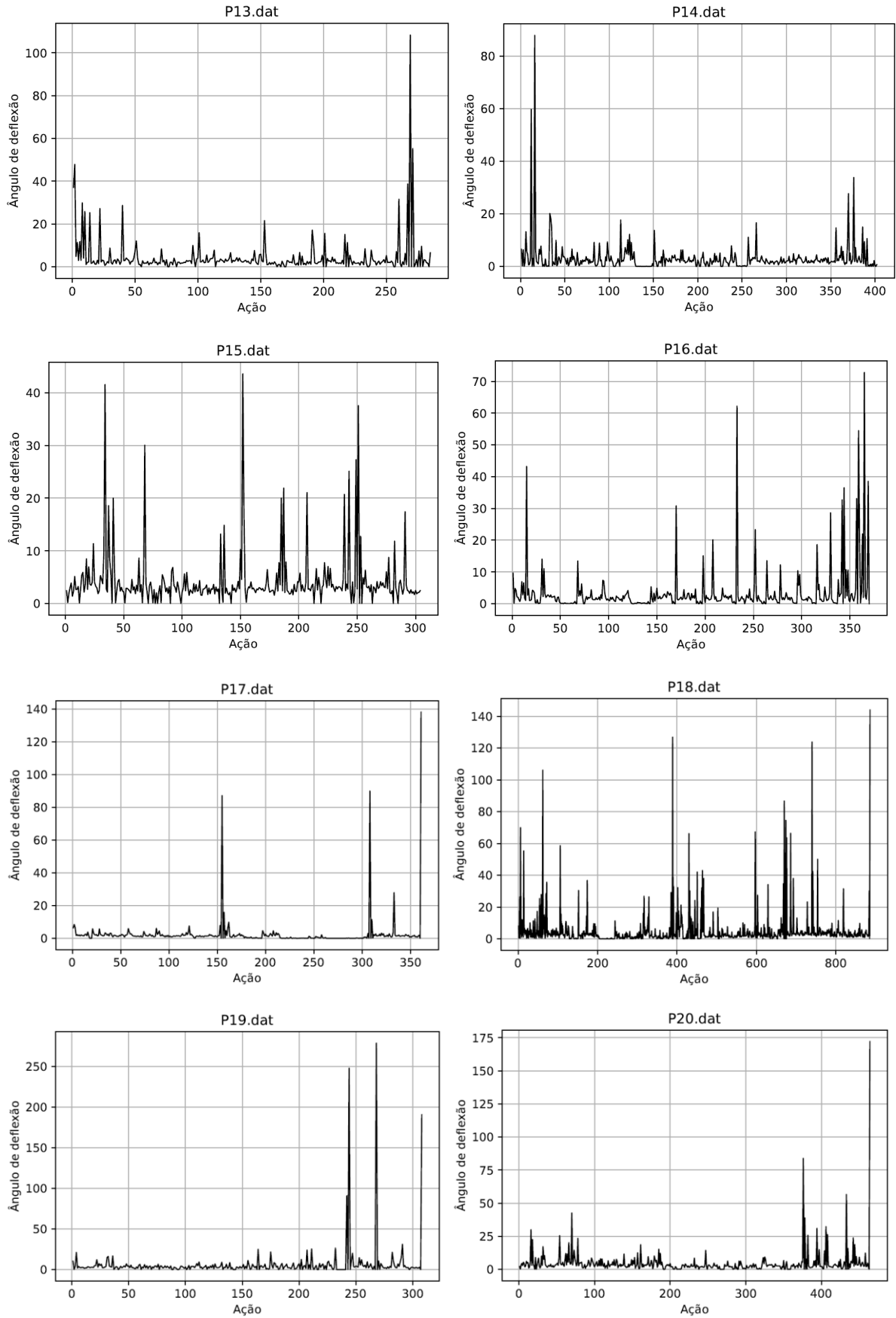


Figura 24 c – Ângulos de deflexão ao longo das ações dos Jogadores 13 a 20

5.2 O SISTEMA ANALÍTICO PARA OS DADOS DO JOGO DOS ELÁSTICOS

5.2.1 Distribuição de Frequência (f_{β}) dos Ângulos de Deflexão (β) e o Coeficiente de Forma (Φ)

A função que descreve os ângulos de deflexão β_i (Figura Y, Capítulo 5 em magenta) evidencia que ângulos de deflexão menores ocorrem mais vezes que ângulos de deflexão maiores. A fim de fazer a quantificação de valores do ângulo de deflexão aplicamos as distribuições de frequência $f(\beta)$ subdividindo os valores β em sete intervalos de classe de tamanhos ajustados tal que na classe central se concentrassem os valores mais próximos de zero $[-90:-60]$, $[-60:-30]$, $[-30:-10]$, $[-10:+10]$, $[+10:+30]$, $[+30:+60]$, $[+60:+90]$ (Figura 25).

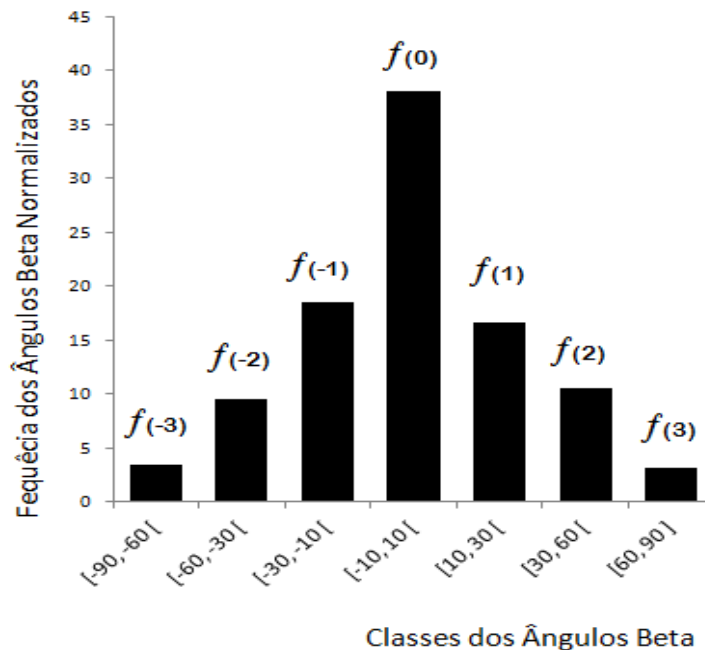


Figura 25 – Distribuição arbitrária da frequência de valores β em sete classes

Na Figura 26 as distribuições de frequência dos 20 jogadores foram concebidas com a finalidade de investigar algum padrão nestas distribuições.

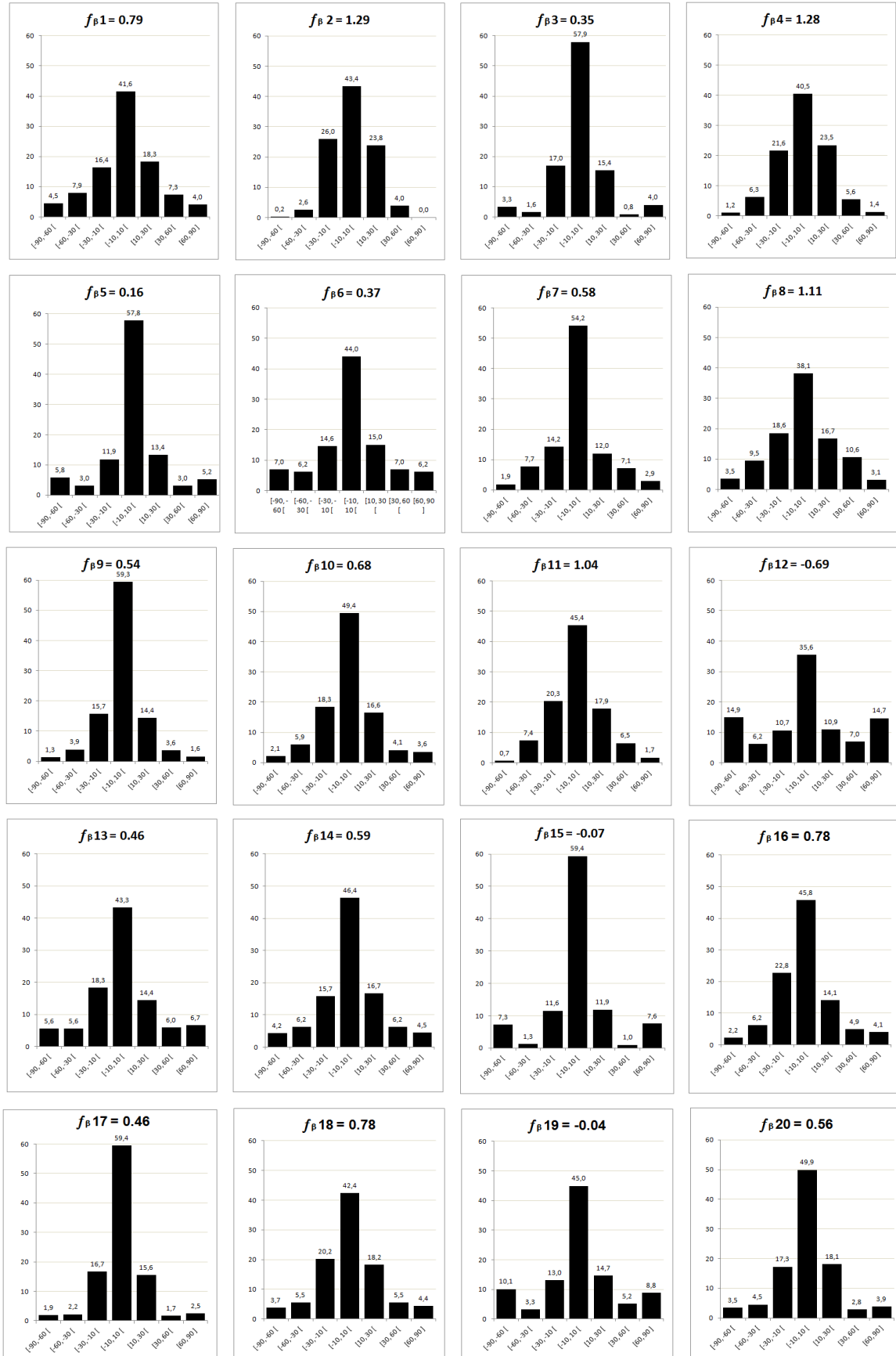


Figura 26 - Distribuições de frequência do ângulo de deflexão para os vinte jogadores. O eixo horizontal representa as intensidades dos ângulos de deflexão e o eixo vertical representa as quantidades de ocorrências de cada intervalo de valores de β .

O primeiro padrão observado nos gráficos das distribuições de frequência dos ângulos de deflexão, presente nos registros dos vinte jogadores, foi o de simetria. Os gráficos evidenciaram que a frequência de ocorrências de alterações de comportamentos acelerados são equilibrados por comportamentos desacelerados. Discorreremos sobre esta característica na seção 5.2.2 detalhadamente. Uma segunda observação foi a existência de diferenças entre os padrões de simetria.

O comportamento das distribuições de frequência dos ângulos de deflexão associados aos comportamentos dos jogadores evidencia, além da simetria, padrões de comportamento que poderiam caracterizar perfis cognitivo comportamentais distintos dentre os jogadores. Note que o ângulo de deflexão mede a variação no comportamento em termos de variação no tempo entre ações consecutivas. A partir da Figura 25 pode-se observar que para todos os jogadores o intervalo de valores próximos de zero é o que ocorre mais vezes, i.e. $f(0) > f(i)$, $i = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$. Alguns Jogadores apresentam comportamentos mais abruptos (maiores ângulos de deflexão) mais frequentes que comportamentos mais suaves como, por exemplo, os Jogadores 3, 5, 12, 15 e 19. Neste caso o gráfico apresenta um decréscimo seguido de crescimento na medida em que o ângulo de deflexão aumenta. Porém, a maioria dos jogadores apresenta comportamentos mais suaves (menores ângulos de deflexão) mais frequentes que comportamentos abruptos. Esta diminuição da frequência de ocorrência na medida em que o ângulo de deflexão aumenta corresponde a um comportamento decrescente, evidente na maior parte dos gráficos da Figura 26.

A fim de evidenciar o decréscimo ou o decréscimo seguido de crescimento propõe-se a seguinte definição do Coeficiente de Forma:

$$\Phi = \frac{[f_{(1)} - f_{(2)}] + [f_{(2)} - f_{(3)}] + [f_{(-1)} - f_{(-2)}] + [f_{(-2)} - f_{(-3)}]}{f(0)}$$

A Figura 27 mostra a ordenação dos Jogadores em função do Coeficiente de Forma. Valores maiores de Φ estão associados a gráficos das distribuições de frequência estritamente decrescentes enquanto que valores de Φ menores estão associados aos gráficos das distribuições de frequência em forma decrescentes seguidos de crescimento, podendo até ser negativos.

Posição	Ordenação pelo Φ		Ordenação visual
1	2	1,29	1
2	4	1,28	8
3	8	1,11	4
4	11	1,04	11
5	1	0,79	9
6	18	0,78	7
7	16	0,78	14
8	10	0,68	2
9	14	0,59	16
10	7	0,58	18
11	20	0,56	10
12	9	0,54	6
13	17	0,46	20
14	13	0,46	13
15	6	0,37	17
16	3	0,35	5
17	5	0,16	3
18	19	-0,04	15
19	15	-0,07	19
20	12	-0,69	12

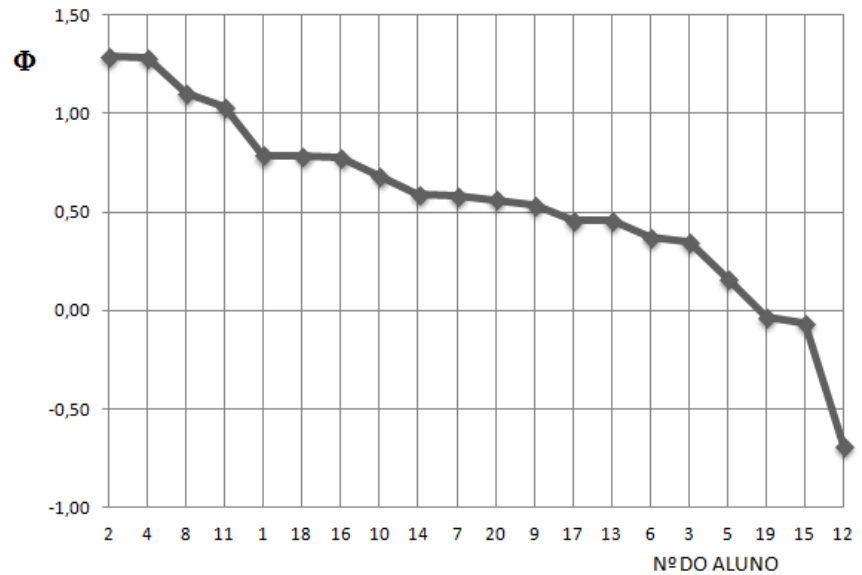


Figura 27 – Ordenação dos Jogadores quanto ao Coeficiente de Forma (Φ)

É possível verificar a validade da proposta de definição do Coeficiente de Forma a partir da observação de padrões semelhantes nas distribuições de frequências dos ângulos de deflexão. Na Figura 27, no extremo à esquerda os Jogadores 2, 4, 8 e 11 apresentam comportamentos semelhantes assim como os Jogadores 3, 5, 12, 15 e 19 apresentam outro comportamento similar, constatado também por inspeção visual na Figura 26.

