



Universidade Federal da Bahia
Instituto de Matemática

Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

**APLICANDO REDES DE FUNÇÃO DE BASE
RADIAL PARA DETECÇÃO DE MUDANÇAS
DE CONCEITO EM FLUXOS CONTÍNUOS
DE DADOS**

Ruivaldo Azevedo Lobão Neto

QUALIFICAÇÃO DE MESTRADO

Salvador
03 de Abril de 2019

RUIVALDO AZEVEDO LOBÃO NETO

**APLICANDO REDES DE FUNÇÃO DE BASE RADIAL PARA
DETECÇÃO DE MUDANÇAS DE CONCEITO EM FLUXOS
CONTÍNUOS DE DADOS**

Esta Qualificação de Mestrado foi apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: Ricardo Araújo Rios

Salvador
03 de Abril de 2019

TERMO DE APROVAÇÃO

RUIVALDO AZEVEDO LOBÃO NETO

APLICANDO REDES DE FUNÇÃO DE BASE RADIAL PARA DETECÇÃO DE MUDANÇAS DE CONCEITO EM FLUXOS CONTÍNUOS DE DADOS

Esta Qualificação de Mestrado foi julgada adequada à obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal da Bahia.

Salvador, 03 de Abril de 2019

Prof. Dr. Ricardo Araújo Rios
UFBA

RESUMO

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Palavras-chave: Aprendizado de Máquina, Fluxos Contínuos de Dados, Mudanças de Conceito, Redes de Função de Base Radial, Não supervisionado

ABSTRACT

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Keywords: Machine Learning, Data Streams, Concept Drift, Radial Basis Function Networks, RBF Network, Unlabeled

SUMÁRIO

Capítulo 1—Introdução	1
1.1 Contexto e Motivação	1
1.2 Hipótese e Objetivo	2
Capítulo 2—Revisão Bibliográfica	5
2.1 Considerações Iniciais	5
2.2 Fluxos Contínuos de Dados e Aprendizado de Máquina	5
2.3 Mudança de Conceito	6
2.3.1 Taxonomia	9
2.3.2 Algoritmos para Detecção de Mudança de Conceito	10
2.3.3 Ferramentas	12
2.3.4 MOA	13
2.3.5 Tornado	16
2.4 Redes de Função de Base Radial	17
2.5 Trabalhos Relacionados	19
2.6 Considerações Finais	19
Capítulo 3—Plano de Pesquisa	21
3.1 Considerações Iniciais	21
3.2 Descrição do Problema	21
3.3 Atividades de Pesquisa	22
3.4 Considerações Finais	22
Capítulo 4—Experimentos Iniciais	23
4.1 Considerações Iniciais	23
4.2 Configuração dos Experimentos	23
4.3 Método de Pettitt	23
4.4 Redes de Função de Base Radial	24
4.5 Considerações Finais	24

LISTA DE FIGURAS

2.1	Mudança de Conceito Virtual vs. Mudança de Conceito Real	8
2.2	Padrões de ocorrência de Mudanças de Conceito	8
2.3	MOA - Tela Inicial	14
2.4	MOA - Configuração detector	15
2.5	Framework Tornado (PESARANGHADER, 2018).	16
2.6	Tornado - Resultado para múltiplos pares (PESARANGHADER, 2018) .	17
2.7	Arquitetura RBF	18

LISTA DE TABELAS

2.1	Terminologia - Mudança de Conceito (ZLIOBAITE, 2010)	9
2.2	Sumário - Abordagens de detecção (SETHI; KANTARDZIC, 2017) . . .	12

INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO E MOTIVAÇÃO

O volume de dados produzidos por sistemas computacionais tem crescido de forma significativa (COHEN et al., 2009). Em relatório publicado pelo IDC (*International Data Corporation*), estimava-se que em 2014 seriam produzidos 4,4 zettabytes (trilhões de gigabytes) de dados e que em 2020 essa quantidade será de 44 zettabytes (ZWOLENSKI; WEATHERILL, 2014).

Parte relevante desses dados é produzida em sequências contínuas, ordenadas, de alta frequência e potencialmente infinitas. Estas sequências são denominadas Fluxos Contínuos de Dados (FCDs) e estão presentes em muitos domínios de aplicação (AGGARWAL, 2006): monitoramento de sensores (Lee; Wang; Ryu, 2007), tráfico TCP/IP, histórico de compra de clientes, filtragem de SPAM em mensagens de e-mail (KATAKIS; TSOUMAKAS; VLAHAVAS, 2010), detecção de intrusos, análise de sentimentos (SMAILOVIĆ et al., 2014), etc.

A área de Aprendizado de Máquina (AM) estuda algoritmos que melhoram o seu desempenho na realização de determinada tarefa conforme ganham experiência (MITCHELL, 1997). Nos últimos anos, há um crescente interesse de pesquisa na aplicação dessas técnicas em diferentes contextos. Em muitos destes, os dados são produzidos através de fluxos contínuos de dados. Sendo necessário, portanto, adaptar os algoritmos para atenderem às restrições de tempo de execução e de uso dos recursos computacionais (BIFET, 2009).

Além dessas restrições, a dinamicidade dos cenários com fluxos contínuos de dados também é considerada um obstáculo para as técnicas de aprendizado de máquina. Isto ocorre, pois, nestes cenários, o contexto do processo ou a distribuição dos dados podem mudar ao longo do tempo, afetando as previsões esperadas (conceitos-alvo). Este problema é denominado mudança de conceito (GAMA, 2010) e a sua ocorrência pode impactar a acurácia do modelo.

Visando mitigar esse problema, foram desenvolvidas técnicas para detecção de mudanças de conceito (GAMA et al., 2014). As primeiras técnicas desenvolvidas atuavam em

conjunto com os classificadores, detectando mudanças a partir do monitoramento da taxa de erro. São exemplos desta abordagem: DDM (GAMA et al., 2004), EDDM (BAENA-GARCÍA et al., 2006), ADWIN (BIFET; GAVALDÀ, 2007), ECDD (ROSS et al., 2012), PL (Bach; Maloof, 2008), FCWM (SEBASTIÃO et al., 2010), STEPD (NISHIDA; YAMAUCHI, 2007), DOF (SOBHANI; BEIGY, 2011), SCCDD/CRCDD (COSTA; RIOS; MELLO, 2016), dentre outros.

Os comitês de classificadores também foram utilizados em métodos para detecção de mudanças de conceito. Nestes grupos, a predição global é obtida a partir da combinação das predições individuais. Divergências identificadas durante este processo sinalizam potenciais mudanças de conceito (GAMA et al., 2014). São exemplos desta técnica: DWM (KOLTER; MALOOF, 2007), AUE (BRZEZIŃSKI; STEFANOWSKI, 2011), WMA (BLUM, 1997), DDD (MINKU; YAO, 2012), ADOB (SANTOS et al., 2014), dentre outros.

Contudo, as abordagens mencionadas dependem que o rótulo correto de cada exemplo esteja disponível. Em muitos contextos, o tempo ou o custo para obter esse rótulo é proibitivo (AGGARWAL, 2006). Diante disso, foram desenvolvidos algoritmos que independem dessa informação.

Esses algoritmos reconhecem as mudanças de conceito a partir da identificação de eventos que não se enquadram na estrutura dos dados (SPINOSA; CARVALHO; GAMA, 2007). Para isto, técnicas de agrupamento, detecção de *outliers*, sumarização dos dados e aplicação de medidas de dissimilaridade são utilizadas nas implementações (RYU et al., 2012). São exemplos desta categoria: OLINDDA (SPINOSA; CARVALHO; GAMA, 2007), MINAS (FARIA; GAMA; CARVALHO, 2013), ECSMiner (MASUD et al., 2011), GC3 (SETHI; KANTARDZIC; HU, 2016), dentre outros.

Contudo, conforme (AGGARWAL, 2006), as técnicas para identificação de mudanças de conceito propostas ainda possuem deficiências. Os algoritmos dependentes de rótulos, por exemplo, são impraticáveis para muitos problemas do mundo real (GAMA et al., 2014). De forma similar, as técnicas independentes, têm dificuldade para atender às restrições de tempo de execução e de uso dos recursos computacionais em cenários com fluxos contínuos de dados.

Visando resolver essas limitações, este projeto de mestrado propõe um algoritmo baseado em redes de função de base radial capaz de detectar mudanças de conceito de forma online, precisa e independente de exemplos prévios ou rótulos.

1.2 HIPÓTESE E OBJETIVO

Com base nas observações citadas anteriormente, a seguinte hipótese foi formulada:

“A análise de fluxos contínuos de dados através de redes de função de base radial permite a detecção de mudanças de conceito de forma online, precisa e independente de exemplos prévios ou rótulos.”

O objetivo deste trabalho será o desenvolvimento e comprovação desta hipótese. Para atingir este objetivo, será implementado um algoritmo para detecção de mudanças de conceito baseado em redes de função de base radial. Os principais diferenciais deste

método serão a escolha dinâmica dos centros, conforme novos dados são recepcionados, e a aplicação de um raio variável. A ativação de novos centros será utilizada como indicador de possíveis mudanças de conceito.

O algoritmo implementado será comparado com o estado da arte. O primeiro conjunto de testes será formado por dados sintéticos, que permitirão uma análise detalhada da abordagem, uma vez que as características e os comportamentos dos dados são conhecidos. O segundo conjunto será composto por dados obtidos a partir de sistemas computacionais utilizados na indústria, visando apresentar uma aplicação prática para a solução proposta.

Este projeto está organizado conforme a seguinte estrutura: O **Capítulo 2** apresenta uma revisão bibliográfica dos principais conceitos utilizados neste trabalho: fluxos contínuos de dados e aprendizado de máquina, mudança de conceito e redes de função de base radial; No **Capítulo 3** o plano de pesquisa é detalhado, identificando a metodologia que será aplicada na pesquisa e o cronograma de atividades. Por fim, o **Capítulo 4** apresenta um conjunto de experimentos preliminares e a análise dos resultados obtidos.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo discute os principais conceitos utilizados neste trabalho de pesquisa. Em primeiro momento, a aplicação de técnicas de aprendizado de máquina a fluxos contínuos de dados será detalhada. Em seguida, será apresentada a ideia de mudança de conceito, seus tipos e características, taxonomia, principais algoritmos de detecção e ferramentas. Logo após, as redes de função de base radial serão discutidas. Ao fim do capítulo, serão elencados os trabalhos relacionados encontrados na literatura.

2.2 FLUXOS CONTÍNUOS DE DADOS E APRENDIZADO DE MÁQUINA

O volume de dados produzidos por sistemas computacionais tem crescido de forma significativa (COHEN et al., 2009). Parte relevante desses dados é produzida em sequências contínuas, ordenadas, de alta frequência e potencialmente infinitas. Estas sequências são denominadas Fluxos Contínuos de Dados (FCDs) e estão presentes em muitos domínios de aplicação (AGGARWAL, 2006).

A área de Aprendizado de Máquina (AM) estuda algoritmos que melhoram o seu desempenho na realização de determinada tarefa conforme ganham experiência (MITCHELL, 1997). Nos últimos anos, há um crescente interesse de pesquisa na aplicação dessas técnicas em diferentes contextos. Entretanto, segundo (GAMA, 2010), a área teve como foco, durante muitos anos, os problemas de aprendizado em lote. Nestes cenários, os algoritmos consideram que a distribuição dos dados e o contexto do processo não sofrem alterações ao longo do tempo. Ou seja, não há o surgimento de novos conceitos-alvo ou alteração dos existentes.

Contudo, os principais domínios de aplicação com fluxos contínuos de dados são dinâmicos. Isto é, a distribuição dos dados ou o contexto do processo gerador podem sofrer alterações que afetam os conceitos-alvo esperados. Estas alterações, denominadas mudanças de conceito (GAMA, 2010), podem impactar a acurácia do modelo de decisão.

As técnicas de aprendizado de máquina dividem-se em duas categorias principais: não supervisionados (agrupamento ou *clustering*) e supervisionados (classificação ou regressão) (MITCHELL, 1997). Algoritmos de ambas as categorias foram adaptados para que pudessem ser aplicados à cenários com fluxos contínuos de dados. Os detalhes de cada categoria e as adaptações propostas na literatura serão discutidas a seguir.

As técnicas de agrupamento associam objetos conforme suas características. Estas técnicas buscam formar grupos com alta similaridade interna e baixa similaridade com elementos externos (JAIN; DUBES, 1988). Os principais métodos de agrupamento para cenários em lote são: K-Means (LLOYD, 2006), DBSCAN (ESTER et al., 1996), PAM (KAUFMAN; ROUSSEUW, 1990) e OPTICS (ANKERST et al., 1999).

Segundo (GAMA, 2010), a principal dificuldade na aplicação de técnicas de agrupamento em cenários com fluxos contínuos de dados é a manutenção da qualidade e consistência dos grupos formados em relação à sequência de dados observados. Portanto, é necessário que os algoritmos atuem de forma incremental, evoluindo os grupos formados ao longo do tempo (BARBARÁ, 2002). Sendo assim, foram desenvolvidos algoritmos de agrupamento especializados para fluxos contínuos de dados (AGGARWAL et al., 2003): CluStream (AGGARWAL et al., 2003), StreamKM++ (ACKERMANN et al., 2012), DenStream (CAO et al., 2006), D-Stream (LING; LING-JUN; LI, 2009) e ClusTree (KRANEN et al., 2011), dentre outros.

Os algoritmos supervisionados realizam previsões para novos exemplos utilizando um modelo de decisão criado a partir de uma base de treinamento previamente rotulada (KOTSIANTIS, 2007). Se a previsão é categórica, entende-se como um problema de classificação. Se a previsão resulta em um valor numérico, trata-se de uma tarefa de regressão. Os principais algoritmos de classificação e regressão para cenários em lote são: árvores de decisão (BREIMAN et al., 1984), métodos baseados em regras, redes neurais e máquinas de vetores suporte (SVM) (VAPNIK, 1998), dentre outros.

Contudo, esses métodos não atualizam o modelo conforme novos dados são observados. Além disso, também assumem que todos os dados estão disponíveis em memória e que é possível realizar múltiplas varreduras sobre eles. Dessa forma, novos algoritmos supervisionados foram propostos para os cenários com fluxos contínuos de dados (DOMINGOS; HULTEN, 2000; BIFET et al., 2013; WANG et al., 2003; AGGARWAL et al., 2004; GAMA; ROCHA; MEDAS, 2003).

No contexto deste trabalho de mestrado, assume-se que os dados são obtidos a partir de fluxos contínuos de dados com mudanças de conceito. O algoritmo para detecção de mudanças proposto é independente de técnicas de aprendizado, pois identifica as mudanças a partir de uma análise direta e contínua do fluxo de dados. Na próxima seção, o fenômeno mudança de conceito será discutido.

2.3 MUDANÇA DE CONCEITO

Quando técnicas de aprendizado de máquina são aplicadas em cenários dinâmicos, é comum que a distribuição dos dados ou o contexto do processo mudem ao longo do tempo, levando ao fenômeno de mudança de conceito (SCHLIMMER; GRANGER, 1986). Como exemplo, considere um modelo criado a partir do histórico de compras de um cliente em

uma livraria. Este cliente tem demonstrado, ao longo do tempo, uma absoluta preferência por livros de ficção científica. Entretanto, ao ingressar na universidade, passa a consumir apenas livros técnicos. Esta alteração de comportamento é considerada uma mudança de conceito e pode ter impacto na acurácia do modelo.

A Teoria Bayesiana de Decisão (DUDA; HART; STORK, 2000) é comumente aplicada para descrever as técnicas de classificação. Utilizaremos esta descrição como base teórica para formalizar o problema de mudança de conceito: Sendo $X \in \mathbb{R}^p$ uma instância em um espaço p -dimensional de atributos e $X \in c_i$ onde c_1, c_2, \dots, c_k é o conjunto de classes, o classificador ótimo para classificar $x \rightarrow c_i$ é determinado pelas probabilidades a priori das classes $P(c_i)$ e a função de densidade de probabilidade condicionada às classes $p(X|c_i), i = 1, \dots, k$.

Dessa forma, um conceito pode ser definido como um conjunto de probabilidades a priori e condicionais das classes, como mostra a Equação 2.1:

$$S = \{(P(c_1), P(X|c_1)), (P(c_2), P(X|c_2)), \dots, (P(c_k), P(X|c_k))\} \quad (2.1)$$

Ainda segundo a Teoria Bayesiana, a classificação de uma instância X baseada na máxima probabilidade a posteriori pode ser obtida através da Equação 2.2:

$$p(c_i|X) = \frac{p(c_i) * p(X|c_i)}{p(X)} \quad (2.2)$$

Sendo assim, é possível formalmente definir que há mudança de conceito entre os instantes t_0 e t_1 se:

$$\exists X : p_{t_0}(X, c) \neq p_{t_1}(X, c) \quad (2.3)$$

onde, p_{t_0} e p_{t_1} denotam as distribuições de probabilidades conjuntas nos instantes t_0 e t_1 , respectivamente, para X e c (GAMA et al., 2014). Isto é, um conjunto de exemplos possui rótulos de classe legítimos em t_0 , mas passa a ter rótulos diferentes, também legítimos, em t_1 (KOLTER; MALOOF, 2007).

Com base na formalização exposta, segundo (ZLIOBAITE, 2010), mudanças de conceito podem ocorrer devido a:

1. Alterações na probabilidade a priori das classes $P(c)$;
2. Alterações na distribuição de uma ou mais classes $p(X|c)$;
3. Alterações nas distribuições a posteriori das classes $p(c|X)$.