Desta forma, ao examinamos visualmente as 20 $f(\beta)$ encontramos um agrupamento por semelhanças nas curvas induzindo à formação de três conjuntos sendo dois extremos e um central (Figura 28).

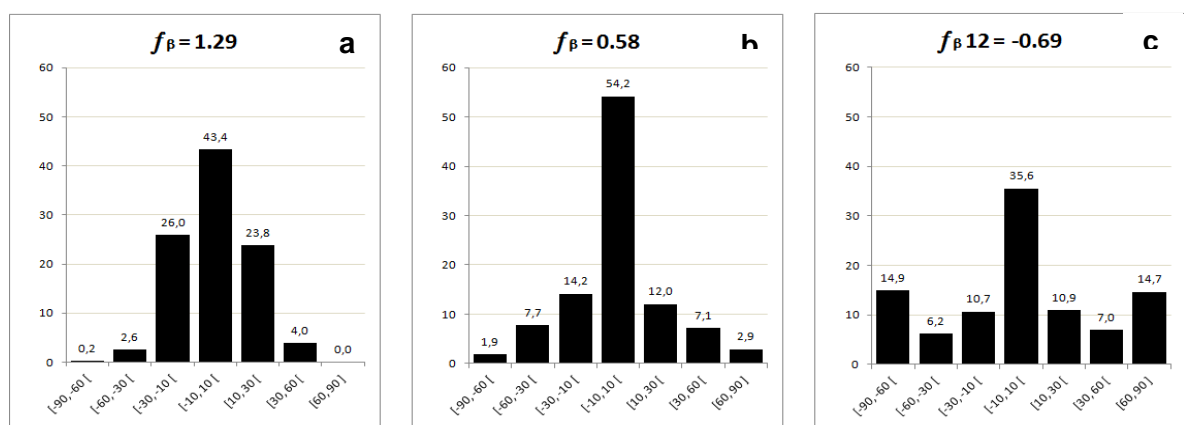


Figura 28 - Três perfis emergentes das vinte curvas a partir do Φ : a; b e c, correspondendo respectivamente aos Jogadores 2, 7 e 12 que caracterizam cada perfil.

Este agrupamento corroborou com a análise por inspeção visual, etapa empírica realizada antes da análise matemática através do Φ . No comparativo entre as duas análises houve discordância apenas para os Jogadores 2 e 9, dado o distanciamento de seis posições, sendo considerado, no entanto, irrelevante para o resultado (Figura 29).

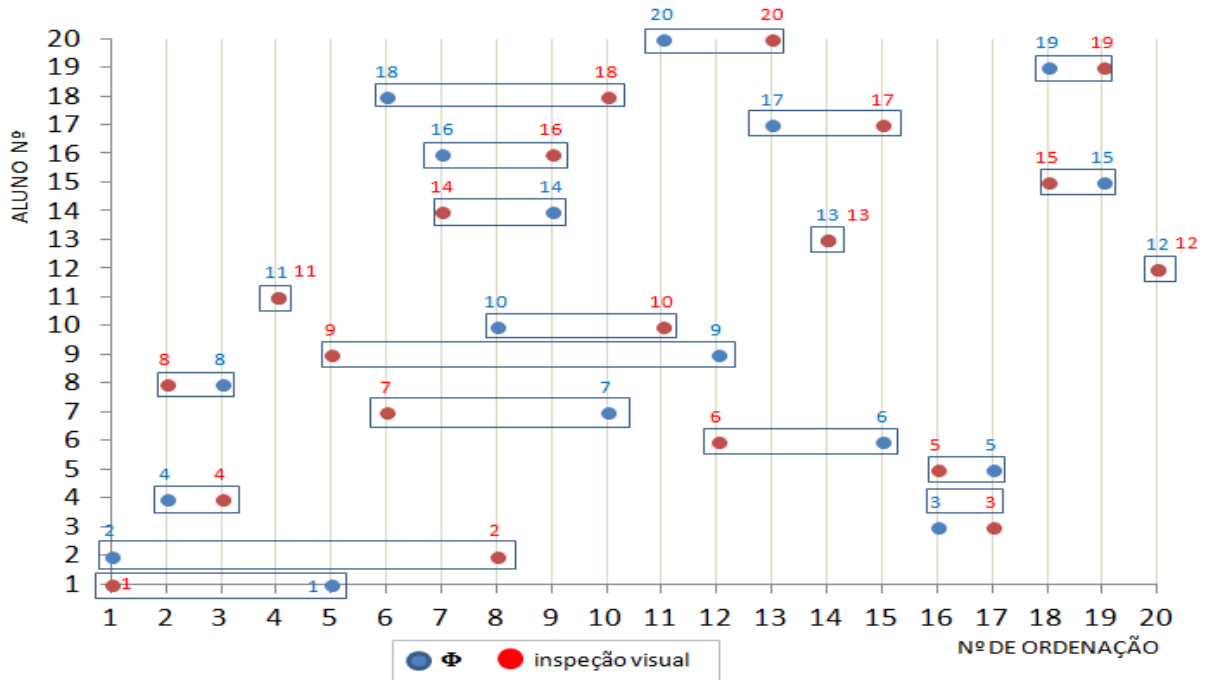


Figura 29 – Comparativo entre o Φ e a inspeção visual. Cada aluno ocupa uma posição na abscissa segundo seu Φ (em azul) e sua posição na inspeção visual (em vermelho). A largura de cada moldura mostra o grau de aproximação posicional entre os dois métodos.

Os três perfis encontrados são classificadores das demais curvas que apresentaram características atenuadas de similaridade com um ou outro perfil. Este coeficiente é diretamente proporcional às diferenças entre as classes laterais e inversamente proporcional à classe central, por conseguinte, define o perfil mais ou menos linear do comportamento do participante. A coluna central $[-10^\circ]+10^\circ$ destaca-se em todos os vinte gráficos, contém as frequências com menores valores de β ou que tendem ao comportamento linear. À medida que se afastam da coluna central, tanto à esquerda (valores negativos) quanto à direita (valores positivos), cresce a amplitude do ângulo β ou a tendência a não linearidade. As distribuições de frequência dos 20 jogadores evidenciaram um padrão referência para possíveis agrupamentos das curvas, favorecendo correlações em teorias da cognição quanto ao processo elaborativo particular da cognição em situação de aprendizado.

5.2.2 Coeficiente de Simetria (Ψ)

O conceito de simetria pode ser observado na geometria da natureza na forma das flores, folhas, cristais de gelo, nos animais e no corpo humano em órgãos e membros. Corpos e estruturas possuem um ponto central, eixos ou planos de simetria produzidos por sucessivas iterações no decorrer de seu processo de construção.

Ao observar as distribuições de frequência dos ângulos de deflexão notamos o padrão de comportamento quase simétrico nos gráficos. A busca por um equilíbrio apontou-se como uma tendência do sistema gerador dos dados. Este fenômeno se manifestou nos dados brutos (*timeline*) podendo ser observado quando da ocorrência de uma “perturbação” entre duas ações (1-2) há uma tendência a retornar ao ponto anterior (1-3). Os valores negativos do ângulo de deflexão, que estão associados a acelerações nos comportamentos são, de certa forma, equilibrados com os valores positivos dos ângulos de deflexão, estes associados a desacelerações. Destacamos que o “retorno” não é “perfeito”, ou seja, não ocorre para um único ponto de equilíbrio. Em outras palavras, após uma perturbação se manifesta uma tentativa de retorno para o equilíbrio anterior, mas obtém-se um novo estado de equilíbrio. Para evidenciar o comportamento simétrico propõe-se a seguinte definição do Coeficiente de Simetria:

$$\Psi = \frac{|f_{(1)} - f_{(-1)}| + |f_{(2)} - f_{(-2)}| + |f_{(3)} - f_{(-3)}|}{f_{(-3)} + f_{(-2)} + f_{(-1)} + f_{(0)} + f_{(1)} + f_{(2)} + f_{(3)}}$$

Aplicamos o Coeficiente de Simetria (Ψ) para avaliar quantitativamente quão próximo do simétrico está um gráfico de distribuição de frequência do ângulo de deflexão. O valor de Ψ é um valor absoluto e representativo do conjunto de todas as classes angulares de cada participante. Ordenamos os perfis em ordem crescente de assimetria (Figura 30 expandida na próxima página), ou seja, em termos de seus padrões de simetria, ou tendências de equilíbrio.

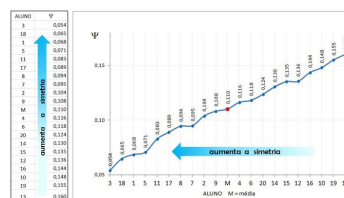


Figura 30 – Ordenação dos jogadores em termos de coeficientes de simetria. Desta forma o Jogador 3 tem um comportamento mais simétrico que o Jogador 13.

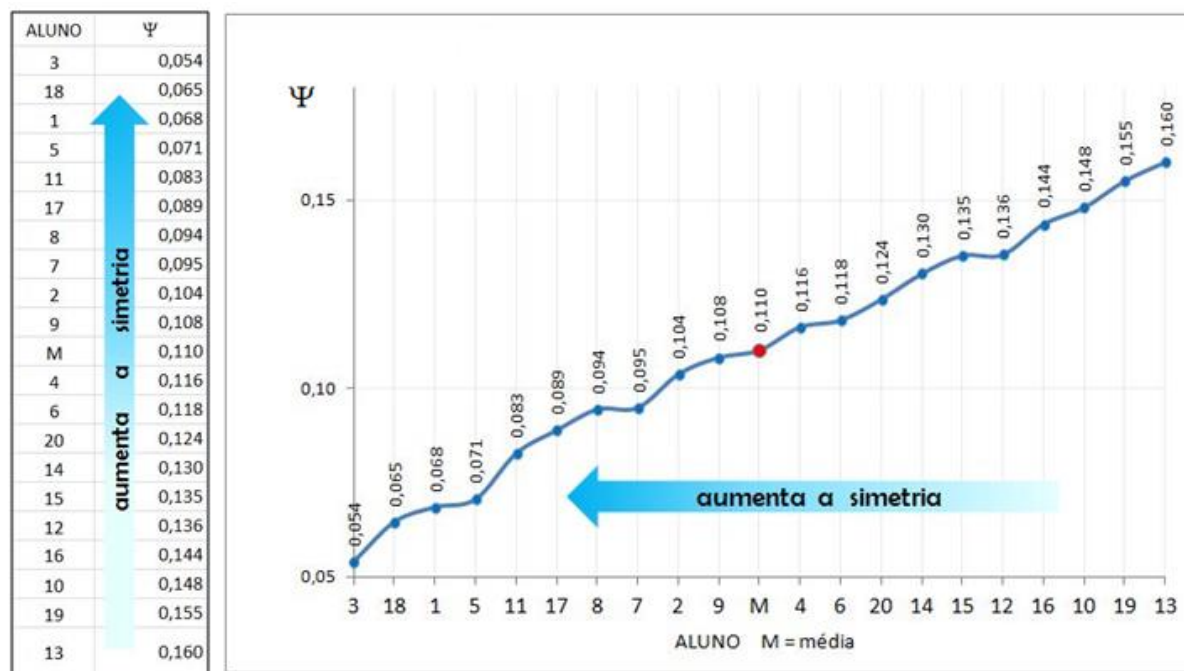


Figura 30 – Ordenação dos jogadores em termos de Coeficientes de Simetria. Desta forma o Jogador 3 tem um comportamento mais simétrico que o Jogador 13.

A simetria presente nos gráficos de distribuições de frequências dos ângulos de deflexão evidencia uma tendência de alteração de comportamento, qualquer que seja, associado à alteração de comportamento inversa. Isto é, uma aceleração no comportamento está associada a uma desaceleração no comportamento, ambas com intensidades próximas, como um sistema que tende a retornar ao equilíbrio quando estimulado. Embora estes comportamentos inversos possam ser consecutivos, i.e., imediatamente após a ocorrência de um há ocorrência do seu inverso, o comportamento inverso pode ocorrer até muito mais tarde em termos de ações.

5.3 SIMETRIA E O PROCESSO ADAPTATIVO – EQUILIBRAÇÃO E DESEQUILIBRAÇÃO

Encontramos uma possível ancoragem da simetria revelada em nossa análise em Piaget (LA TAILLE, 1992) quando afirma que o conhecimento é gerado através de uma interação do sujeito com seu meio, a partir de estruturas cognitivas existentes no sujeito e sua relação com os objetos. A interação com o ambiente promove a construção das estruturas mentais que por sua vez adquire maneiras de fazê-las funcionarem. O indivíduo modifica o meio e é modificado por este. A

interação organismo-meio acontece através de dois processos simultâneos: a organização interna e a adaptação ao meio, funções exercidas pelo organismo ao longo da vida, configurando o modelo biológico para explicar o desenvolvimento cognitivo. A aprendizagem dá-se através do equilíbrio entre a assimilação e a acomodação, resultando em adaptação. o movimento de equilíbrio contínuo entre assimilação e acomodação – a equilibração – é o processo de auto regulação interna do organismo, que se constitui na busca sucessiva de reequilíbrio após cada desequilíbrio sofrido. Possível ancoragem explicativa da simetria revelada em nossa análise.

Por outro lado, Livio (2006) em estudos sobre a gravidade e a simetria explica fenômenos pelo princípio de equivalência que define que “a força da gravidade e a força resultante da aceleração são de fato a mesma”. O autor afirma que “a simetria das leis sujeitas a qualquer alteração nas coordenadas espaço-tempo, necessita da existência da gravidade” explicando ser a simetria a fonte das forças. Diante desta constatação elucubramos que a “gravidade” no sistema cognitivo corresponderia à natureza estruturalmente simétrica do processamento de novas informações impondo ao sistema sua *affordance*, sendo ele próprio, portanto, a fonte das forças atuantes. Uma vez sob a influência de estímulos cognitivos, as forças atuantes provocariam alterações no sistema que por sua vez tratariam de equilibrá-lo pela força simétrica.