Segundo (ZLIOBAITE, 2010; GAMA et al., 2014), as mudanças de conceito podem ser categorizadas como virtuais ou reais. As virtuais indicam mudanças na probabilidade a priori das classes, $P(c)$, e não têm impacto nos conceitos-alvo (representadas na Figura 2.1 (b)). Enquanto as mudanças de conceito reais referem-se a mudanças na probabilidade a posteriori, $p(c|X)$, e afetam os conceitos-alvo (representadas na Figura 2.1 (c)).

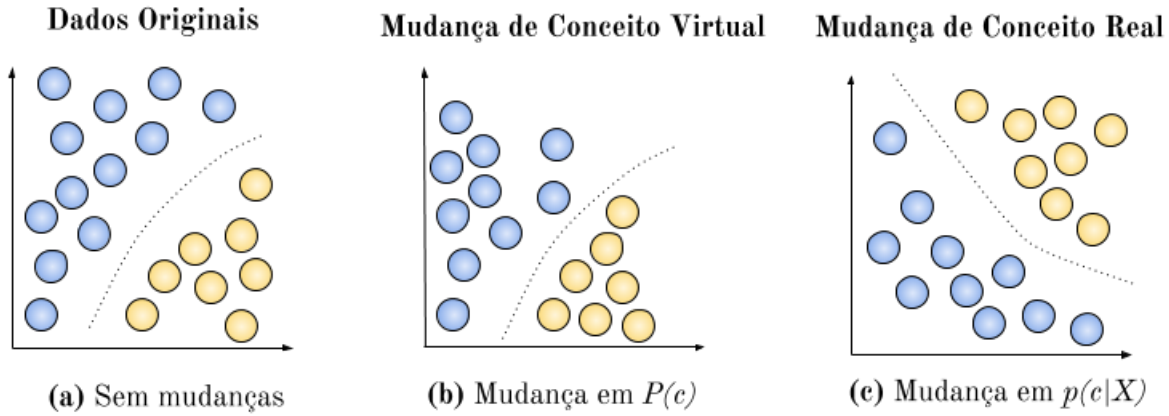


Figura 2.1 Mudança de Conceito Virtual vs. Mudança de Conceito Real

Conforme (GAMA et al., 2014), as mudanças de conceito podem ocorrer de forma abrupta, gradual, incremental ou recorrente. A Figura 2.2 ilustra estes padrões:

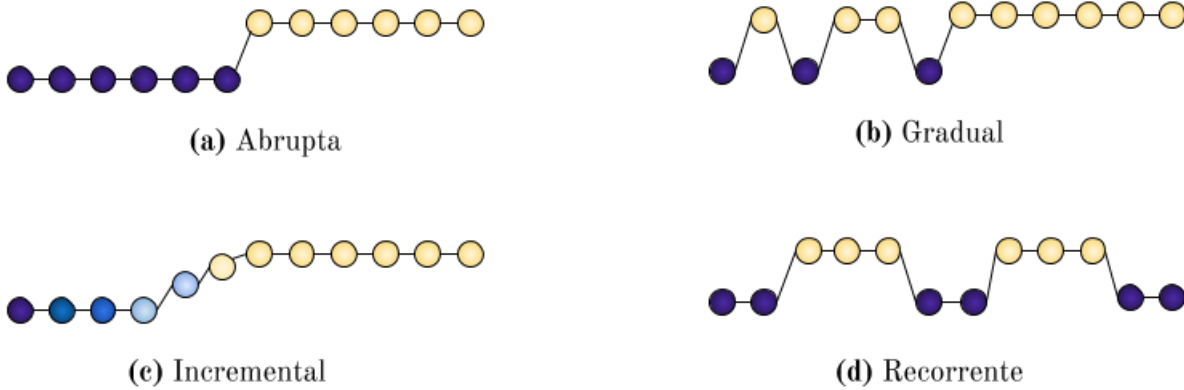


Figura 2.2 Padrões de ocorrência de Mudanças de Conceito

Mudanças de conceito abruptas são alterações repentinas entre conceitos, como descrito na Figura 2.2 (a). Por exemplo, o gênero literário preferido de um cliente pode mudar repentinamente de ficção científica para auto-ajuda. Outro exemplo, é a troca de um sensor por outro com diferente calibração, em uma planta industrial química (GAMA et al., 2014).

A mudança de conceito gradual representa uma transição mais lenta de um conceito para outro. Isto é, durante a transição, são percebidos eventos de ambos os conceitos. Pode-se considerar que o cliente, ao invés de subitamente passar a preferir livros de auto-ajuda, adquire interesse nestes ao longo do tempo. Isto significa que ainda existe certo interesse em livros de ficção científica, mas, em paralelo, desenvolve-se uma crescente pre-

ferência por livros de auto-ajuda, que se tornará predominante. A mudança de conceito gradual é representada na Figura 2.2 (b).

Mudanças de conceito incrementais apresentam conceitos intermediários durante a transição de um conceito para outro. Para o exemplo utilizado, é como se o interesse literário variasse de ficção científica para ficção científica e aventura, de ficção científica e aventura para aventura e suspense, de aventura e suspense para suspense e auto-ajuda, e finalmente de suspense e auto-ajuda para apenas auto-ajuda. Considerando a planta industrial química e os sensores, seria como se um sensor perdesse precisão ao longo do tempo. A Figura 2.2 (c) demonstra a mudança de conceito incremental.

A mudança de conceito recorrente surge quando um conceito, previamente ativo, reaparece após determinado período de tempo. Em nosso exemplo, considere que o cliente está atualmente interessado em livros de ficção científica. Contudo, ele é presenteado com uma série de livros de auto-ajuda de um renomado autor. Após ler toda a série, o cliente é premiado com descontos para livros de ficção científica e volta a lê-los. A mudança de conceito recorrente está representada na Figura 2.2 (d).

O método de detecção proposto neste trabalho de mestrado busca identificar mudanças de conceito reais em fluxos contínuos de dados, independente do padrão de ocorrência destas.

Na subseção seguinte, será discutida a taxonomia do termo mudança de conceito e discriminada a expressão detecção de mudança de conceito de outras técnicas relacionadas.

2.3.1 Taxonomia

O fenômeno mudança de conceito tem sido estudado em diferentes comunidades de pesquisa, incluindo mineração de dados, aprendizado de máquina, estatística e recuperação de informação (ZLIOBAITE, 2010). Contudo, o mesmo conceito pode ter diferentes nomenclaturas em cada comunidade. Na Tabela 2.3.1 são listados os termos correspondentes a mudança de conceito para cada área de pesquisa.

Área	Termos
Mineração de Dados	Mudança de Conceito
Aprendizado de Máquina	Mudança de Conceito, Mudança de Covariável
Computação Evolucionária	Ambiente Evolutivo, Ambiente em Mudança
IA e Robótica	Ambiente Dinâmico
Estatísticas, Séries Temporais	Não Estacionário
Recuperação de Informação	Evolução Temporal

Tabela 2.1 Terminologia - Mudança de Conceito (ZLIOBAITE, 2010)

Outra fonte comum de equívocos são os termos Detecção de *Outliers*, Detecção de Novidade, Detecção de *Change Points* e Detecção de Mudança de Conceito. Estes termos

são, em muitos cenários, utilizados de forma indistinta. Mas, para o contexto deste trabalho, é importante distingui-los.

De acordo com (CHANDOLA; BANERJEE; KUMAR, 2009), a expressão Detecção de *Outliers* refere-se a tarefa de encontrar padrões nos dados em desacordo com o comportamento esperado.

Ainda conforme (CHANDOLA; BANERJEE; KUMAR, 2009), as técnicas para Detecção de Novidade têm como objetivo detectar padrões ainda não observados nos dados. Diferentemente das técnicas para Detecção de *Outliers*, as técnicas para Detecção de Novidade incorporam os novos padrões ao modelo de decisão.

Por fim, as técnicas para Detecção de *Change Points* identificam variações abruptas de valor, que podem representar transições entre estados, em séries temporais unidimensionais estacionárias (AMINIKHANGHAHI; COOK, 2017).

Na próxima subseção, detalharemos as principais técnicas para detecção de mudanças de conceito encontradas na literatura.

2.3.2 Algoritmos para Detecção de Mudança de Conceito

Os algoritmos para Detecção de Mudança de Conceito são os responsáveis por identificar, de forma explícita, as mudanças de conceito nos fluxos de dados (GAMA et al., 2014). Estes métodos caracterizam e quantificam as mudanças de conceito através da delimitação dos instantes ou intervalos de tempo em que as mudanças ocorrem (BASSEVILLE; NIKIFOROV, 1993).

As técnicas para detecção e mudanças de conceito propostas na literatura podem ser divididas em duas categorias, baseado na dependência ou não de dados rotulados:

Algoritmos Explícitos/Supervisionados Dependem da rotulação dos dados por um especialista. Estes rótulos são utilizados no cálculo de medidas de performance como taxa de erro e acurácia, que são monitoradas ao longo do tempo. Mudanças de conceito são sinalizadas quando essas medidas atingem um limite previamente definido.