A simetria em algum grau encontra-se visualmente explícita, evidente, quando diante dos constructos gráficos estatísticos aqui desenvolvidos, e pode ser matematicamente mensurável, de forma até bastante simples, como vimos. Ao mergulharmos nos correspondentes funcionais matemáticos nela implícitos, o exercício de se chegar aos seus correspondentes funcionais sistêmicos, em nosso caso um sistema híbrido jogador-jogo, portanto, híbrido humano-artefato é imperativo, torna-se inevitável. A parte humana deste sistema é de natureza organísmica (ou seja, tem as qualidades de uma organização aberta que opera dinâmica e sofisticadamente entre a autonomia (do pensamento à ação no caso do humano) e a preservação de determinados alicerces de identidade, ou, de forma mais simples, entre a mudança e a manutenção. Os graus de liberdade, ou o espaço físico funcional de eventos é limitado, num organismo saudável, pelos impositivos identitários, e de sobrevivência saudável do indivíduo no mundo, ou do humano em seu ambiente.

No sistema complexo formado pelo jogador e o jogo, este último representa, em condições típicas, o núcleo das pressões exercidas pelo ambiente no organismo humano enquanto perdurar o híbrido sistêmico jogador-jogo. Pode-se dizer que o jogo representaria um sistema de exercício de pressão ou *affordance* (ambiental) sobre o jogador, que, por sua vez, integra o ambiente que o inclui e ao jogo, este, elemento ativo central sobre o humano. Jogo e jogador “dão as cartas”, mas, neste caso, a forma como o jogo “dá as cartas” é uma parceria, sem disputa, de jogo e jogador, pois o jogador, em parte, cria o jogo. Entendemos ainda que jogo e jogador encetam uma comunicação profícua entre organismo aberto e uma plataforma instrumental artefactual, mnemônica, cuja estruturação se dá circunstanciada a um acervo de objetos e regras de base, limitados, gerando ordens e regras que se somam, conciliáveis, com aquelas básicas, mediante ação humana.

Um mundo caleidoscópico do jogo vai se delineando pelo jogo e pelas ações do jogador, de forma que, em franca transformação, o jogador está sempre diante de um mundo diverso, frequentemente em relação de estreita continuidade com o mundo anterior. A ação (do humano) transforma, o mundo (jogo) muda e uma nova percepção (do humano) se atualiza, conduzindo a nova ação (do humano) transformadora, de forma inescapavelmente cíclica, jogador – jogo – jogador – jogo... onde o tempo entre ações é variável, mas variável **dependente**, pois longe da linearidade de um tempo cronológico. O tempo entre ações e todas as medidas deste derivado refletem a operação do sistema como um todo, não decorre, portanto, de um aspecto funcional particular, mas do funcionamento coordenado de vários operadores que esculpem, convergentemente, a ação. Como variável de nível sistêmico, não se explica fora do sistema jogo-jogador. O tempo entre ações reflete o *andamento* deste sistema, e não o contrário.

Demonstramos, como resultado de nossa análise diferencial dos intervalos de tempos entre ações, normalizados da dimensão escalar para a angular (aqui nos fazendo chegar às variações de β , ou ângulo de deflexão da variável tempo entre ações), que é possível reconhecer matematicamente taxas de ocorrência de faixas de variações de tempo transcorrido que perfazem um *continuum* à análise das distribuições de frequência. A possível relação destes intervalos, ou subconjuntos destes, com a operação de sistemas cognitivo funcionais específicos está por ser investigada, *a posteriori*.

Arriscamos algumas considerações de caráter geral. Tempos curtos entre ações, por exemplo, vêm sendo associados, em bases neurobiológicas, a processamentos decisórios rápidos e confiantes, enquanto tempos mais longos a processos avaliativos, elucubrativos (KIANI et al., 2014). As variações do tempo transcorrido entre ações, refletidas na análise diferencial que fazemos de β , nos levaram ao reconhecimento de rugosidades, graficamente. Na analogia possível com ordens físicas, remetem a osciladores randômicos dentro de faixas/limites reconhecíveis em nosso modelo sistêmico jogador-jogo.

Sistemas biológicos devem conciliar mudanças em geral empreendidas por pressão ambiental e a manutenção de condições internas ótimas não só para a sobrevivência do organismo, como também para o exercício de alças de sensibilização e resposta que garantam, dentro de limites suportáveis, a devida resistência e/ou adaptação à pressão de agentes do ambiente que integram.

Homeostasia, termo empregado pela primeira vez pelo fisiologista Walter Cannon há quase um século (CANNON, 1929), onde *homeo=similar* e *stasis=state*, reflete a propriedade de sistemas biológicos, incluindo os ecossistemas, tenderem a um estado de equilíbrio dinâmico de forças, ou *steady-state*, de forma a conciliar sensibilidade (ou irritabilidade), capacidade de resposta/reação, e resistência às forças entrópicas. Emerge nas ciências biológicas, mais especificamente da fisiologia, fortemente ancorado na ideia de autonomia de órgãos para a constância de aspectos fisico-químicos, vitais ao organismo.

O conceito, no entanto, foi rapidamente se revelando em sua pertinência com uma variedade de sistemas, especialmente, sistemas complexos. Redes de muitos e diversos elementos altamente conectados, os sistemas complexos são abertos, deslocando-se de situações de equilíbrio termodinâmico entrópico às custas de absorção de energia do ambiente, contexto no qual prevalecem processos não lineares e propriedades sofisticadas de auto-organização (ANDERSON, 1999). Estas propriedades encontram-se amplamente reconhecidas e cientificamente estabelecidas em organismos humanos, especialmente nas alças que vão da percepção à ação, tanto nas dimensões cognitivo-comportamentais, quanto naquelas reveladas ao nível dos substratos neurobiológicos (BASSETT; GAZZANIGA, 2011) e somáticos (MA'AYAN, 2017), fortalecendo a adequabilidade de teorias da complexidade aplicadas a estas dimensões de organização no humano (VARELA et al., 1991; CHIEL; BEER, 1997), e sua classificação como sistema

adaptativo complexo, combinando persistência e adaptação/plasticidade (ANDERSON, 1999; NOLFI, 2005).

A homeostasia, concebida originalmente como o controle estreito de determinados parâmetros físico-químico-biológicos, como temperatura, pH, relações ventilação-perfusão, osmolaridade, entre outros, vem sofrendo pressões por mudanças em sua abrangência, mais recentemente cedendo seu espaço para termos como equilíbrio e suas variações, ora por abrangência, ora por especificidade de comportamento sistêmico (ANDERSON, 1999). Aplicada no compromisso com a constatação científica interdisciplinar, na contemporaneidade, de que somos corpos relacionais complexos, e que somos mais eficientemente, à luz das neurociências, por exemplo, melhor interpretados quando partimos de modelos funcionais baseados em processos coordenados em lugar de órgãos isolados, a homeostasia, assim como o comportamento, é propriedade emergente de nível sistêmico, dada a conjugação de suas não linearidades evidentes, e seu enraizamento em organizações e processos biológicos multiescalares (CHIEL; BEER, 1997; NOLFI, 2005). Daí acredita-se, decorreria a dificuldade de definir em profundidade, seja a partir do comportamento, seja da homeostasia numa acepção dinâmica complexa, seus substratos orgânicos operacionais e suas relações sistêmicas (NOLFI et al., 2008).

Lidamos, nesta tese, com um sistema complexo, jogador-jogo, com o olhar e a análise voltados para seus resultados expressivos, mais especificamente, no estágio da pesquisa aqui cumprido, para as ações do jogador em jogo, ações estas, convém lembrar, resultantes de processos sistêmicos cognitivo-comportamentais que convergiram para cliques do mouse, permitindo-nos efetuar seu mapeamento no tempo cronológico. Definimos assim um espaço de eventos de interesse, de natureza também temporal.

Não é escopo desta tese aprofundar esta questão, mas neste estágio, consideramos relevante apontar para o que se nos sugere preliminarmente como indicativos de propriedades cibernéticas, reconhecidas nas bases da Teoria de Sistemas (ANDERSON, 1999). Ao nos debruçarmos sobre os resultados de nossa análise do tempo entre ações, tomando como ferramentas matemáticas os ângulos α associados às variações destes tempos, e assumindo α como parâmetro matemático análogo, em níveis conceituais, à velocidade, chegamos a diferenças angulares entre ângulos α consecutivos, isto é, chegamos às medidas angulares β ,

que vão de valores positivos a negativos, ou seja, interpretáveis como análogos de desaceleração e aceleração respectivamente, no sistema complexo jogador-jogo em questão (vide próxima seção). As curvas em plots cartesianos correspondentes às medidas β revelam padrões escarpados, rugosos, conforme exemplificamos mais acima, e sugerem, portanto a oscilação de forças de aceleração e desaceleração em nosso sistema, reminiscentes de balanços homeostáticos compensatórios bem conhecidos, sejam de natureza eletrofisiológica, como repolarização/despolarização em células excitáveis e marca-passo, ou fisicoquímica, como alcalinização e acidificação plasmáticas, e temperatura corporal. Tais oscilações em nosso sistema geram qualidades de simetria aqui observadas em distribuições de frequência de valores β .

Simetrias neste modelo matemático de análise, complementado por correspondentes biofísicos, consideramos indicativos de atuação de forças com propriedades reconhecidas na homeostase dinâmica de sistemas complexos. Por analogia, poderiam representar, no macromodelo sistêmico aqui investigado, ruído correspondente às variações indicativas de processos complexos, em certo grau, talvez, auto-ajustáveis (ações podem antecipar a consciência que destas fazemos enquanto derivadas de processos decisórios (LIBET et al., 1983; FIFEL, 2018) que tendem a manter uma faixa de estabilidade dinâmica, enquanto ajusta as condições para um funcionamento ótimo do agente sistêmico, no caso, do humano.

5.4 NOTAS SOBRE IMPLICAÇÕES BIOFÍSICAS DE UMA ANÁLISE DO TEMPO COMO VARIÁVEL DEPENDENTE

Ao lidarmos com intervalos de tempo neste modelo, a grandeza tempo passa da abcissa, de seu lugar comum como variável independente, de andamento absolutamente linear, para a ordenada, sob a forma de segmentos temporais com magnitudes variáveis e imprevisíveis. De certa forma, aplica-se a metáfora: do contar passamos ao medir. Ao submetermos à representação cartesiana o tempo, assim “dependente”, na ordenada, e as ações (cliques do mouse), indexadas em sucessão, arbitrária - e regularmente espaçadas, na abcissa, apresentamos as bases aqui elencadas para pesquisar matematicamente possíveis evidências de ordem nas relações entre estas grandezas.

Com o mesmo estranhamento com que nos vemos diante do tempo como variável dependente, também estranhamos os correlatos físicos, e em nosso caso, sempre apontando para os possíveis correlatos biofísicos, sobre os quais esta inversão do caráter funcional do tempo preditivamente impacta.

Os parâmetros clássicos da física newtoniana precisam, em nosso modelo, ceder vez a correspondentes inversos, pois que o tempo, enquanto variável dependente nos impõe uma maneira diferente de olhar e analisar eventos e mudanças de estado em nosso sistema. Como agravante, não tratamos da dimensão espaço, mas de um espaço abstrato, de visualização gráfica cartesiana (mencionado mais adiante) onde as ações se sucedem. A aparente inexistência, na literatura científica, até onde pudemos levantar, de um tratamento lógico-conceitual desta inversão no contexto da cinemática e da dinâmica newtonianas nos impõe cautela ao expor sugestões e conclusões a partir de nossos procedimentos de análise, sobretudo quando o que se quer é encontrar pistas para correlatos ou correspondentes biofísicos.

O intervalo de tempo entre ações, reconhecemos como grandeza física para a qual convergem processos biofísicos que dão suporte ao comportamento do jogador em enredamento sistêmico com o jogo. A relação do avanço das ações, dispostas graficamente como as marcas de uma régua no espaço físico (ou seja, sugerindo analogias puramente representacionais com a dimensão espaço), com o tempo intervalar, nos provê o que poderíamos interpretar, também por analogia, como equivalentes inversos de velocidade. Talvez pudéssemos denominá-los ritmos, sejam estes medidos como médias (nos referiríamos a ritmos médios e a propriedades de ritmicidade média) ou como medidas, ou ritmos (ou ritmicidade), instantâneos. O conceito de ritmos adere ao conceito de ciclos biológicos, nas mais variadas escalas de organização. Ambos abrem à análise sistêmica, complexa, um repertório significativo de correspondentes biofísicos, por exemplo, o ritmo circadiano, o ritmo de batimentos cardíacos, o ritmo respiratório, os ritmos eletrofisiológicos das mais variadas frentes de processamento neurobiológico, dos processos vegetativos aos processos cognitivos, entre tantos outros que entram no rol da dinâmica homeostásica.

Da mesma forma como fica evidente o caráter reticente com que nos vemos obrigados a adotar quando consideramos o ritmo em nossas condições – e que não incluem o espaço físico, mas um análogo abstrato, também difícil é explorar

possibilidades de equivalentes, ainda que inversos, do que poderia estar refletindo a dinâmica de forças em nosso sistema jogador-jogo.

Em nosso sistema, em que o tempo é variável dependente, chegamos a variações angulares que refletem diretamente as variações dos intervalos de tempo entre ações, ou seja, guardando uma equivalência indireta com o que poderíamos esperar de um inverso de aceleração. Ressaltamos, no entanto, que as aproximações conceituais com a aceleração e/ou seu inverso em nosso sistema de análise lida com referenciais abstratos, e não com o espaço definido pela física. Sabemos que a aceleração se relaciona diretamente com força em sistemas físicos que envolvem direta – e concretamente massa e espaço, além do tempo cronológico. Nosso sistema trata de forma não habitual com o tempo, além de não tratar concretamente de espaço tampouco massa. No entanto, arriscamos, tendo como base a biofísica de sistemas aplicada ao contexto dos processos físico-químico-biológicos, uma equivalência entre a dinâmica de nossas medidas β e a dinâmica das mudanças do tempo transcorrido de processamento cognitivo-comportamental entre ações, como enunciadores diretos de forças internas que moldam as alterações de ritmo das ações do jogador em estado de engajamento com o jogo.