Algoritmos Implícitos/Não Supervisionados Independem da rotulação por especialistas, baseando-se em características dos próprios dados para sinalizar desvios. São mais propensos a alarmes falsos, mas a independência de rótulos os torna interessantes para contextos onde a obtenção desses é dispendiosa, demorada ou inviável.

Em sua pesquisa (GAMA et al., 2014) categorizou os algoritmos supervisionados em três grupos principais:

Métodos Baseados em Análise Sequencial Avaliam, de forma sequenciada, os resultados das predições conforme tornam-se disponíveis (performance). Indicam a ocorrência de mudança de conceito quando um limite pré-definido é atingido. Os algoritmos *Cumulative Sum (CUSUM)*, *PageHinkley (PH)* (PAGE, 1954) e *Geometric Moving Average (GMA)* (ROBERTS, 2000) são representantes deste grupo.

Abordagens baseadas em Estatística Identificam mudanças de conceito através da análise de parâmetros estatísticos como média e desvio padrão para os resultados das predições. Os métodos *Drift Detection Method (DDM)* (GAMA et al., 2004), *Early Drift Detection Method (EDDM)* (BAENA-GARCÍA et al., 2006), *Exponentially Weighted Moving Average (EWMA)* (ROSS et al., 2012) e *Reactive Drift Detection Method (RDDM)* (BARROS et al., 2017) são exemplos deste grupo.

Métodos baseados em Janelas Geralmente, utilizam uma janela de tamanho fixo para sumarizar informações passadas e uma janela deslizante para sumarizar dados mais recentes. A mudança de conceito é detectada quando há uma diferença significativa entre as distribuições das janelas. Esta diferença é detectada a partir de testes estatísticos ou desigualdades matemáticas, considerando como hipótese nula a igualdade entre as distribuições. Os algoritmos *Adaptive Windowing (ADWIN)* (BIFET; GAVALDÀ, 2007), *SeqDrift* (PEARS; SAKTHITHASAN; KOH, 2014), *HDDMA* e *HDDMW* (BLANCO et al., 2015) são membros desta família.

Os algoritmos implícitos também foram divididos em três grupos (GONÇALVES et al., 2014):

Detecção de Novidade / Métodos de Agrupamento Utilizam a distância e/ou a densidade dos dados para detectar novos padrões. O algoritmo identifica exemplos suspeitos e os atribui a uma classe *Desconhecido*, indicando a necessidade de uma avaliação adicional. As técnicas de agrupamento e detecção de *outliers* são estratégias de implementação populares para estes algoritmos, pois sintetizam os dados correntes e aplicam medidas de dissimilaridade para identificar novos padrões (RYU et al., 2012). Os métodos *OLINDDA* (SPINOSA; CARVALHO; GAMA, 2007), *MINAS* (FARIA; GAMA; CARVALHO, 2013), *Woo* (RYU et al., 2012), *DETECTNOD* (Hayat; Hashemi, 2010), *ECSMiner* (MASUD et al., 2011) e *GC3* (SETHI; KANTARDZIC; HU, 2016) fazem parte deste grupo.

Monitoramento de distribuição multivariada Monitoram diretamente a distribuição dos dados, considerando cada atributo. Este monitoramento é feito através de subconjuntos dos dados. Um subconjunto de treinamento tem sua distribuição sumariada e armazenada, para ser utilizada como referência. A distribuição referência é comparada à distribuição do subconjunto atual e, havendo diferenças significativas, a mudança de conceito é sinalizada. Os algoritmos *CoC* (Lee; Magoulès, 2012), *HDDDM* (Ditzler; Polikar, 2011), *PCA-detect* (KUNCHEVA, 2008) são representantes deste grupo.

Monitoramento dependente de modelo As técnicas elencadas nos grupos anteriores monitoram desvios na distribuição dos dados para indicar mudanças de conceito. Essencialmente, esses métodos assumem que alterações na distribuição $P(X)$ implicarão mudanças na performance do classificador $p(y|X)$. Apesar de permitir a aplicação de qualquer tipo de classificador, essa presunção leva a uma maior quantidade de falsos positivos. As técnicas dependentes de modelo, por sua vez,

restringem-se aos classificadores probabilísticos, o que permite realizar a detecção de mudanças de conceito através do monitoramento das probabilidades a posteriori (ZLIOBAITE, 2010). A utilização das probabilidades a posteriori diminui a incidência de falsos positivos e torna o processo computacionalmente eficiente, pois apenas um único fluxo univariado de valores é observado. Os métodos *A-distance* (DREDZE; OATES; PIATKO, 2010), *CDBD* (LINDSTROM; NAMEE; DELANY, 2013) e *Margin* (DRIES; RÜCKERT, 2009) participam deste grupo.

Por fim, a Tabela 2.2 sumariza as categorias, os grupos e as respectivas técnicas mencionadas nesta seção.

Algoritmos Explícitos/Supervisionados	Métodos Baseados em Análise Sequencial	Cumulative Sum (CUSUM) PageHinkley (PH) (PAGE, 1954) Geometric Moving Average (GMA) (ROBERTS, 2000)
	Abordagens baseadas em Estatística	Drift Detection Method (DDM) (GAMA et al., 2004) Early Drift Detection Method (EDDM) (BAENA-GARCÍA et al., 2006) Exponentially Weighted Moving Average (EWMA) (ROSS et al., 2012) Reactive Drift Detection Method (RDDM) (BARROS et al., 2017)
	Métodos baseados em Janelas	Adaptive Windowing (ADWIN) (BIFET; GAVALDÀ, 2007) SeqDrift (PEARS; SAKTHITHASAN; KOH, 2014) HDDMA/HDDMW (BLANCO et al., 2015)
Algoritmos Implícitos/Não Supervisionados	Detecção de Novidade / Métodos de Agrupamento	OLINDDA (SPINOSA; CARVALHO; GAMA, 2007) MINAS (FARIA; GAMA; CARVALHO, 2013) Woo (RYU et al., 2012) DETECTNOD (Hayat; Hashemi, 2010) ECSMiner (MASUD et al., 2011) GC3 (SETHI; KANTARDZIC; HU, 2016)
	Monitoramento de distribuição multivariada	CoC (Lee; Magoulès, 2012) HDDDM (Ditzler; Polikar, 2011) PCA-detect (KUNCHEVA, 2008)
	Monitoramento dependente de modelo	A-distance (DREDZE; OATES; PIATKO, 2010) CDBD (LINDSTROM; NAMEE; DELANY, 2013) Margin (DRIES; RÜCKERT, 2009)

Tabela 2.2 Sumário - Abordagens de detecção (SETHI; KANTARDZIC, 2017)

O algoritmo desenvolvido neste projeto de mestrado enquadra-se na categoria de algoritmos implícitos ou não supervisionados, mais especificamente no grupo *Detecção de Novidades / Métodos de Agrupamento*. Na próxima seção, abordaremos as ferramentas utilizadas para implementação da técnica e sua validação.

2.3.3 Ferramentas

Nesta seção, os frameworks *Massive Online Analysis* (MOA) e *Tornado* serão apresentados. Estes frameworks possibilitam a implementação e a análise - perante o estado da arte - de algoritmos para detecção de mudança de conceito. Ambos permitem a avaliação entre técnicas e a utilização de diferentes *datasets*.

2.3.4 MOA

O *MOA – Massive Online Analysis*¹ é, atualmente, o principal framework para mineração de dados em fluxos contínuos. O projeto é de código-aberto² e apresenta uma comunidade bastante ativa e crescente (BIFET et al., 2010). A aplicação é composta por uma ampla coleção de algoritmos da área de aprendizado de máquina: classificação, regressão, agrupamento, busca por padrões, detecção de *outliers*, detecção de mudanças de conceito e sistemas de recomendação. Além de conter ferramentas para avaliação destes. Apresenta relação com o projeto WEKA (HALL et al., 2009), sendo também desenvolvido em Java, o que permite a sua execução nos principais sistemas operacionais.

O MOA divide suas funcionalidades em tarefas (*tasks*). As principais tarefas incluem: produção de fluxos de dados, treino de classificadores, aplicação de algoritmos de agrupamento, análise de algoritmos para detecção de *outliers* e de *concept drift*, dentre outras. As tarefas podem ser executadas a partir da interface gráfica (GUI) ou por linha de comando. A tela principal da aplicação é demonstrada na Figura 2.3. Através da interface gráfica é possível executar múltiplas tarefas de forma concorrente, controlar suas execuções e visualizar os resultados parciais.