Cabe destacar a importância do sinal de β aliado ao seu módulo. Segundo a Lei de Conservação do Movimento alterações da velocidade de um corpo/objeto decorre da ação de forças internas (conservativas) ou externas (não conservativas) mudando o estado do corpo (MOTTE, 1846). O equilíbrio de forças num sistema newtoniano corresponde à inércia, em si mesma, linear. O ângulo de deflexão pode, portanto, ser visto como um equivalente à aceleração, guardadas as ressalvas acima, que apontam para o que seria um equivalente inverso da aceleração, e, portanto, também de força. A dinâmica do jogador exhibe, dentro de nossa análise, uma dinâmica não linear, complexa.

Isoladamente, os valores de β são insuficientes para fornecer informações sobre equivalentes de força. Matematicamente, a cada valor β , vimos anteriormente (neste capítulo), associa-se o conector (ação $P_n - 1$) a partir do qual se define o raio da circunferência e o comprimento até o ponto P_n – a hipotenusa, que corresponde à linha conectora dos rótulos de dados, no intervalo entre ações. Nota-se que, mesmo quando intervalos de tempo são diferentes, β pode ser praticamente o mesmo.

O jogo fornece *inputs* de estímulos para o jogador a cada instante, sejam aqueles oferecidos *a priori*, sejam aqueles moldados, atualizados pelo jogador quando o sistema se fecha. Entendemos que, neste sistema, o jogador processa sua percepção, atualizando continuamente o sistema de balanço de forças homeostáticas, e que envolvem nosso processamento multimodal, cognitivo-afetivo-comportamental. O jogador, a cada instante, é organismo que está passível de mudança de estado e age no sistema, criativamente inclusive. Vimos mais acima que o tempo entre ações reflete qualidades de processamento cognitivo da experiência e planejamento para ação (KIANI et al., 2014). O ângulo de deflexão pode vir a revelar-se um “carimbo” para classes de processamento multimodal da experiência humana com estímulos ambientais.

Nossas considerações, tratadas mais acima, frente aos conhecimentos clássicos da física e da biologia, a partir dos quais nos lançamos sobre possíveis correspondentes em nosso sistema, nos levou a compartilhar, de forma ainda especulativa, o que entendemos poderá vir a constituir-se em conceito inspirado na-, mas que não corresponderia à linearidade, em sua acepção matemática direta. Vislumbramos aqui, em seu lugar, uma ideia, uma aproximação, por correspondência com o comportamento linear no universo da física, em que o equivalente, por proximidade conceitual, da aceleração, ou melhor, seu inverso, seja avaliado quanto à possibilidade de revelar, em suas medidas definidas ao longo da dinâmica do jogo, componentes funcionais lineares, ou seja, sugeridos por não variações, ou variações relativamente muito baixas dos ângulos β . Por conseguinte, as variações β relativamente salientes em nosso sistema apontariam para alterações de energia livre, num sistema físico clássico, um sistema de acelerações, bem como num sistema biológico, complexo, como forças homeostáticas, este poderá vir a mostrar-se muito útil como parâmetro de complexidade.

5.5 A TRANSDUÇÃO PARAMÉTRICA DOS INTERVALOS ENTRE AÇÕES EM VALORES MUSICAIS

Inspirados no experimento *Partituras Imagéticas do Corpo*, um sistema de conversão de dados biofísicos em sequências tonais e imagem (DANTAS E FRÓES, 2017), desenvolvemos um ensaio de parametrização de sequências de dados, produzidos pelos 20 jogadores no Jogo dos Elásticos, em sequências tonais que

pudessem ser sensivelmente percebidas quanto a possíveis valores musicais, a exemplo de segmentos melódicos e andamentos.

Arbitramos uma correspondência com três figuras de som que, lembramos, se distinguem na dependência dos intervalos entre ações das quais derivam por parametrização. Naturalmente, outras correspondências podem ser testadas. A transdução dos intervalos entre ações, nos *timestamps*, em sequências ou construtos de notas musicais, resultou na vivência perceptual, sensível e empírica destes construtos como melodias, dando-nos a chance de experimentar outras dimensões de percepção dos dados, para além da experiência cognitiva obtida a partir do plano cartesiano, e de ensaiar outras leituras de ordem sobre os dados. Variações ou predominâncias de determinados tipos gerais de andamento, inferidos pelo arranjo das notas no tempo, foram também percebidas em nossos constructos pós-transdução. Destacamos três tipos gerais de andamento: a. lento (semínima); b. com alternância, lento e rápido e c. rápido (semicolcheia).

Dos três perfis gerais perceptualmente distinguíveis de construtos musicais, aquele determinado pelos *timestamps* dos jogadores 1, 2, 5, 9 a 14 e 20 - tipo b - engloba 50% de nossa amostra. Assim, conclui-se, representam o comportamento mais frequente. Se tomarmos o Jogador 1 como exemplo ilustrativo deste grupo prevalente, verificamos que o construto parece dotado de uniformidade, com alternância de andamento (Figura 31). O mesmo ocorreu para os Jogadores 2 e 5, com possíveis quatro diferentes padrões musicais, este último com andamento marcadamente distinto (Figura 32), e ainda, com o Jogador 10, para o qual destacamos o andamento marcadamente lento.



Figura 31 - Construto musical do Jogador 1.

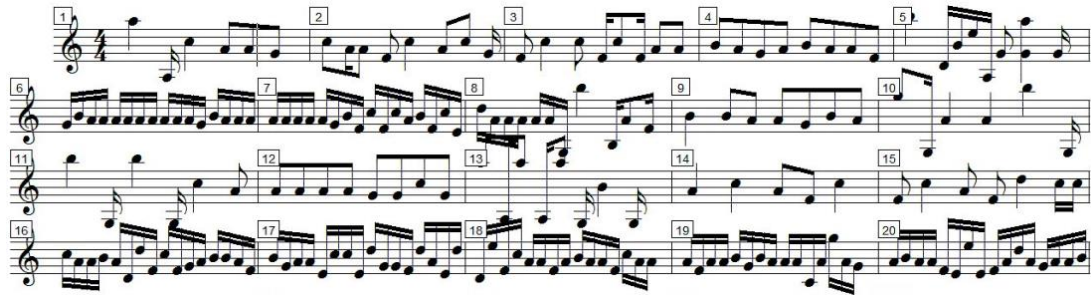


Figura 32 - Construto musical do Jogador 5.

O Jogador 3, único classificado no tipo a. apresentou predominância de andamento lento (semínimas e colcheias) em todos os compassos (Figura 33).

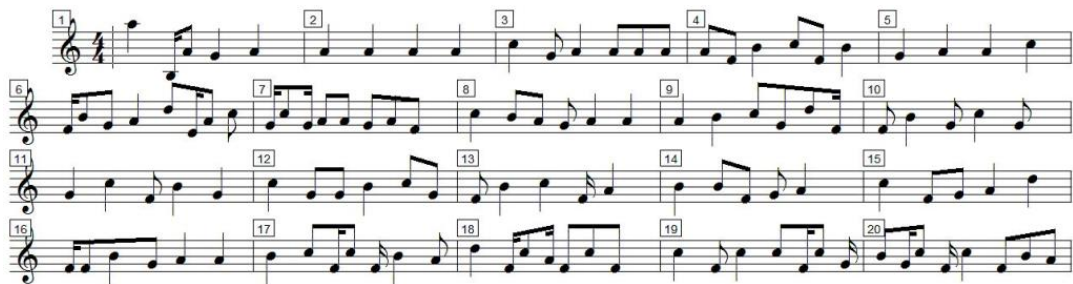


Figura 33 - Construto musical do Jogador 3.

O andamento rápido em todos os compassos marcou os construtos musicais correspondentes aos *timesteps* dos Jogadores 4, 7 e 8 (Figura 34), 16 e 17 com predominância de semicolcheias, portanto correspondendo a 25% do grupo amostral no tipo c.



Figura 34 - Construtos musicais dos Jogadores 7 (esquerda) e 8 (direita).

Os Jogadores 6, 15, 18 e 19 apresentaram regularidade na distribuição das notas ao longo de todo o construto, com uma nota predominante diferente para cada um. No caso do Jogador 6, predominaram colcheias e semicolcheias (Figura 35).

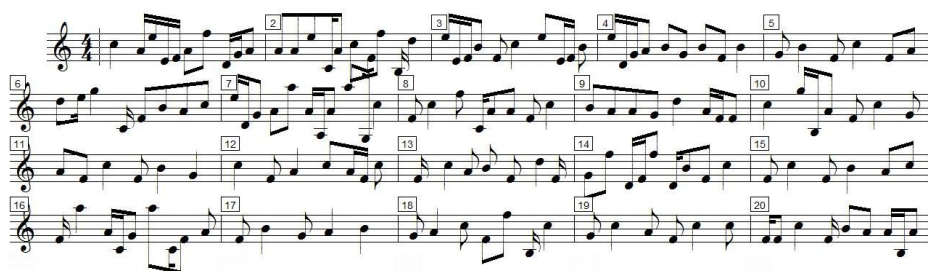


Figura 35 - Construto musical do Jogador 6 - regularidade na distribuição das notas nos compassos.

Os construtos gerados revelaram-se sistemas eficientes para evidenciar diferenças gerais no andamento e percebê-los em grupos distintos. A frequência com que uma nota é distribuída no construto revela uma variação do andamento nos compassos. Para 14 dos 20 jogadores a maioria das ações encontra-se intervalada entre 0 a 2 segundos - representadas por semicolcheias – apontando para um possível padrão geral, a ser investigado quanto a possíveis correspondentes cognitivos.

Nossos ensaios sugerem a ocorrência de três perfis de combinação das sequências de notas sonoras, indicando possível adequabilidade deste sistema como proposta pré-classificatória e complementar de perfis de comportamento cognitivo, a ser posteriormente corroborada dentro de um sistema de análise matemática. O estudo, de natureza empírica exploratória, foi apresentado no XII Scientiarum História (2019) e publicado no v.2: e062 da Revista Scientiarum História (2019) vide Apêndice B.

6 CONSIDERAÇÕES

Considerando as teorias estruturantes da Pedagogia e os atuais avanços tecnológicos, que possibilitam a captura e a visualização de dados antes intangíveis, exploramos um recorte interdisciplinar envolvendo a biofísica de sistemas, a ciência da cognição e a matemática dos sistemas complexos para a identificação de padrões. O desafio de caracterizar comportamentos complexos que muitas vezes são considerados aleatórios toca os mais diversos ramos do conhecimento e neste estudo o padrão complexo está associado ao comportamento humano em situação de aprendizagem e descoberta. O Jogo dos Elásticos serviu de ambiente para captação do comportamento de jogadores que se evidenciaram como complexos em vista de não apresentarem um padrão bem comportado, suave, evidente. Sendo assim as ferramentas clássicas de análise estatística podem não apresentar resultados que sejam significativos e caracterizantes para estes tipos de padrões. Novos métodos de análise se fazem necessários para caracterizar dados complexos e que embora possam ter naturezas muito distintas, podem eventualmente serem analisados por um mesmo conjunto de ferramentas.

Diante dos dados registrados pelo jogo neuropsicopedagógico e a motivação pela investigação da existência de universais da cognição apresentamos um sistema de análise de fundamentação matemática relativamente simples, aplicável a modelos da física como base de interpretação e caracterização de comportamento complexo de séries de medidas temporais ou não. Desenvolvemos um sistema de análise integrado pelo Método do Ângulo de Deflexão baseado em parâmetros trigonométricos e estatística descritiva representada por distribuições de frequência.

Numa primeira abordagem utilizamos dados unidimensionais de uma série temporal do jogo neuropsicopedagógico. A comparação de várias séries entre si permitiu o desenvolvimento de parâmetros de reconhecimento de grupos característicos com determinado comportamento. Para a identificação de padrões estruturantes da cognição humana realizamos duas análises derivadas das distribuições de frequência do ângulo de deflexão: 1. Coeficiente de Forma e o 2. Coeficiente de Simetria. Ambas corroboraram com a inspeção visual, etapa empírica de percepção de padrões realizada antes do tratamento matemático.

Na primeira análise, três curvas aparentemente bem distintas entre si representaram tendências de perfis de frequência típicos, genericamente referidos A, B, C. Ao ordenar em gradiente os coeficientes de distribuição de frequência, calculados para cada uma das 20 distribuições, a sugestão dos três casos típicos (A, B e C) foi reafirmada. Um padrão evidenciado pela distribuição de frequências dos ângulos de deflexão comum para todos os Jogadores foi uma grande quantidade de ocorrências de alterações muito suaves no comportamento e também uma simetria nos comportamentos, i.e. deflexões num sentido, tendem a ser seguidas por deflexões no sentido oposto com intensidades próximas.

A segunda análise surgiu da observação da tendência a um retorno a faixas de valores assumidos em tempos progressos. Esta tendência sugere um comportamento oscilatório das variáveis medidas. O conceito que assumimos por aproximação com este putativo padrão de comportamento foi o de simetria avaliada quantitativamente pelo Coeficiente de Simetria. Pode-se afirmar que existe uma tendência de equilíbrio nos comportamentos de todos os Jogadores no sentido de - a partir de uma mudança no comportamento - observar-se uma propensão a voltar para o comportamento anterior. É evidente também que o retorno não é perfeito e assim o estado de equilíbrio não é fixo, mas varia com o tempo.

No ensaio experimental de transdução dos dados temporais em construtos sonoros musicais identificamos três tipos predominantes de construtos. Metade da amostra apresentou intensa alternância das velocidades de andamento. Distribuições mais regulares das figuras musicais ao longo dos construtos ocorrem em 20% dos casos e andamentos mais rápidos, em 25%. Apenas um construto melódico se destacou dos demais pelo andamento acentuadamente lento.

Diante do exposto, a primeira hipótese proposta de que a abordagem matemática no tratamento de séries temporais registradas em jogos computacionais neuropsicopedagógicos pode correlacionar-se com aspectos da biofísica de sistemas em organismos complexos como o humano se fortalece nesta tese.

6.1 CONTRIBUIÇÕES DA TESE

O Método do Ângulo de Deflexão, desenvolvido para a análise de qualquer série numérica de dados complexos, foi testado aos dados da aplicação experimental do Jogo dos Elásticos. O método mostrou-se promissor para o reconhecimento de padrões ao revelar, por exemplo, o aspecto simetria em todos os

gráficos, o que demonstra uma condição do sistema em análise – neste caso a cognição humana – de oscilação comportamental entre estados opostos. Foi possível identificar, para a amostra experimental, pelo menos dois agrupamentos com perfis bem definidos. Por meio do parâmetro de forma (Φ), embora em andamento neste estágio do estudo, entendemos, *a priori*, que o Método do Ângulo de Deflexão possa revelar o grau de rugosidade no comportamento de β expresso graficamente.