¹<https://moa.cms.waikato.ac.nz/>

²<https://github.com/Waikato/moa>

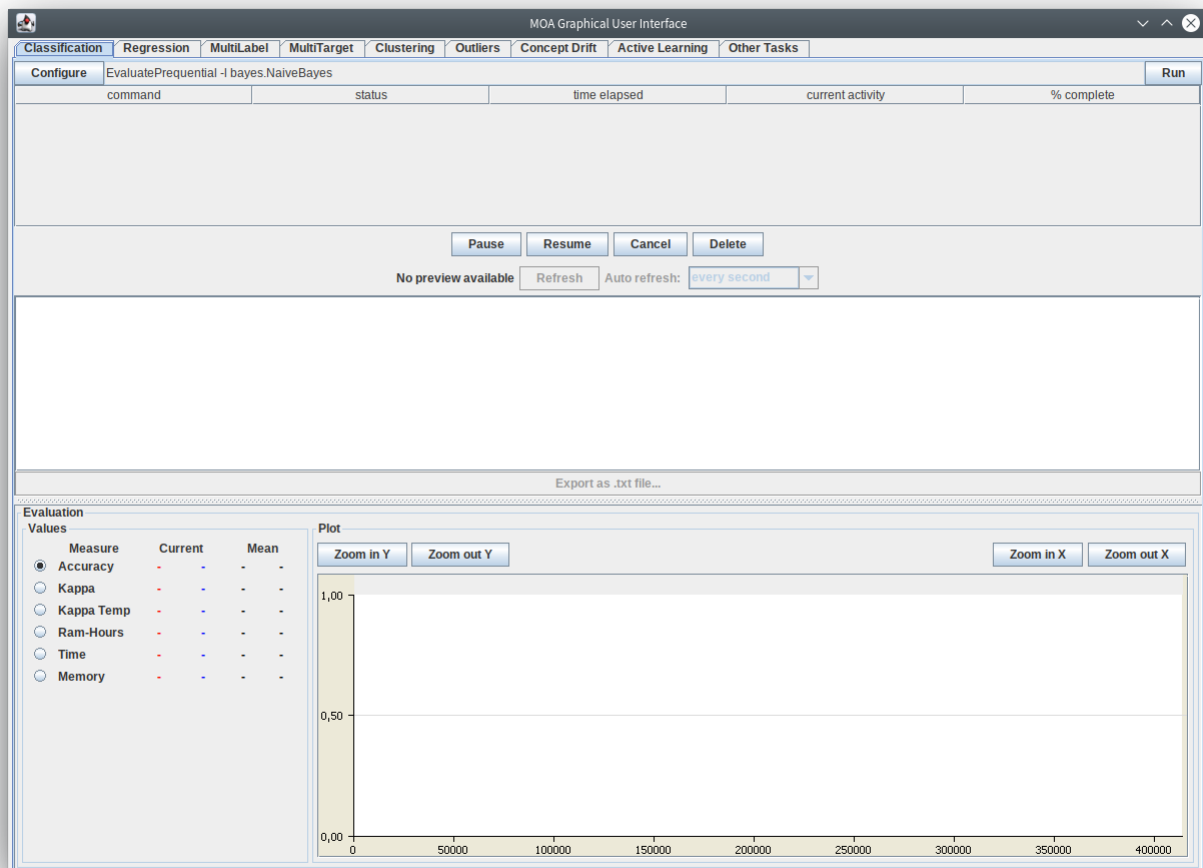


Figura 2.3 MOA - Tela Inicial

A aplicação é capaz de ler arquivos em formato *ARFF*, populares por serem utilizados no projeto WEKA (HALL et al., 2009). A ferramenta também permite a produção de fluxos de dados dinamicamente, através de geradores. Alguns dos geradores de fluxo disponíveis no MOA são: *Random Trees* (DOMINGOS; HULTEN, 2000) *SEA* (STREET; KIM, 2001), *STAGGER* (SCHLIMMER; GRANGER, 1986), *Rotating Hyperplane* (WANG et al., 2003), *Random RBF*, *LED* (GAMA; ROCHA; MEDAS, 2003), *Waveform* (GAMA; ROCHA; MEDAS, 2003), e *Function* (JIN; AGRAWAL, 2003).

Outra característica interessante do framework é a possibilidade de adicionar mudanças de conceito a fluxos estacionários existentes. Isto é feito através de uma função sigmóide, que modela o evento de mudança de conceito como uma combinação balanceada de duas distribuições homogêneas, que caracterizam os conceitos alvo antes e depois da mudança (BIFET; KIRKBY, 2009). Além destes conceitos, o usuário também pode definir o momento da mudança e a sua duração (BIFET et al., 2010).

Os principais métodos para detecção de mudança de conceito propostos na literatura

estão disponíveis no MOA. O framework também permite a utilização de classificadores do WEKA (HALL et al., 2009) combinados aos detectores. A janela para configuração de um detector é demonstrada na Figura 2.4.

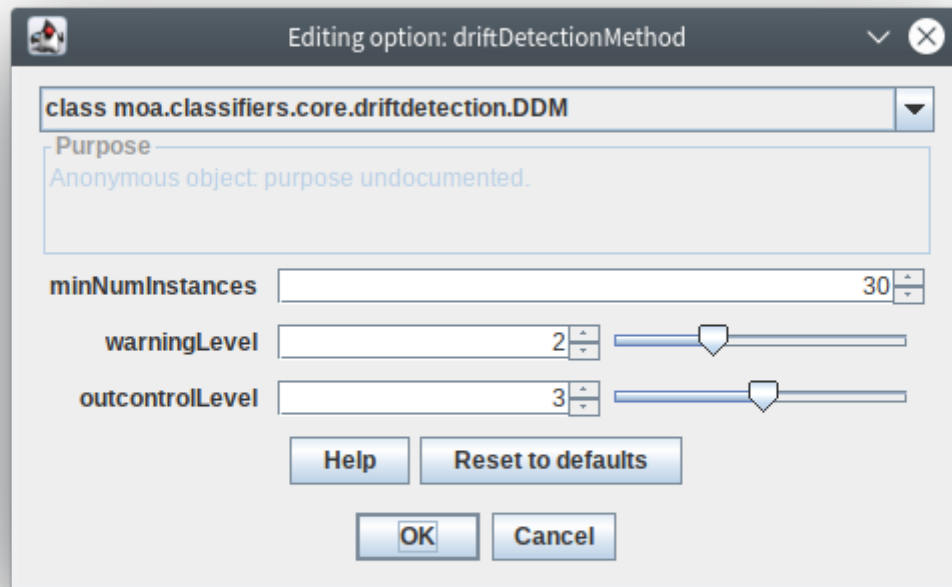


Figura 2.4 MOA - Configuração detector

A arquitetura do framework é modular, o que permite aos usuários implementar novas tarefas com pouco esforço. Por exemplo, para criar um novo detector, basta estender a classe abstrata `moa.classifiers.core.driftdetection.AbstractChangeDetector` e implementar o algoritmo desejado. A janela de configuração para o detector (similar a 2.4) é criada dinamicamente, a partir dos atributos da classe.

O MOA dispõe de diversas classes para avaliação de técnicas de aprendizado de máquina. Para este trabalho, destacam-se as classes `DriftDetectionMethodClassifier` e `BasicConceptDriftPerformanceEvaluator`, que realizam a análise de algoritmos para detecção de mudança de conceito. A classe `DriftDetectionMethodClassifier` permite avaliar técnicas de detecção que encapsulam um classificador. Por sua vez, a classe `BasicConceptDriftPerformanceEvaluator` avalia a performance das técnicas de detecção diretamente, sem a necessidade de um classificador. Estes avaliadores e os seus indicadores serão detalhados juntamente com os resultados dos experimentos iniciais, na

Seção 4.

Neste projeto de mestrado foram implementados novos detectores para o MOA e as duas técnicas de validação foram utilizadas na análise dos experimentos.

2.3.5 Tornado

O Tornado é, assim como o MOA, um framework para mineração de dados para fluxos contínuos (PESARANGHADER, 2018). O projeto é desenvolvido na linguagem Python e seu código está disponível³. O framework diferencia-se do MOA por apresentar um cenário de avaliação específico: analisar a execução, em paralelo, de pares (classificador, detector de mudança de conceito), para identificar o par ótimo ao longo do tempo, em relação ao fluxo de dados.

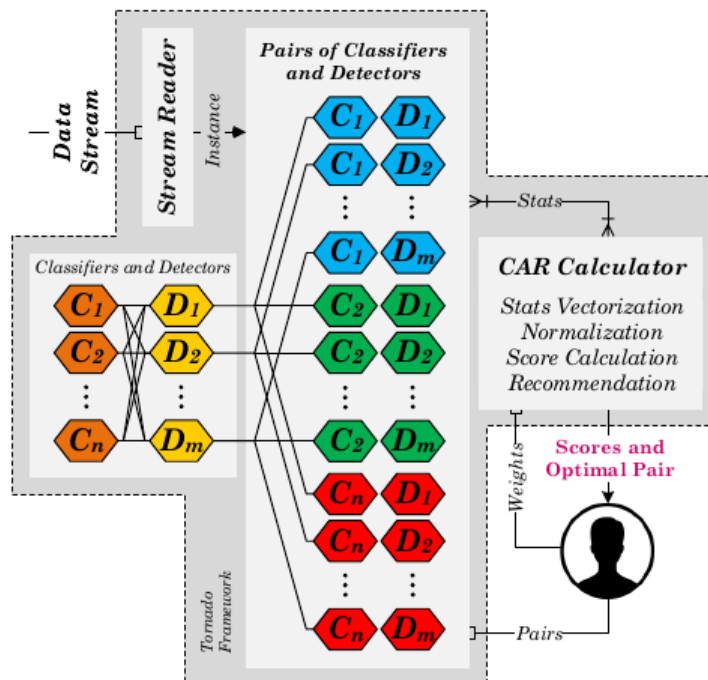


Figura 2.5 Framework Tornado (PESARANGHADER, 2018).

Conforme apresentado na Figura 2.5, os principais componentes do framework são: *Stream Reader*, *Classifiers*, *Detectors*, *Classifier-Detector Pairs* e *CAR Calculator*. A entrada de dados é composta por um fluxo (*Stream*), uma lista de pares (classificador, detector) e um vetor com pesos. O Tornado utiliza a abordagem de validação *prequential*, na qual as instâncias são testadas e depois utilizadas no aprendizado (GAMA et al., 2014).

O componente *Stream Reader* lê instâncias a partir do fluxo e as envia, uma a uma, para o par (classificador, detector), para construção do modelo. Os modelos são construídos de forma incremental. Por seguir a abordagem *prequential*, cada instância é

³<https://github.com/alipsgh/tornado>

primeiramente utilizada para testes e depois como treinamento. Simultaneamente, os classificadores enviam suas estatísticas (taxas de erro ou resultados das predições) aos detectores, para que a mudança de conceito possa ser sinalizada. Por fim, o componente *CAR Calculator* calcula uma pontuação para cada par, considerando taxas de erro, atraso para detecção da mudança de conceito, falsos positivos, falsos negativos, quantidade de memória utilizada e tempo de execução (PESARANGHADER, 2018). O framework apresenta ao usuário o par com maior pontuação. Este par, contudo, pode mudar devido ao aprendizado incremental ou à mudança de conceito. A Figura 2.6 apresenta um exemplo de resultado obtido através do framework.

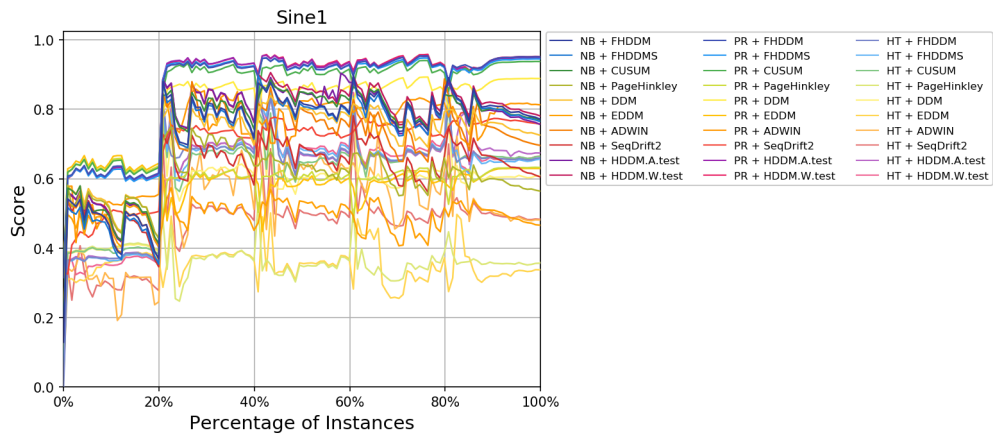


Figura 2.6 Tornado - Resultado para múltiplos pares (PESARANGHADER, 2018)

Neste trabalho de pesquisa, de forma similar ao MOA, a técnica proposta foi implementada no framework Tornado. O framework foi utilizado na validação dos experimentos, permitindo verificar o comportamento do detector em conjunto com um classificador, ao longo do tempo. Na seção seguinte, detalharemos conceitos sobre as Redes de Função de Base Radial, técnica que serviu de base para o algoritmo proposto nesta pesquisa.

2.4 REDES DE FUNÇÃO DE BASE RADIAL

As Redes de Função de Base Radial (RBF *networks*) são aproximadoras universais de funções. As RBFs têm como principal diferença em relação às outras redes neurais, a forma de ativação. Nessas redes, este processo é feito através do cálculo da distância entre os vetores de entrada e os centros estabelecidos (BRAGA; CARVALHO; LUDERMIR, 2007).

Em sua forma básica, a arquitetura de uma rede do tipo RBF é composta por três camadas: uma camada de entrada, uma intermediária e uma de saída (ROJAS, 1996). A camada intermediária (oculta) de uma RBF utiliza funções de base radiais para agrupar os dados de entrada em clusters, transformando padrões de entrada não linearmente separáveis em um conjunto de saídas linearmente separáveis. A camada de saída classifica os padrões recebidos através da combinação linear das saídas das funções (BRAGA;

CARVALHO; LUDERMIR, 2007). A Figura 2.7 demonstra essa arquitetura.

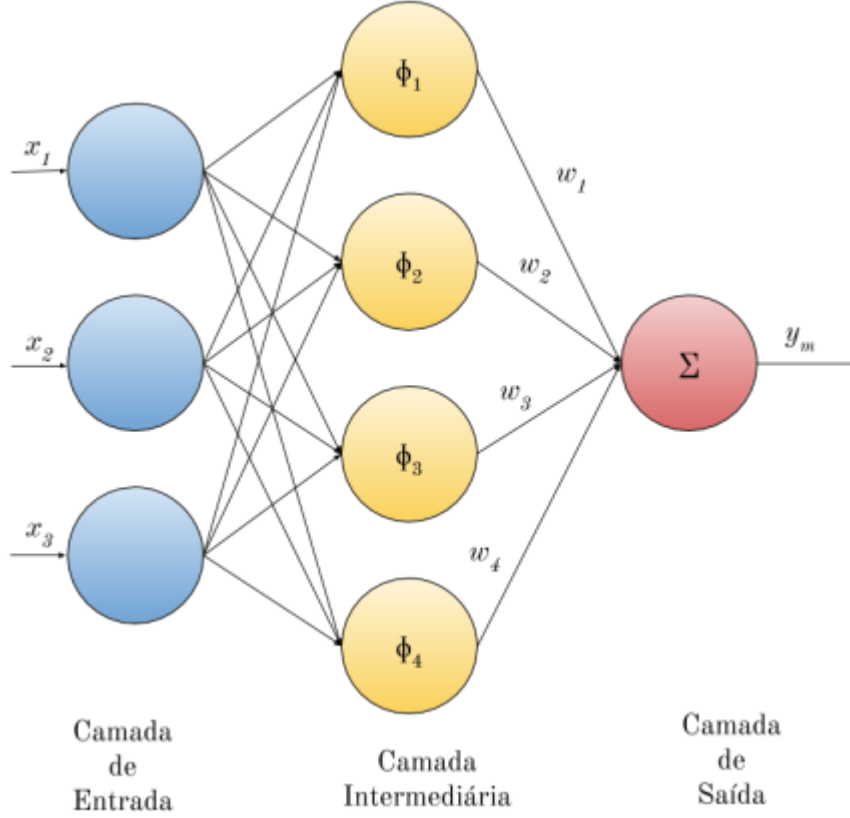


Figura 2.7 Arquitetura RBF

Na literatura, a função de base radial Gaussiana (Eq. 3.1) é uma das mais utilizadas para camada intermediária.

$$f(x) = e^{-\frac{v^2}{2\sigma^2}} \quad (2.4)$$

Na equação 3.1, $v = \|x - t_i\|$ é dado pela distância euclidiana, onde x é o valor de entrada da rede, enquanto t_i e σ correspondem respectivamente ao centro e a largura da função radial. Dessa maneira, a resolução de um determinado problema por uma rede do tipo RBF consiste na resolução das funções 2.5 e 2.6 obtendo o sistema 2.7.

$$f(x) = \sum_{i=1}^N w_{ij} \varphi(\|\mathbf{x} - \mathbf{t}_i\|) \quad (2.5)$$

$$y_i = \sum_{i=1}^N w_{ij} \phi(\|\mathbf{x} - \mathbf{t}_i\|) + w_{j0} \quad (2.6)$$

$$\begin{bmatrix} \varphi(\|x_1 - t_1\|) & \varphi(\|x_1 - t_2\|) & \dots & \varphi(\|x_1 - t_N\|) \\ \varphi(\|x_2 - t_1\|) & \varphi(\|x_2 - t_2\|) & \dots & \varphi(\|x_2 - t_N\|) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \varphi(\|x_N - t_1\|) & \varphi(\|x_N - t_2\|) & \dots & \varphi(\|x_N - t_N\|) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_N \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

onde w_{ij} são os pesos de cada conexão, ϕ é a matriz de interpolação originada do conjunto de N funções de base radial aplicadas nas entradas x e dos seus respectivos centros t_i , w_{j_0} representa o bias, $\varphi(\|x - t_i\|)$ é o conjunto de N funções de base radial, $\|\dots\|$ é a norma euclidiana e y são as saídas geradas pela rede.