Propusemos a análise cognitiva das jogadas dos jogadores pelo tratamento matemático dos dados e, a partir das informações emergentes, o apontamento de padrões. Temos aí o que entendemos poderão revelar-se como pistas concretas, objetivas, para a identificação de perfis cognitivos. Esta abordagem objetiva diferencia-se daquelas imbuídas de interpretações definidas por alguma escola.

Entendemos o esforço depreendido em frentes de abordagens inabituais como necessário para provocar correlações inovadoras. A proposta de uma *timeline* invertida inaugura uma questão central nesta proposta que reside na abordagem dada ao tempo. Tempo aqui não é uma variável independente, no sentido de que não é uma grandeza que avança contínua, monotônica e monorritmicamente, como um relógio comum. Ao contrário, o tempo do qual tratamos é intervalo, duração, dependente de uma ação produzida, distribuída, por sua vez, ao longo de um tempo monotônico, monorritmico e cronológico. O tempo, neste estudo, é tratado numa aproximação ao conceito de ritmo, pois se trata de intervalo entre duas ações consecutivas.

A esta altura é oportuno resgatar a segunda hipótese construída no início deste estudo que propõe que a análise matemática de qualquer curva construída a partir de séries de dados, em que o tempo pode ser uma das variáveis, poderia informar sobre a natureza geradora dos dados. Entendemos que também esta hipótese saiu fortalecida no exercício analítico desta pesquisa.

A fim de interpretar o então definido ângulo de deflexão foi apresentado um paralelo entre este e as acelerações ou forças inerciais na física clássica. Para tanto associa-se o tempo no jogo com o deslocamento na cinemática, a variação do tempo ou intervalo de tempo entre ações com a velocidade na cinemática e por fim a variação do intervalo de tempo com a aceleração na cinemática. Vislumbramos um caminho estimulante para o desenvolvimento de abordagens inovadoras para a mineração de dados matemáticos com a biofísica dos sistemas.

Apostamos ainda na possibilidade de que a classificação dos indivíduos em grupos, sugeridos a partir de qualificadores dos respectivos construtos musicais, possa evidenciar correspondência com perfis/padrões cognitivos de aprendizagem que estes indivíduos revelam em situação de jogo, rastreáveis, em etapas subsequentes deste estudo, a partir dos *logs*.

Deste modo os organizadores funcionais em sistemas biológico cognitivos em situação de aprendizagem poderão vir a provar-se desdobrados em sistemas de transdução a partir de parâmetros obtidos matematicamente, contemplando, ainda que parcialmente, a terceira hipótese anunciada.

6.2 TRABALHOS FUTUROS

O sistema de análise desenvolvido implicou em uma nova maneira de pensar estruturalmente e perceber os possíveis universais do processamento cognitivo convidando-nos constantemente a retornar as origens escalares e vê-las de uma maneira nova. A complexidade do estudo utilizando jogos computacionais e principalmente a classificação de resultados é um grande desafio para especialistas envolvidos em estudos das ciências cognitivas.

O tempo, a rugosidade e o ângulo nortearam a pesquisa para o desenvolvimento de um sistema de transdução de séries temporais (lineares) para angulares. Novas aplicações do método a outros conjuntos de dados, que considerem a rugosidade enquanto parâmetro identificador de perfis/padrões é uma aposta consistente para sua consolidação. Novos dados devem ser coletados com quantitativo maior de participantes-jogadores, também por outros jogos neuropsicopedagógicos ampliando o banco de dados e conseqüentemente os resultados.

A simetria é um fenômeno natural. Vem sendo verificado e tratado matematicamente e considerado à luz de ciências que vão da física à biologia, passando pela lógica e filosofia. Sua possível significação biofísica e cognitiva em nossos modelos interpretativos é uma aposta para o prosseguimento desta pesquisa.

No ensaio experimental de transdução dos dados temporais em construtos sonoros musicais utilizamos apenas compassos 4/4; como o *software* identifica cada tempo pela classe a que cada intervalo pertence, nem sempre a soma sequencial das notas completa exatamente o valor quatro. Portanto, em refinamentos futuros,

deve-se avaliar a possibilidade de alteração do valor do compasso. Pretendemos investir no aperfeiçoamento do sistema de análise de valores musicais, enriquecendo a base de parâmetros que possam referenciar interpretações dentro da ciência da cognição.

A análise refinada dos dados de nossa aplicação experimental está em curso, por exemplo, em relação ao significado, para a neurociência cognitiva e a neurobiologia, da prevalência de frequências positivas ou negativas, identificada na distribuição de frequências, de um indivíduo. Indicamos fortemente que o Método do Ângulo de Deflexão seja testado em outros bancos de dados e os resultados analisados sob o enfoque da natureza de cada experimento confrontando os resultados com a análise de outras bases analíticas. Vislumbramos a necessidade de aprofundamento desta pesquisa para a preparação de um sistema estruturante de análise, que inclua a aprendizagem de máquina, constituindo um recurso de auxílio à especialistas de diversas áreas.

6.3 PALAVRAS FINAIS

A busca por significados neste estudo nem sempre pode ser acomodada numa lógica matemática, física ou de outra disciplina. Quando criamos novas formas de mineração de dados precisamos nos libertar do paradigma da obediência irrestrita à regras existentes. Para este exercício focamos em técnicas comparativas entre os 20 conjuntos de dados analisados distinguindo-os ou agrupando-os por semelhanças. Nos dedicamos completamente à busca por uma nova abordagem acreditando que a matemática - sendo uma linguagem universal que descreve fenômenos da natureza - também contribuiria para corroborar com o que teorias das ciências cognitivas vêm descrevendo ao longo de décadas. Entendemos a matemática não como uma ciência dura, fria, portanto, inadequada a contribuir para áreas humanas, mas como uma ciência transcendente que pode ser incluída em estudos, por exemplo, acerca da cognição humana.

Encontramos motivação tanto no desenvolvimento de ferramentas computacionais para o estudo de aspectos da cognição humana quanto no desenvolvimento de metodologias para o tratamento e a interpretação de dados de natureza complexa. Postulamos contribuir para aqueles que, assim como nós, estão diante do enorme desafio de extrair informações qualitativas confiáveis a partir de

bancos de dados numéricos. A interpretação dos dados é essencial e definitiva para a tomada de decisões.

O caminho agora percorrido pode ser descrito! Consolida uma busca pela compreensão das variáveis envolvidas no processo de aprendizagem observadas ao longo de 30 anos de experiência com crianças no Ensino Fundamental. Somos gratos a absolutamente todas as oportunidades de convivência com todas as incertezas e angústias tão próprias do fazer científico inovador e pela qualidade humana de nossas interações!

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, M. W. B. de. **Simetria e entropia: sobre a noção de estrutura de Lévi-Strauss**. Revista de Antropologia. ISSN 0034-7701 Rev. Antropol. v. 42. n.1-2. UNICAMP. São Paulo. 1999. <https://doi.org/10.1590/S0034-77011999000100010> Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034-77011999000100010&script=sci_arttext. Acesso em 22.set.2019.
- ANDERSON, PHILIP. *Complexity Theory and Organization Science*. Em: Organization Science, Vol. 10, No. 3, **Special Issue: Application of Complexity Theory to Organization Science**, (May - Jun., 1999), pp. 216-232. Published by: INFORMS. Stable URL: <http://www.jstor.org/stable/2640328>
- ANDRADE, A. F.; KUSMENKOVSKY, A. B.; CARDOSO, J. S.; JACON, M. L.. **A Modalidade D no Conceito de Simetria**. Gráfica. Curitiba: Paraná. 2007 Disponível em http://www.exatas.ufpr.br/portal/docs_degraf/artigos_graphica/AMODALIDADE.pdf. Acesso em 07.04.2020.
- ARAÚJO, E. D. de. **A Linguística Geral de Émile Benveniste como um acontecimento no espaço político-simbólico da Linguística: língua, cultura, personalidade**. Tese de Doutorado (Doutorado em Estudos Linguísticos). Universidade Federal de Uberlândia. 2019. Disponível em <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/27377>. Acesso em 29. fev. 2019.
- ARENAS-RÍOS, M. **Estudo Cartografia geotécnica e visões fractais da geometria do relevo**. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-205/12, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília: 2012. Brasília, DF. 128 p.
- BARROS, M. M. **A Dimensão Fractal de Fenômenos Físicos dos Sistemas Geométricos Fractais**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. COPPE. Petrópolis, RJ. : Laboratório Nacional de Computação Científica, 2011.
- BARROS, M. M., Bevilacqua, L.. **A Method to Calculate Fractal Dimensions of the Weierstrass-Mandelbrot Functions based on Moments of Arbitrary Orders**. Proceedings XXX CNMAC. Florianopolis. Brazil. 2007.
- BASSETT, DANIELLE S. AND GAZZANIGA, MICHAEL S. *Understanding complexity in the human brain*. **Trends Cogn Sci**. 2011 May; 15(5): 200–209. doi:10.1016/j.tics.2011.03.006.
- BERTOLANI, F.C.; GONZÁLEZ, A. P.; LIÑARES, M. L.; VÁZQUEZ, E. V.; MIRANDA, J. G. V.. **Variabilidade Espacial da Rugosidade Superficial do Solo Medida com Rugosímetros de Agulhas e Laser**. Bragantia, Campinas. 2000. Disponível em < <http://www.scielo.br/pdf/brag/v59n2/a15v59n2.pdf>>. Acesso em 07.fev.2019.

BEVILACQUA, L. **Dynamic Fractal Dimension**. National Laboratory for Scientific Computing, LNCC. Petrópolis, Rio de Janeiro. Brasil.

BOYLE, E. A.; HAINEY, t.; CONNOLLY, T.M.; GRAY, G.; EARP, J.; OTT, M.; LIM, T.; NINAUS, M.; RIBEIRO, C.; PEREIRA, J.. *An update to the systematic literature review of empirical evidence of the impacts and outcomes of computer games and serious games*. **Computers & Education**, v. 94, p. 178-192, ELSEVIER, 2015. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2015.11.003>. Acesso em 18.mai.2018.

BRANDALIZE, M.C.B. **Topografia**. Apostila para a Engenharia Civil. Pontífica Universidade Católica. Paraná, Rio Grande do Sul. Disponível em http://www.topografia.com.br/topografia_conteudo.asp?cat=dow&det=Download. Acesso em 20.03.2018.

CARNEIRO, R.R.; CARDOSO, F.B. **Estimulação do desenvolvimento de competências funcionais hemisféricas em escolares com dificuldades de atenção: uma perspectiva neuropsicopedagógica**. Uma perspectiva neuropsicopedagógica. Rev. Psicopedagogia 2009; 26(81): 458-69. Disponível em <<http://pepsic.bvsalud.org/pdf/psicoped/v26n81/v26n81a13.pdf>>. Acesso em 10.mai.2015.

CARVALHO, L. L.de.. **Ciências Cognitivas, modelagem computacional e tecnologias educacionais**. Revista Vozes dos Vales da UFVJM: Publicações Acadêmicas – MG – Brasil – Nº 02 – Ano I – 10/2012 Reg.: 120.2.095–2011 – PROEXC/UFVJM – ISSN: 2238-6424 – www.ufvjm.edu.br/vozes

CHIEL, H., & BEER, R. *The brain has a body: Adaptive behavior emerges from interactions of nervous system, body and environment*. **Trends in Neurosciences**, 20, 553–557. 1997.

CONJUNTO DE MANDELBROT. Disponível em http://pt.wikipedia.org/wiki/Conjunto_de_Mandelbrot.

COVA, C. J. G.; SOUZA, M. C. de; ARAUJO, W. D. de. **Teorias do Caos e da Complexidade: Um novo paradigma do Mercado Financeiro?** VII SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. 2010. Disponível em http://www.cpge.aedb.br/seget/artigos10/308_Teorias%20do%20Caos%20e%20da%20Complexidade_Um%20novo%20paradigma%20do%20Mercado%20Financeiro%20Identificado.pdf. Acesso em 03.abr.2019.

CREANGA, D.; NADEJDE, C.; GASNER, P.. *Dynamical analysis of heart beat from the viewpoint of chaos theory*. **Rom. Journ. Phys.**, Vol. 56, Nos. 1–2, P. 177–184, Bucharest, 2011. Disponível em http://www.nipne.ro/rjp/2011_56_1-2/0177_0185.pdf. Acesso em 31.mar.2019.

CUSTÓDIO, R.F.. **Análise Não-Linear no Reconhecimento de Padrões Sonoros: Estudo de Caso para Sons Pulmonares**. Tese de Doutorado (Ciência da Computação). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: PPGC da UFRGS, 1999. Disponível em <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/17974>. Acesso em 31.mar.2019.

DEY, Pranab. **Fractal Geometry in Medical Science: Beginning of a New Era?** Department of Cytology, Postgraduate Institute of Medical Education and Research, Chandigarh. Disponível em <<http://www.fractal.org/Life-Science-Technology/Publications/Fractal-Geometry-in-Medical-Science.pdf>>. Acesso em 10.mai.2015.

DEVLIN, Sam; COWLING, Peter I.; KUDENKO, Daniel; GOUMAGIAST, Nikolaos; NUCCIARELI, Alberto; CABRAST, Ignazio; FERNANDES, Kiran Jude; LI, Feng. **Game Intelligence**. IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG). DOI 10.1109/CIG.2014.6932917. 978-1-4799-3547-5/1411.00. 2014. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/286813691_Game_intelligence. Acesso em 12.11.2019.

ERNEST, S.K.M. in S.E. JORGENSEN E B.D. FATH. **Homeostasis**. The Encyclopedia of Ecology, Elsevier Press, p. 1879-1884. 2008.

FANSELOW, M.S.; ZELIKOWSKY, M.; PERUSINI, J.; BARRERA, V.R.; HERSMAN, S. **Isomorphisms between Psychological Processes and Neural Mechanisms: From Stimulus elements to genetic markers of activity**. US National Library of Medicine National Institutes of Health. 2013. Disponível em <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3946164/>. Acesso em 20. Março. 2019.

FAWCETT, Angela J; NICOLSON, Roderick I. *Dyslexia, learning, and pedagogical neuroscience*. **Developmental Medicine & Child Neurology**. University of Wales. University of Sheffield, Sheffield, UK. 2007, 49: 306–311. Disponível em <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1469-8749.2007.00306.x>. Acesso em 12.março 2013.