As camadas inicial e intermediária e suas propriedades de agrupamento são utilizadas como base para o algoritmo de detecção de mudança de conceito proposto neste projeto de mestrado.

2.5 TRABALHOS RELACIONADOS

Além das referências básicas apresentadas nesta seção, foi realizada uma pesquisa na literatura visando identificar trabalhos relacionados que propõem a identificação de mudanças de conceito em FCDs através da aplicação de redes RBF, ou técnicas similares.

Em (JIANPING; VENKATESWARLU, 2002) redes RBF com funções Gaussianas são utilizadas para detecção de novidades. Os centros e as matrizes de covariância são definidas através do agrupamento via *k-means* juntamente com a aplicação de heurísticas de largura ou do algoritmo *EM*. O método proposto não atua sobre fluxos de dados e constitui uma rede RBF completa e estática ao longo do tempo.

Roberts e Penny (Roberts; Penny; Pillot, 1996) propõem um método para detecção de novidade baseado no monitoramento das taxas de erro e confiança, utilizando um comitê de redes RBF. Cada rede é inicializada com um vetor de pesos diferente. A taxa de erro final é calculada a partir da matriz de covariância de erro do comitê criado. Esta abordagem foi testada na classificação de pacientes com problemas de tremor muscular.

As RBFs também foram aplicadas para detecção de anomalias (BAZARGANI; NAMMEE, 2018). Esta pesquisa realiza modificações às funções de perda (*loss*) das redes, fazendo com que a rede atuem como classificador de classe única, permitindo a identificação de exemplos divergentes do padrão conhecido.

Este projeto de mestrado se diferencia dos trabalhos mencionados por utilizar apenas as camadas de entrada e intermediária das redes RBF para detecção de mudanças de conceito. Além disso, etapas como a escolha dos centros e o cálculo do tamanho do raio são realizadas de forma dinâmica. Estas características viabilizam a aplicação da técnica em fluxos contínuos de dados.

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foram apresentados alguns conceitos básicos que serão utilizados como base para a execução deste trabalho. Foram descritos os conceitos de Fluxos Contínuos de Dados e suas aplicações em Aprendizado de Máquina, Mudança de Conceito, técnicas para Detecção de Mudança de Conceito, principais ferramentas da área e Redes de Função

de Base Radial. Por fim, foram discutidos trabalhos que aplicam redes RBF para detecção de padrões divergentes (novidades, *outliers*, etc).

PLANO DE PESQUISA

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo descreve como a pesquisa proposta neste mestrado será desenvolvida para permitir que Redes de Função de Base Radial sejam aplicadas para detecção de mudanças de conceito em Fluxos Contínuos de Dados. Espera-se que com a utilização das camadas inicial e intermediária das redes RBF e suas propriedades de agrupamento, seja possível detectar mudanças de conceito de forma eficiente e sem requerer a manutenção de estados prévios. A seguir, são apresentados detalhes sobre cada etapa do desenvolvimento do projeto.

3.2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O fenômeno Mudança de Conceito pode ser definido a partir do teorema de Bayes para probabilidades posteriores. Seja X um vetor de entrada e Y a classe alvo, a decisão de classificar X como Y dependerá da probabilidade posterior da classe, dada por:

$$P(Y|X) = \frac{P(Y)P(X|Y)}{P(X)} \quad (3.1)$$

onde $P(Y|X)$ é a probabilidade de Y para a entrada X , $P(X|Y)$ é a distribuição condicional da classe para as variáveis da entrada X e $P(Y)$ é a probabilidade a priori da classe e $P(X)$ é a probabilidade a priori do vetor de entrada X .

Na presença de mudança de conceito, a probabilidade posterior $P(Y|X)$ varia ao longo do tempo, isto é $P_{t_0}(Y|X)$ pode ser diferente de $P_{t_1}(Y|X)$. Em outras palavras, os limites de decisão do classificador se alteram ao longo do tempo.

Considerando que redes de função de base radial apresentam em suas camadas inicial e intermediária características de agrupamento, este projeto de mestrado visa comprovar a hipótese que redes RBF podem detectar mudanças de conceito em fluxos contínuos de dados, em tempo de execução, sem requerer a manutenção de estados prévios, de forma ágil e com precisão satisfatória.

Para exemplificar a execução desta proposta de mestrado, considere ...

3.3 ATIVIDADES DE PESQUISA

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

EXPERIMENTOS INICIAIS

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

4.2 CONFIGURAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

4.3 MÉTODO DE PETTITT

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut

porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

4.4 REDES DE FUNÇÃO DE BASE RADIAL

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACKERMANN, M. R. et al. Streamkm++: A clustering algorithm for data streams. *J. Exp. Algorithmics*, ACM, New York, NY, USA, v. 17, p. 2.4:2.1–2.4:2.30, maio 2012. ISSN 1084-6654. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2133803.2184450>.
- AGGARWAL, C. C. *Data Streams: Models and Algorithms (Advances in Database Systems)*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. ISBN 0387287590.
- AGGARWAL, C. C. et al. A framework for clustering evolving data streams. In: *Proceedings of the 29th International Conference on Very Large Data Bases - Volume 29*. VLDB Endowment, 2003. (VLDB '03), p. 81–92. ISBN 0-12-722442-4. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1315451.1315460>.
- AGGARWAL, C. C. et al. On demand classification of data streams. In: *Proceedings of the Tenth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. New York, NY, USA: ACM, 2004. (KDD '04), p. 503–508. ISBN 1-58113-888-1. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1014052.1014110>.
- AMINIKHANGHAHI, S.; COOK, D. J. A survey of methods for time series change point detection. *Knowl. Inf. Syst.*, Springer-Verlag New York, Inc., New York, NY, USA, v. 51, n. 2, p. 339–367, maio 2017. ISSN 0219-1377. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10115-016-0987-z>.
- ANKERST, M. et al. Optics: Ordering points to identify the clustering structure. *SIGMOD Rec.*, ACM, New York, NY, USA, v. 28, n. 2, p. 49–60, jun. 1999. ISSN 0163-5808. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/304181.304187>.
- Bach, S. H.; Maloof, M. A. Paired learners for concept drift. In: *2008 Eighth IEEE International Conference on Data Mining*. [S.l.: s.n.], 2008. p. 23–32. ISSN 1550-4786.
- BAENA-GARCÍA, M. et al. Early drift detection method. In: *In Fourth International Workshop on Knowledge Discovery from Data Streams*. [S.l.: s.n.], 2006.
- BARBARÁ, D. Requirements for clustering data streams. *SIGKDD Explor. Newsl.*, ACM, New York, NY, USA, v. 3, n. 2, p. 23–27, jan. 2002. ISSN 1931-0145. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/507515.507519>.
- BARROS, R. S. M. de et al. RDDM: reactive drift detection method. *Expert Syst. Appl.*, v. 90, p. 344–355, 2017.
- BASSEVILLE, M.; NIKIFOROV, I. V. *Detection of Abrupt Changes: Theory and Application*. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall, Inc., 1993. ISBN 0-13-126780-9.

BAZARGANI, M. H.; NAMEE, B. M. Radial basis function data descriptor (rbfdd) network : An anomaly detection approach. In: . [S.l.: s.n.], 2018.

BIFET, A. Adaptive learning and mining for data streams and frequent patterns. *SIGKDD Explor. Newsl.*, ACM, New York, NY, USA, v. 11, n. 1, p. 55–56, nov. 2009. ISSN 1931-0145. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1656274.1656287>.

BIFET, A.; GAVALDÀ, R. Learning from time-changing data with adaptive windowing. In: *SDM*. SIAM, 2007. p. 443–448. ISBN 978-1-61197-277-1. Disponível em: <http://dblp.uni-trier.de/db/conf/sdm/sdm2007.html\#BifetG07>.

BIFET, A. et al. Moa: Massive online analysis. *J. Mach. Learn. Res.*, JMLR.org, v. 11, p. 1601–1604, ago. 2010. ISSN 1532-4435. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1756006.1859903>.

BIFET, A.; KIRKBY, R. Data stream mining a practical approach. Citeseer, 2009.

BIFET, A. et al. Efficient data stream classification via probabilistic adaptive windows. In: *Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on Applied Computing*. New York, NY, USA: ACM, 2013. (SAC '13), p. 801–806. ISBN 978-1-4503-1656-9. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2480362.2480516>.

BLANCO, I. I. F. et al. Online and non-parametric drift detection methods based on hoeffding's bounds. *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.*, v. 27, n. 3, p. 810–823, 2015.

BLUM, A. Empirical support for winnow and weighted-majority algorithms: Results on a calendar scheduling domain. *Machine Learning*, v. 26, n. 1, p. 5–23, Jan 1997. ISSN 1573-0565. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1007335615132>.