FEDER, J. **Fractals**. Department of Physics. University of Oslo. Norway. Plenum Press. New York and London.

FERREIRA, J.C.E.. **Rugosidades**. Planejamento do Processo Assistido por Computador. Grima, Dep.Eng. Mecânica. UFSC. S/A. Disponível em http://www.grima.ufsc.br/capp/transparencias/TransparenciasCAPP_Rugosidades1.pdf. Acesso em 07.fev.2019.

FIFEL, K. *Readiness Potential and Neuronal Determinism: New Insights on Libet Experiment*. **Journal of Neuroscience**. 2018, 38 (4) 784-786; DOI: 10.1523/JNEUROSCI.3136-17.2017

FRACTAIS **uma jornada pela dimensão oculta**. Produção de Scientific American Brasil. Manaus: NovoDisc Midia Digital da Amazonia Ltda. DVD 5 (53 min) MANDELBROT, B. (vídeo).

FRISTON, Karl; PARK, Hae-Jeong. *Structural and Functional Brain Networks: From Connections to Cognition*. **Science** 342. 2013.

GAGGI, O.; PALAZZI, C.E.; CIMAN, M.; GALIAZZO, G.; FRANCESCHINI, S.; RUFFINO, M., GORI, S.; FACOETTI, A. *Serious games for early identification of*

developmental dyslexia. **Comput. Entertain.** 2017. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1145/2629558>>. Acesso em 14.jun.2018.

GUILFORD, J.P. **La Naturaleza de La Inteligencia Humana**. Editora Paidós. 1977.

GRESSLER, M. D.. **Construindo uma Percepção Complexa da Realidade a partir do Estudo dos Fractais**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Física, Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática, PUCRS. PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICA. PORTO ALEGRE, 2008. 150 f.

HALL, E.. *A conversation with Jean Piaget and Bärbel Inhelder*. **Psychology Today**, New York, v. 3, n. 12, p. 25-32, 54-56, May, 1970.

HEIN, S.. *From Weber to Mandelbrot: Temporal Rationalization and the Fractal Flattening Effect*. **Elsevier Science** Inc. New York, NY. 1995. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/004016259400045X>>. Acesso em 13.05.2015.

INHELDER, B. [et al.]. **O Desenrolar das descobertas da criança: pesquisa acerca das microgêneses cognitivas**. Trad. Eunice Gruman. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

INHELDER, B., TRYPHON, A., VONÈCHE, J.J.. *Working with Piaget: Essays in Honour of Bärbel Inhelder*. **Psychology Press**. 2001. Disponível em <<http://books.google.com.br/books?id=z3l0Y1utdh0C>>. Acesso em 12.abr.2014.

JOSSO, Bruno; BURTON, David R.; LALOR, Michael J.. **Frequency normalised wavelet transform for surface roughness analysis and characterisation**. *Wear*, v. 252, n. 5, p. 491-500, 2002.

KIANI R, CORTHELL L, SHADLEN MN. *Choice certainty is informed by both evidence and decision time*. **Neuron**. 2014;84(6):1329-1342. doi:10.1016/j.neuron.2014.12.015.

KIENITZ LEMOS, Myriam et al. Fio Conductor Microgenético: uma metodologia para a mediação metacognitiva em jogos computacionais. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, [S.l.], v. 22, n. 01, p. 1, abr. 2014. ISSN 2317-6121. Disponível em: <<https://www.br-ie.org/pub/index.php/rbie/article/view/2436>>. Acesso em: 17 dez. 2020. doi:<http://dx.doi.org/10.5753/rbie.2014.22.01.1>.

KIENITZ LEMOS, M., MIRANDA BARROS, M., MONTEIRO FRÓES, M., & KURT KIENITZ, W. (2019). Padrões na distribuição temporal de ações no game sugeridos por transdução para valores musicais. **Revista Scientiarum Historia**, 2, 10. Disponível em: <http://revistas.hcte.ufrj.br/index.php/RevistaSH/article/view/62>.

KLONOWSKI, Włodzimierz. **Signal And Image Analysis Using Chaos Theory And Fractal Geometry**. Lab. of Biosignal Analysis Fundamentals Institute of Biocybernetics and Biomedical Engineering, Polish Academy of Sciences 02-109 Warsaw, 4 Trojdena St., Poland.

KROMER, Thomas. *Scanning Patterns in Fractal Neural Nets*. **Muensterklinik Zwiefalten**. Disponível em:

http://thomasfractalkromer.de/media//DIR_40636/4add3d80c3cf0538ffff8d12ac144221.pdf. Acesso em 11.06.2015.

LA TAILLE, Y. de; OLIVEIRA, M. K de; DANTAS, H.. **Piaget, Vygostsky, Wallon: teorias psicogenéticas em discussão**. São Paulo: Summus, 1992.

LEMOS, M. K. **Modelo Fractal das Microgêneses Cognitivas: uma metodologia para a mediação metacognitiva em jogos computacionais**. Rio de Janeiro, 2013. Dissertação (Mestrado em Informática) – Instituto de Matemática, Instituto Tércio Pacciti de Aplicações e Pesquisas Computacionais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

LIBET B, GLEASON CA, WRIGHT EW, PEARL DK. *Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activity (readiness-potential): the unconscious initiation of a freely voluntary act*. 1983. **Brain** 106:623–642. doi:10.1093/brain/106.3.623 PMID:6640273

LIVIO, M.. *Symmetry rules*. **Science in School**. Issue: Summer. 2006. Disponível em https://www.scienceinschool.org/sites/default/files/teaserPdf/issue2_symmetry.pdf. Acesso em 05. nov. 2019. Tradução de Ana Luísa Carvalho. Disponível em <https://www.scienceinschool.org/pt/2006/issue2/symmetry>. Acesso em 05. nov. 2019.

LOUMOS, G. L. & DEEMING, T. J. *Spurious results from Fourier analysis of data with closely spaced frequencies*. **Astrophysics and Space Science**, vol. 56, no. 2, July 1978, p. 285-291. Bibliographic Code: 1978Ap&SS..56..285L. Disponível em <http://adsabs.harvard.edu/full/1978Ap%26SS..56..285L>. Acesso em 11. Jul. 2019

LURIA, A. R.. **Fundamentos de Neuropsicologia**. RJ, Livros Técnicos e Científicos; SP, EDUSP, 1981 tradução de Ricardo Juarez Aranha da edição da Penguin Books (Middlesex, 1973) com prefácio de K. H. Pribram.

LURIA, A. . R.; VIGOTSKI, L.S. et alii. **Psicologia e Pedagogia**. São Paulo: Centauro, 2008.

MA'AYAN A. **Complex systems biology**. J. R. Soc. Interface 14: 20170391. <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2017.0391>. 2017.

MANDELBROT, B.. *Fractais e a arte da rugosidade*. **TED Conversations**. 2010. Acesso em: 27.10.2013. Disponível em: http://www.ted.com/talks/lang/pt-br/benoit_mandelbrot_fractals_the_art_of_roughness.html

MANDELBROT, B.; FREEMAN, W. H.. **The Fractal Geometry of Nature**, San Francisco, CA, 1982. Disponível em https://users.math.yale.edu/~bbm3/web_pdfs/encyclopediaBritannica.pdf. Acesso em 03.abr.2019.

_____. *Fractal analysis and synthesis of fracture surface roughness and related forms of complexity and disorder*. **International Journal of Fracture**. Springer. 2006. Disponível em <https://link.springer.com/article/10.1007/s10704-006-0037-z>. Acesso em 03.abr.2019.

MANDELBROT, B.; PASSOJA, D.E.; PAULLAY, A.J.. *Fractal character of fracture surfaces of metal*. **Nature**. Vol.308.1984. Disponível em <https://www.nature.com/articles/308721a0>. Acesso em 03.abr.2019.

MARQUES, C. V. M. **EICA - estruturas internas cognitivas aprendentes**: Um modelo neuro-computacional instanciando o sistema pessoa em espaços dimensionais. Tese (doutorado) Programa de Engenharia de Sistemas e de Computação. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017.

MARQUES, C. V. M.; OLIVEIRA, C. E. T. de; MOTTA, C. da; BARREIRA, C. V.; CUESTA, D.A.; MENDONÇA, Â. M.. **Templates Cérebro-Mente – Um Modelo Diagramático Aplicado a Jogos Inteligentes**. Nuevas Ideas en Informática Educativa: TISE. 2014. Disponível em <http://www.tise.cl/volumen10/TISE2014/tise2014_submission_347.pdf.> Acesso em 18/03/2019.

MARQUES, C.V.M.; NOGUEIRA, É.C.; BRASIL, G. **Game Inteligente**: conceito e aplicação. XI Seminário SJEEC. 2015. Disponível em <https://www.revistas.uneb.br/index.php/sjec/article/view/1255/864>. Acesso em 29.fev.2020.

MARQUES, C.V.M.; SILVA, J.O.P.; FRÓES, M.M.; LIMA, P.M.V.; MOTTA; C.L.R.da; OLIVEIRA, C.E.T. Sistemas educacionais inteligentes *in* SALGADO, A. C.; MOTTA; C.L.R.da; SANTORO, F. M (Org.). **Grandes Desafios da Computação no Brasil**: Relatos do 3º seminário. Sociedade Brasileira de Computação (SBC). Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2015. p. 235-251.

MARTINS, V.; MARGUTTI, D. M.; BÖESCH JÚNIOR, P. R.; BUENO, A. F.; SCHAEFFER, L.. **Avaliação da influência da rugosidade superficial sobre o atrito no ensaio de compressão do anel**. 66º Congresso ABM. São Paulo. 2011. Disponível em <http://www.ufrgs.br/ldtm/publicacoes/2011/18137.pdf>. Acesso em 07.fev.2019.

MONTEIRO, M.B. de A. S. **Desenvolvimento de Ferramenta para a análise de Dados Complexos e sua Aplicação em Velocidade do Vento**. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Juiz de Fora. 2017.

MOREIRA, Ildeu de C. “Fractais”, *in* H. Moysés Nussenzveig, (org). **Complexidade e caos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Editora UFRJ/Copea, 2008.

MORIN, E. **Introdução ao Pensamento Complexo**. 5 ed. Lisboa: Instituto Piaget. 2008.

MOTTE, A. **Newton, Isaac. Newtons Principia: the mathematical principles of natural philosophy**. New York Daniel Adee, p.73. Disponível em: <http://redlightrobber.com/red/links_pdf/Isaac-Newton-Principia-English-1846.pdf>. Acesso em 21. Jul. 2020.

NOLFI, S. *Behavior as a complex adaptive system: On the role of self-organization in the development of individual and collective behavior*. **ComplexUs**, 2(3–4), 195–203. 2005.

PADOVANI, José Henrique. **Acerca da transdução: princípios técnicos, aspectos teóricos e desdobramentos**. XXIV Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Música – São Paulo. 2014. Disponível em <https://core.ac.uk/download/pdf/144791839.pdf>. Acesso em 05.jul.2020.

PASQUALI, L. **Psicometria**. Revista da Escola de Enfermagem da USP. 2009. Disponível em <https://www.scielo.br/pdf/reeusp/v43nspe/a02v43ns.pdf>. Acesso em 13 jun. 2020.

PEREIRA, L. F. A.. **Detecção de impressões digitais falsas usando informações extraídas da rugosidade da pele**. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação). Recife: O Autor, 2013.

PIAGET, J. A. Psicogênese dos conhecimentos e a sua significação epistemológica. In: PIATELLI-PALMARINI, M. (Org.). **Teorias da linguagem, teorias da aprendizagem. Um debate entre Jean Piaget e Noam Chomsky**. Tradução de Rui Pacheco. Lisboa: Edições 70, 1987.

PRATES, Eufrasio Farias. **Música holofractal em cena: experimentos de transdução semiótica de noções da física holonômica, da teoria do caos e dos fractais no campo da improvisação performática**. 2011. xx, 164 f., il. Tese (Doutorado em Arte)—Universidade de Brasília, Brasília, 2011. Disponível em https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/10702/1/2011_EufrasioFariasPrates.pdf. Acesso em 11. jul. 2020.

PRINSTROP, V.E. **O Tempo desordenado em HOTEL HELL**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2011. Disponível em <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/40417>. Acesso em 29.fev.2020.

RAVYSE, Werner Siegfried; BLIGNAUT, A. Seugnet; LEENDERTZ, Verona; WOOLNER, Alex. *Success factors for serious games to enhance learning: a systematic review*. **Springer-Verlag**. London. 2016. Disponível em <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10055-016-0298-4>>. Acesso em 18/05.2018.

SANTOS, M. **A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção**. 4.ed. 4.reimpr. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 2008. ISBN 978-85-314-0713-0. Disponível em <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=JRvh0ebalXoC&oi=fnd&pg=PT14&dq=o+tempo&ots=WQbhWRIJ4g&sig=oGL4z83aQrCHgEvxWH19g1i4Qh4#v=onepage&q=o%20tempo&f=false>. Acesso em 29.fev.2020.

SEMINÉRIO, Franco Lo Presti. [et al.]. **Elaboração Dirigida: um caminho para o desenvolvimento metaprocessual da cognição humana**. Rio de Janeiro: Instituto Superior de Estudos e Pesquisas Psicossociais. Cadernos do ISOP, nº 10, Rio de Janeiro, Ed. FGV, 1987.

SEMINÉRIO, Franco Lo Presti. **Infra-estrutura da cognição (I): linguagens e canais morfogenéticos**. Rio de Janeiro: FGV, ISOP, nº 4, 1984.

_____. **Infra-estrutura da cognição (II): linguagens e canais morfogenéticos**. Rio de Janeiro: FGV, ISOP, nº 8, 1985.

SEMINERIO, F. L. P.; ANSELMÉ, C. R.; CHAHON, M.. **Metacognição: um novo paradigma**. Arquivos Brasileiros de Psicologia, RIO DE JANEIRO, v. 51, n. 1, 1999.

SIMONDON, Gilbert. A Individuação à luz das noções de forma e de informação: Introdução. (1958). Tradução de: SIMONDON, Gilbert. 2005. Introduction. In: **L'individuation à la lumière des notions de forme et d'information**. Paris: Édition Jérôme Millon, pp. 23-36 [1958]. Tradutores: Pedro P. Ferreira e Francisco A. Caminati Revisão: Laymert Garcia dos Santos. Disponível em https://cteme.files.wordpress.com/2011/05/simondon_1958_intro-lindividuation.pdf. Acesso em 11 jul. 2020.

SOUZA, Marcos Motta de. **Estudo da Forma e da Rugosidade em Próteses Ortopédicas de Quadril**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011. XVIII, 129 p.

VALLADARES-RODRÍGUEZ; PÉREZ-RODRÍGUEZ, R.; ANIDO-RIFÓN, L.; FERNÁNDEZ-IGLESIAS, M.. *Trends on the application of serious games to neuropsychological evaluation: A scoping review*. **Elsevier. Journal of Biomedical Informatics**. 2016. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jbi.2016.10.019>>. Acesso em 18/05/2018.

VARELA, F., THOMPSON, E., & ROSCH, E. **The embodied mind**. Cambridge, MA: MIT Press. 1991.

VELOSO, T. S.. **Análise da Influência do Contra Ponto na Rugosidade de Peças Torneadas em um Aço ABNT 1045**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de São João del-Rei. 2017. Disponível em <<https://ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/ppmec/Dissertacao%202017%20-%20Tiago%20Santos%20VeloSO.pdf>>. Acesso em 07.fev.2019.

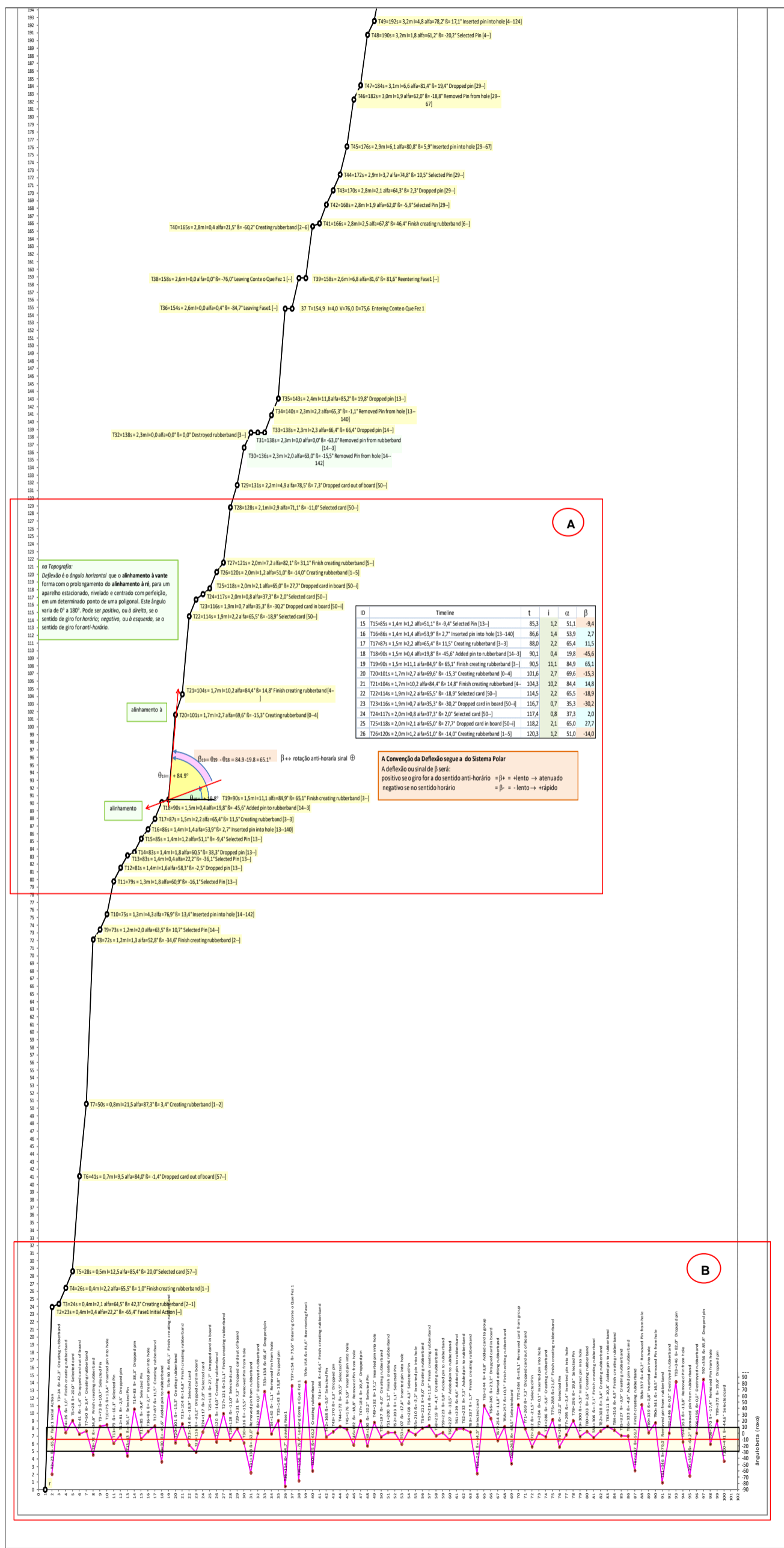
VIGOTSKY, L.S. **A Formação Social da Mente**. Martins Fontes. 1989.

WATTANASOONTORN, Voravika; BOADA, Imma; HERNÁNDEZ, R. J. G.; SBERT, M.. *Serious games for health*. **Entertainment Computing**, v. 4, n. 4, p. 231-247, 2013. Disponível em <https://www.researchgate.net/publication/259167089_Serious_games_for_health/download>. Acesso em 18/05/2018.

WHYTE, Elisabeth M.; SMYTH, Joshua M.; SCHERF, K. Suzanne. *Designing serious game interventions for individuals with autism*. **SpringerLink**. 2014. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1007/s10803-014-2333->. 2014>. Acesso em 18/05/2018.

WITTEN, Ian H.; FRANK, Eibe. *Data Mining, Practical Machine Learning Tools and Techniques*. **Elsevier**. 2005. Disponível em <https://pt.wikipedia.org/wiki/Quadrante>. Acesso em 07.fev.2019.

APÊNDICE A - Recorte de 100 *timestamps* iniciais de um total de 1064 realizados por um dos voluntários no Jogo dos Elásticos. A área **A** indica as informações geométricas dos ângulos α e β com os rótulos de cada *timestamp* com a identificação numérica (1, 2, etc.); a ocorrência em segundos e minutos (t); o intervalo (i); a inclinação (α); a deflexão (β) e a identificação qualitativa do tipo de ação realizada no jogo. A área **B** indica a curva dos ângulos β e seus rótulos correspondentes.



APÊNDICE B – artigo publicado

Padrões na distribuição temporal de ações no game sugeridos por transdução para valores musicais

Myriam Kienitz Lemos¹, Marcelo Miranda Barros², Maira Monteiro Fróes¹, Wolfgang Kurt Kienitz³

¹Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia (HCTE), Universidade Federal do Rio de Janeiro

²Departamento de Estruturas, Universidade Federal de Juiz de Fora

³Colaborador Independente

myriamkitz@gmail.com marcelomirandab Barros@gmail.com froes@nce.ufrj.br zissimaki@gmail.com

Abstract. *In the search for patterns underlying the cognition-action functional binomial, we propose a methodological essay in which variable time intervals between actions - mouse clicks - performed by the player in the Smart Rubber Band Game, are converted parametrically into a spectrum of variations of musical notes organized in the time. Preliminary results, obtained empirically, suggest the occurrence of three combination profiles of sound notes sequences, indicating the possible suitability of this system as a pre-classification test of cognitive behavior profiles.*

Resumo. *Na busca por padrões subjacentes ao binômio funcional cognição-ação, propomos um ensaio metodológico em que intervalos variáveis de tempo entre ações - cliques do mouse - efetuadas pelo jogador no Game Inteligente Jogo dos Elásticos, são convertidos parametricamente em espectro de variações de notas musicais organizadas no tempo. Os resultados preliminares, analisados empiricamente, sugerem a ocorrência de três perfis de combinação das sequências de notas sonoras, indicando possível adequabilidade deste sistema como ensaio pré-classificatório de perfis de comportamento cognitivo.*

1. Introdução

A cognição é sem dúvida a função mais complexa do organismo humano e encontra-se transduzida nas ações de um indivíduo em situação de jogo, tornando-se, em certo grau, legível na perspectiva de um observador e objeto possível para estudos científicos. O reconhecimento de padrões de ordem em objetos de interesse científico é passo fundante para que se possa buscar por sistemas funcionais que expliquem o comportamento eventualmente dinâmico do objeto e nos permitam algum desejável nível de controle.

Na busca por padrões que funcionem como pistas para se chegar aos processos dinâmicos subjacentes ao binômio funcional cognição-ação, exposto em situação de jogo, propomos um ensaio metodológico em que intervalos variáveis de tempo entre ações, ou seja, entre cliques do *mouse*, efetuados pelo jogador no Game Inteligente Jogo dos Elásticos, são convertidos parametricamente em espectro de variações de notas musicais, organizadas no tempo. A transdução paramétrica é tal que a distribuição estatística dos intervalos entre ações em classes de intervalos é convertida por um algoritmo adequado em notas musicais.

Utilizamos como fonte de dados experimentais *logs* originados de um jogo computacional denominado Jogo dos Elásticos (LEMOS, 2013). O Jogo dos Elásticos, um *Game* Inteligente (MARQUES, 2017), possui *design* próprio e fundamenta-se em teóricos da cognição (PIAGET, 1987; SEMINÉRIO, 1987; INHELDER, 1996; SHIMAMURA, 1994). As ações do jogador (cliques no *mouse*) são registradas no tempo cronológico, como um dos valores *log* do jogo, na medida em que o jogador explora os objetos e elabora relações, segundo seus próprios critérios. A produção individual espontânea, sem instruções, é condição fundamental neste tipo de jogo que visa estudar possíveis perfis cognitivos.

Inspirados no experimento *Partituras Imagéticas do Corpo*, um sistema de conversão de dados biofísicos em sequências tonais e imagem (DANTAS E FRÓES, 2017), desenvolvemos um ensaio de parametrização de sequências de dados, produzidos por 20 jogadores no Jogo dos Elásticos, em sequências tonais que pudessem ser sensivelmente percebidas quanto a possíveis valores musicais, a exemplo de segmentos melódicos e andamentos. Apresentamos a metodologia desenvolvida para a transdução dos dados do *log* do Jogo dos Elásticos para figuras musicais e os resultados preliminares do estudo exploratório realizado no complexo Laboratórios de Métodos Avançados e Epistemologia - LAMAE (HCTE/UFRJ). Nossos ensaios sugerem a ocorrência de três perfis de combinação das sequências de notas sonoras, indicando possível adequabilidade deste sistema como proposta pré-classificatória de perfis de comportamento cognitivo, a ser posteriormente corroborada dentro de um sistema de análise matemática. O estudo, de natureza empírica exploratória, aponta ainda para possibilidades de refinamento do método de transdução e de procedimentos de análise.

2. Materiais e Métodos

2.1. O *Game* Inteligente

Um *game* inteligente é um recurso lúdico com o propósito de coletar dados da atividade cognitiva enquanto favorece o aprendizado. As regras são descobertas apoiando-se na interpretação do *design* e da *affordance* dos objetos dispostos nas telas. Não há dicas disponíveis, contudo, existe uma opção que, ao ser selecionada, apresenta uma pergunta reflexiva. Erros e acertos inexistem como marcadores de desempenho. Recompensas como bônus e *scores* não estão previstas no jogo. Desenvolvido para demandar recursos cognitivos específicos, um *game* inteligente pode proporcionar uma experiência bem diferente dos testes psicopedagógicos tradicionais, utilizados para análise cognitiva (MARQUES, 2017).

Originalmente o Jogo dos Elásticos foi concebido em material manipulável, com os objetos feitos artesanalmente em madeira e ilustrações pintadas a mão (LEMOS et al., 2013). Na versão computacional, apresenta-se pela sucessão de seis telas que correspondem às fases pelas quais é possível transitar e realizar alterações livremente. As fases são de dois tipos: ação - com objetos disponíveis para a manipulação (Figura 1a), e interpretação - com tela para descrever textualmente o que foi feito no jogo (Figura 1b). Os objetos dispostos nas telas de ação incluem nove placas quadradas com 16 orifícios cada, potes com elásticos de cores e comprimentos infinitos, 30 pinos, 64 fichas ilustradas e *tags* com sugestões de classificação de conjuntos. Espera-se que competências matemáticas relativas à formação de conjuntos sejam evidenciadas pela definição de critérios na organização das fichas e a representação gráfica de disjunções, interseções e inclusões.



Figura 1(a). Fase de ação.

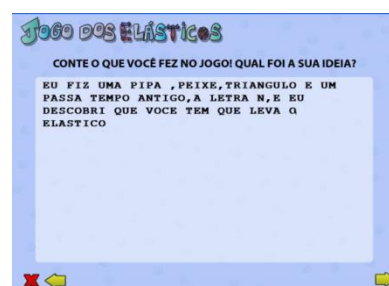


Figura 1(b). Fase de interpretação.

O jogo foi programado para realizar a inspeção de ocorrências numa frequência de 30 fps (*frames per second*). Ao iniciar o jogo, registros *playtime* (tempo total de jogo), e *timestamps* (registro cronológico da sequência de cliques do mouse, neste caso, correspondem a “pegar” ou “soltar” um objeto) encontram-se organizados no *log* do programa. Ao encerrar-se o jogo, um relatório em arquivo *.txt* é gerado contendo os valores correspondentes ao registro dos *timestamps*, ou seja, uma cronologia das ações do jogador no *playtime*.

2.2 Transdução de dados do log para notas musicais

O experimento de transdução dos dados do *log* do jogo para notas musicais foi construído adotando-se três figuras musicais e seus respectivos valores (Figura 2) arbitrados e parametrizados em correspondência com três classes de intervalos de tempo entre ações no jogo.




Classes de Intervalos	Figura de Som	Tempo
[6---]100	 semínima	0,25
[2---]6	 colcheia	0,5
[0---]2	 semicolcheia	1

Figura 2. Correspondência de classes e figuras de som.

Em seguida, desenvolvemos uma rotina no programa *Excel* (*Microsoft Co.*) para a automatização da associação entre medidas de análise dos intervalos de tempo entre ações e as figuras musicais. Calculamos a taxa de incidência com que os intervalos de tempo entre ações recaem sobre determinadas faixas de variação destes valores, e a partir daí, os valores destas taxas passaram a determinar, por parametrização arbitrária, as notas musicais correspondentes, num processo que culmina com a transformação das *timestamps* dos 20 jogadores (Figura 3) em 20 construtos musicais.




	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	101	68	102	48	41	123	25	82	38	39	37	42	36	37	38	33	13	129	54	72
	367	171	406	152	108	438	184	221	181	137	309	174	127	151	212	107	69	353	157	248
	596	216	318	231	181	240	855	1112	87	162	455	187	121	214	54	230	278	400	94	143
TOTAL	1065	457	829	435	335	807	1071	1423	315	348	812	415	297	416	319	386	377	900	324	483

Figura 3. Frequência de cada nota musical para os 20 jogadores.

Aplicamos um algoritmo aos intervalos de tempo entre dois cliques de *mouse* convertendo-os em medida angular favorecendo a representação estatística das variações do andamento do jogador. A altura de cada nota no pentagrama foi definida pela correspondência das variações menores - menos de dois segundos - à nota *la3*. À medida que estas variações crescem negativa ou positivamente são classificadas respectivamente em sons mais agudos ou mais graves. Ao todo arbitramos 17 notas cobrindo um pouco mais de duas oitavas musicais (Figura 4).

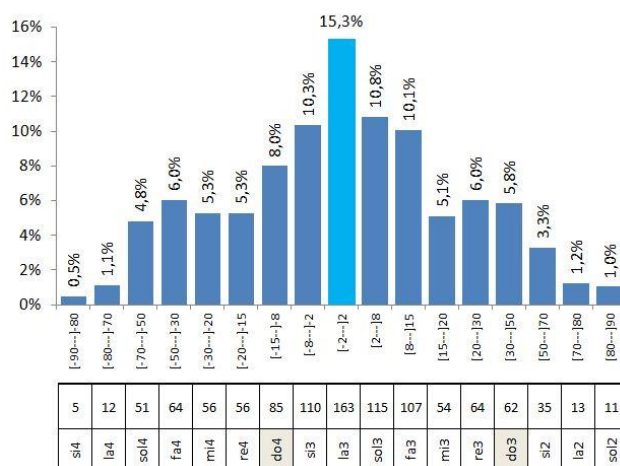


Figura 4. Distribuição da frequência estatística de beta para sua correspondente frequência

Na etapa seguinte, aplicamos o método à sequência de intervalos de cada jogador (Figura 5) e utilizamos o programa *Encore 5* para escrever a partitura.

ação	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
nota	sol4	do3	la3	mi3	la3	sol3	fa4	fa3	fa3	re4	si3	fa4	do3	do4	sol3	fa3	fa4	
duração	1	1/4	1/2	1/2	1	1	1	1/4	1/2	1/2	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/2	
compasso	1						2											

Figura 5. Transdução de intervalos sequenciais em notas musicais de ações do Jogador 1.

O pentagrama foi preenchido manualmente para as primeiras ações produzidas por cada um dos 20 jogadores (variando de 146 a 234), o que equivaliu à mesma quantidade de notas distribuídas em 20 compassos 4/4 - cada compasso contendo no máximo quatro semínimas de um tempo, ou oito colcheias de $\frac{1}{2}$ tempo ou 16 semicolcheias de $\frac{1}{4}$ tempo (tempo = pulso) ou uma mistura destas três figuras, desde que a soma de seus tempos resultasse em quatro. O programa distribuiu as notas nos compassos produzindo sequências tonais percebidas como melodias singulares (Figura 6).

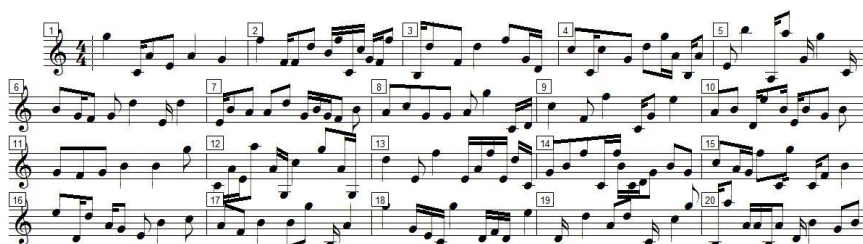


Figura 6. Vinte primeiros compassos do construto musical resultante do ensaio para o Jogador 1 no *Encore 5*.

O reconhecimento de possíveis padrões nos construtos se deu empiricamente, por experiência perceptual auditiva, realizada pelos próprios autores.

3 Resultados e Discussão

A partir do *log* (.txt) do jogo efetuado por cada jogador, é possível apresentar a distribuição cronológica dos cliques do mouse na forma de uma sequência *timestamps*, conforme apresentado na Figura 7. Claramente, constatamos a irregularidade da distribuição destas ações, evidente tanto em níveis de jogadores individuais, quanto para o conjunto dos jogadores.

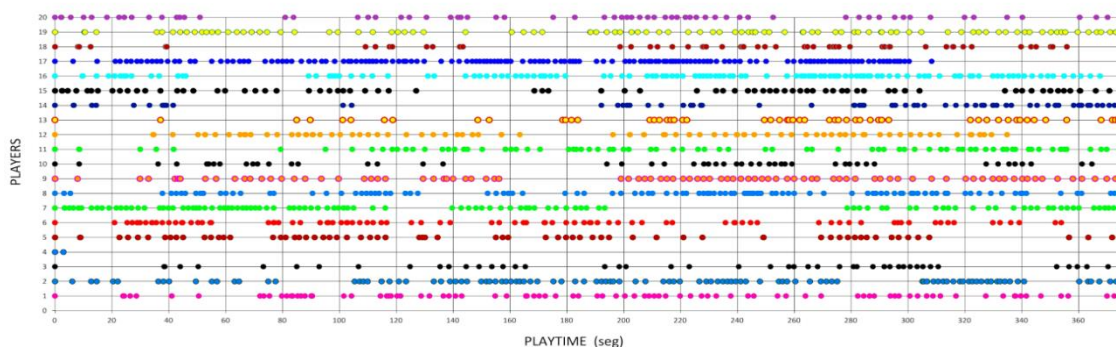


Figura 7. Recortes iniciais das *timestamps* de 20 indivíduos no Jogo dos Elásticos.

A irregularidade presente em cada conjunto de dados sugere imprevisibilidades características de sistemas dinâmicos não-lineares (BARROS, 2011). Entendendo que nosso modelo, um *game* inteligente, dá pouca margem a comportamentos meramente aleatórios, investigamos a possibilidade de que ordens subjacentes possam existir, conforme já evidenciado em sistemas caóticos e/ou complexos de outras naturezas (MONTEIRO, 2017).

Identificar padrões em sequências numéricas aparentemente aleatórias permite entrever comportamentos futuros de um sistema, funcionando como base para previsão e controle. Intuitivamente, por vezes nos é dado perscrutar indicadores de regularidade na irregularidade, contudo o desafio está no desenvolvimento de instrumentos e métodos sistemáticos, objetivos e reprodutíveis de identificação e classificação de padrões em dados complexos. A proposta aqui apresentada não se aplica a esta sistemática, mas acreditamos possa estabelecer-se como um importante alicerce, pois pode vir a provar-se um sistema de apostas consistentes, pré-classificatório, como já o são nossas vivências intuitivas na prática científica.

Arbitramos uma correspondência com três figuras de som que, lembramos, se distinguem na dependência dos intervalos entre ações das quais derivam por parametrização. Naturalmente, outras correspondências podem ser testadas. A transdução dos intervalos entre ações, nos *timestamps*, em sequências ou construtos de notas musicais, resultou na vivência perceptual, sensível e empírica destes construtos como melodias, dando-nos a chance de experimentar outras dimensões de percepção dos dados, para além da experiência cognitiva obtida a partir do plano cartesiano, e de ensaiar outras leituras de ordem sobre os dados. Variações ou predominâncias de determinados tipos gerais de andamento, inferidos pelo arranjo das notas no tempo, foram também percebidas em nossos constructos pós-transdução. Destacamos três tipos gerais de andamento: a. lento (semínima); b. com alternância, lento e rápido e c. rápido (semicolcheia).

Dos três perfis gerais perceptualmente distinguíveis de construtos musicais, aquele determinado pelos *timestamps* dos jogadores 1, 2, 5, 9 a 14 e 20 - tipo b - engloba 50% de

nossa amostra. Assim, conclui-se, representam o comportamento mais frequente. Se tomarmos o Jogador 1 como exemplo ilustrativo deste grupo prevalente, verificamos que o construto parece dotado de uniformidade, com alternância de andamento (Figura 8). O mesmo ocorreu para os Jogadores 2 e 5, com possíveis quatro diferentes padrões musicais, este último com andamento marcadamente distinto (Figura 9), e ainda, com o Jogador 10, para o qual destacamos o andamento marcadamente lento.



Figura 8. Construto musical do Jogador 1.



Figura 9. Construto musical do Jogador 5.

O Jogador 3, único classificado no tipo a. apresentou predominância de andamento lento (semínimas e colcheias) em todos os compassos (Figura 10).



Figura 10. Melodia do Jogador 3.

O andamento rápido em todos os compassos marcou os construtos musicais correspondentes aos *timesteps* dos Jogadores 4, 7 e 8 (Figura 11), 16 e 17 com predominância de semicolcheias, portanto correspondendo a 25% do grupo amostral no tipo c.



Figura 11. Construtos musicais dos Jogadores 7 (esquerda) e 8 (direita).

Os Jogadores 6, 15, 18 e 19 apresentaram regularidade na distribuição das notas ao longo de todo o construto, com uma nota predominante diferente para cada um. No caso do Jogador 6, predominaram colcheias e semicolcheias (Figura 12).

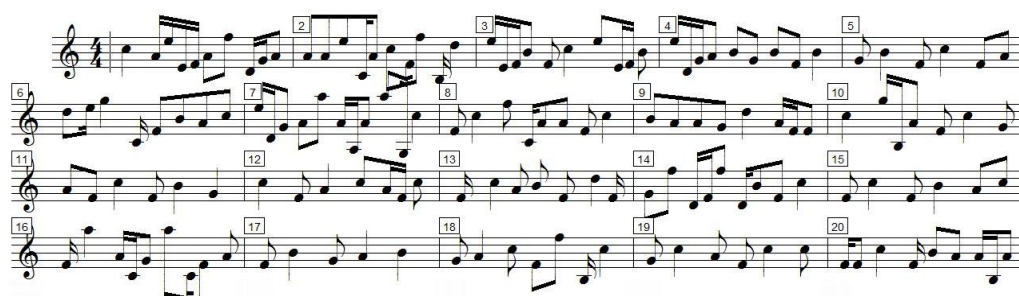


Figura 12. Construto musical do Jogador 6 - regularidade na distribuição das notas nos compassos.

Os construtos gerados revelaram-se sistemas eficientes para evidenciar diferenças gerais no andamento e percebê-los em grupos distintos. A frequência com que uma nota é distribuída no construto revela uma variação do andamento nos compassos. Para 14 dos 20 jogadores a maioria das ações encontram-se intervaladas entre 0 a 2 segundos - representadas por semicolcheias – apontando para um possível padrão geral, a ser investigado quanto possíveis correspondentes cognitivos.

5. Conclusões

Neste ensaio apresentamos uma metodologia experimental para a transdução de dados temporais, gerados por cliques no *mouse* em um jogo computacional, em construtos sonoros musicais. Identificamos três tipos predominantes de construtos sonoros. Metade da amostra apresentou intensa alternância das velocidades de andamento. Distribuições mais regulares das figuras musicais ao longo dos construtos ocorrem em 20% dos casos e andamentos mais rápidos, em 25%. Apenas um construto melódico se destacou dos demais pelo andamento acentuadamente lento.

Utilizamos apenas compassos 4/4; como o *software* identifica cada tempo pela classe a que cada intervalo pertence, nem sempre a soma sequencial das notas completa exatamente o valor quatro. Portanto, em refinamentos futuros, deve-se avaliar a possibilidade de alteração do valor do compasso.

Apostamos na possibilidade de que a classificação dos indivíduos em grupos, sugeridos a partir de qualificadores dos respectivos construtos musicais, possa evidenciar correspondência com perfis/padrões cognitivos de aprendizagem que estes indivíduos revelam em situação de jogo, rastreáveis, em etapas subsequentes deste estudo, a partir dos logs. Além disso, pretendemos investir no aperfeiçoamento do sistema de análise de valores musicais, enriquecendo a base de parâmetros que possam referenciar interpretações dentro da ciência da cognição.

6. Referências

BARROS, M. M. **A Dimensão Fractal de Fenômenos Físicos dos Sistemas Geométricos Fractais**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. COPPE. Petrópolis, RJ. : Laboratório Nacional de Computação Científica, 2011.

DANTAS, D.; FRÓES, M. M. Partituras imagéticas do corpo: um experimento transdisciplinar entre neurociência e arte contemporânea In: **SCIENTIARUM HISTORIA**, 10 2017, Rio de Janeiro. **Livro de anais do Scientiarum História X**, Rio de Janeiro: UFRJ, 2017.

INHELDER, B. [et al.]. **O Desenvolver das descobertas da criança: pesquisa acerca das microgêneses cognitivas**. Trad. Eunice Gruman. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

LEMOS, M. K.. **Modelo Fractal das Microgêneses Cognitivas: uma metodologia para a mediação metacognitiva em jogos computacionais**. Rio de Janeiro, 2013. Tese (Mestrado em Informática) – Instituto de Matemática, Instituto Tércio Pacciti de Aplicações e Pesquisas Computacionais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

MARQUES, C. V. M.; OLIVEIRA, C. E. T. de; MOTTA, C. da; BARREIRA, C. V.; CUESTA, D.A.; MENDONÇA, Â. M.. **Templates Cérebro-Mente – Um Modelo Diagramático Aplicado a Jogos Inteligentes**. Nuevas Ideas en Informática Educativa: TISE. 2014. Disponível em http://www.tise.cl/volumen10/TISE2014/tise2014_submission_347.pdf.> Acesso em 18/03/2019.

MONTEIRO, M. B. de A. S. **Desenvolvimento de Ferramenta para a análise de Dados Complexos e sua Aplicação em Velocidade do Vento**. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Juiz de Fora. 2017.

PIAGET, J. A. **Psicogênese dos conhecimentos e a sua significação epistemológica**. In: Piatelli-Palmarini, M. (Org.). Teorias da linguagem, teorias da aprendizagem. Um debate entre Jean Piaget e Noam Chomsky. Tradução de Rui Pacheco. Lisboa: Edições 70, 1987.

SEMINÉRIO, F. P. [et al.]. **Elaboração Dirigida: um caminho para o desenvolvimento metaprocessual da cognição humana**. Rio de Janeiro: Instituto Superior de Estudos e Pesquisas Psicossociais. Cadernos do ISOP, nº 10, Rio de Janeiro, Ed. FGV, 1987.

SHIMAMURA, A. P; METCALFE, J. **Metacognition: knowing about knowing**. Cambridge, Massachusetts. 1994.