BRAGA, A.; CARVALHO, A. C.; LUDERMIR, T. B. *Redes Neurais Artificiais: Teoria e aplicações*. LTC Editora, 2007. ISBN 9788521615644. Disponível em: <http://www.worldcat.org/isbn/9788521615644>.

BREIMAN, L. et al. *Classification and Regression Trees*. Monterey, CA: Wadsworth and Brooks, 1984.

BRZEZIŃSKI, D.; STEFANOWSKI, J. Accuracy updated ensemble for data streams with concept drift. In: CORCHADO, E.; KURZYŃSKI, M.; WOŹNIAK, M. (Ed.). *Hybrid Artificial Intelligent Systems*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011. p. 155–163. ISBN 978-3-642-21222-2.

CAO, F. et al. Density-based clustering over an evolving data stream with noise. In: GHOSH, J. et al. (Ed.). *SDM*. SIAM, 2006. p. 328–339. ISBN 978-1-61197-276-4. Disponível em: <http://dblp.uni-trier.de/db/conf/sdm/sdm2006.html\#CaoEQZ06>.

CHANDOLA, V.; BANERJEE, A.; KUMAR, V. Anomaly detection: A survey. *ACM Comput. Surv.*, ACM, New York, NY, USA, v. 41, n. 3, p. 15:1–15:58, jul. 2009. ISSN 0360-0300. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1541880.1541882>.

COHEN, J. et al. Mad skills: New analysis practices for big data. *Proc. VLDB Endow.*, VLDB Endowment, v. 2, n. 2, p. 1481–1492, ago. 2009. ISSN 2150-8097. Disponível em: <https://doi.org/10.14778/1687553.1687576>.

COSTA, F. da; RIOS, R.; MELLO, R. de. Using dynamical systems tools to detect concept drift in data streams. *Expert Syst. Appl.*, Pergamon Press, Inc., Tarrytown, NY, USA, v. 60, n. C, p. 39–50, out. 2016. ISSN 0957-4174. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.04.026>.

Ditzler, G.; Polikar, R. Hellinger distance based drift detection for nonstationary environments. In: *2011 IEEE Symposium on Computational Intelligence in Dynamic and Uncertain Environments (CIDUE)*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 41–48.

DOMINGOS, P.; HULTEN, G. Mining high-speed data streams. In: *Proceedings of the Sixth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. New York, NY, USA: ACM, 2000. (KDD '00), p. 71–80. ISBN 1-58113-233-6. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/347090.347107>.

DREDZE, M.; OATES, T.; PIATKO, C. We're not in kansas anymore: Detecting domain changes in streams. In: . [s.n.], 2010. p. 585–595. Cited By 13. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-80053285630&partnerID=40&md5=2eea89f635e2cbc0920069028e9f7746>.

DRIES, A.; RÜCKERT, U. Adaptive concept drift detection. *Statistical Analysis and Data Mining: The ASA Data Science Journal*, v. 2, n. 5-6, p. 311–327, 2009. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sam.10054>.

DUDA, R. O.; HART, P. E.; STORK, D. G. *Pattern Classification (2Nd Edition)*. New York, NY, USA: Wiley-Interscience, 2000. ISBN 0471056693.

ESTER, M. et al. A density-based algorithm for discovering clusters a density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. In: *Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. AAAI Press, 1996. (KDD'96), p. 226–231. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=3001460.3001507>.

FARIA, E. R.; GAMA, J. a.; CARVALHO, A. C. P. L. F. Novelty detection algorithm for data streams multi-class problems. In: *Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on Applied Computing*. New York, NY, USA: ACM, 2013. (SAC '13), p. 795–800. ISBN 978-1-4503-1656-9. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2480362.2480515>.

GAMA, J. *Knowledge Discovery from Data Streams*. 1st. ed. [S.l.]: Chapman & Hall/-CRC, 2010. ISBN 1439826110, 9781439826119.

GAMA, J. et al. Learning with drift detection. In: BAZZAN, A. L. C.; LABIDI, S. (Ed.). *SBIA*. Springer, 2004. (Lecture Notes in Computer Science, v. 3171), p. 286–295. ISBN 3-540-23237-0. Disponível em: <http://dblp.uni-trier.de/db/conf/sbia/sbia2004.html/#GamaMCR04>.

GAMA, J. a.; ROCHA, R.; MEDAS, P. Accurate decision trees for mining high-speed data streams. In: *Proceedings of the Ninth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. New York, NY, USA: ACM, 2003. (KDD '03), p. 523–528. ISBN 1-58113-737-0. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/956750.956813>.

GAMA, J. a. et al. A survey on concept drift adaptation. *ACM Comput. Surv.*, ACM, New York, NY, USA, v. 46, n. 4, p. 44:1–44:37, mar. 2014. ISSN 0360-0300. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2523813>.

GONÇALVES, P. M. et al. A comparative study on concept drift detectors. *Expert Systems with Applications*, v. 41, n. 18, p. 8144 – 8156, 2014. ISSN 0957-4174. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417414004175>.

HALL, M. et al. The weka data mining software: An update. *SIGKDD Explor. Newsl.*, ACM, New York, NY, USA, v. 11, n. 1, p. 10–18, nov. 2009. ISSN 1931-0145. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1656274.1656278>.

Hayat, M. Z.; Hashemi, M. R. A dct based approach for detecting novelty and concept drift in data streams. In: *2010 International Conference of Soft Computing and Pattern Recognition*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 373–378.

JAIN, A. K.; DUBES, R. C. *Algorithms for Clustering Data*. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall, Inc., 1988. ISBN 0-13-022278-X.

JIANPING, D.; VENKATESWARLU, R. Speaker recognition using radial basis function neural networks. In: ABRAHAM, A.; KÖPPEN, M. (Ed.). *Hybrid Information Systems*. Heidelberg: Physica-Verlag HD, 2002. p. 57–64. ISBN 978-3-7908-1782-9.

JIN, R.; AGRAWAL, G. Efficient decision tree construction on streaming data. In: *Proceedings of the Ninth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. New York, NY, USA: ACM, 2003. (KDD '03), p. 571–576. ISBN 1-58113-737-0. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/956750.956821>.

KATAKIS, I.; TSOUMAKAS, G.; VLAHAVAS, I. Tracking recurring contexts using ensemble classifiers: An application to email filtering. *Knowl. Inf. Syst.*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, v. 22, n. 3, p. 371–391, mar. 2010. ISSN 0219-1377. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10115-009-0206-2>.

KAUFMAN, L.; ROUSSEEUW, P. *Finding Groups in Data: an introduction to cluster analysis*. [S.l.]: Wiley, 1990.

KOLTER, J. Z.; MALOOF, M. A. Dynamic weighted majority: An ensemble method for drifting concepts. *J. Mach. Learn. Res.*, JMLR.org, v. 8, p. 2755–2790, dez. 2007. ISSN 1532-4435. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1314498.1390333>.

KOTSIANTIS, S. B. Supervised machine learning: A review of classification techniques. In: *Proceedings of the 2007 Conference on Emerging Artificial Intelligence Applications in Computer Engineering: Real Word AI Systems with Applications in eHealth, HCI, Information Retrieval and Pervasive Technologies*. Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands: IOS Press, 2007. p. 3–24. ISBN 978-1-58603-780-2. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1566770.1566773>.

KRANEN, P. et al. The clustree: Indexing micro-clusters for anytime stream mining. *Knowl. Inf. Syst.*, Springer-Verlag New York, Inc., New York, NY, USA, v. 29, n. 2, p. 249–272, nov. 2011. ISSN 0219-1377. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10115-010-0342-8>.

KUNCHEVA, L. Classifier ensembles for detecting concept change in streaming data: Overview and perspectives. *Proc. Eur. Conf. Artif. Intell.*, p. 5–10, 2008. Cited By 70.

Lee, J.; Magoulès, F. Detection of concept drift for learning from stream data. In: *2012 IEEE 14th International Conference on High Performance Computing and Communication 2012 IEEE 9th International Conference on Embedded Software and Systems*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 241–245.

Lee, Y. K.; Wang, L.; Ryu, K. H. A system architecture for monitoring sensor data stream. In: *7th IEEE International Conference on Computer and Information Technology (CIT 2007)*. [S.l.: s.n.], 2007. p. 1026–1031.

LINDSTROM, P.; NAMEE, B. M.; DELANY, S. J. Drift detection using uncertainty distribution divergence. *Evolving Systems*, v. 4, n. 1, p. 13–25, Mar 2013. ISSN 1868-6486. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12530-012-9061-6>.

LING, C.; LING-JUN, Z.; LI, T. Stream data classification using improved fisher discriminate analysis. *Journal of Computers*, 01 2009.

LLOYD, S. Least squares quantization in pcm. *IEEE Trans. Inf. Theor.*, IEEE Press, Piscataway, NJ, USA, v. 28, n. 2, p. 129–137, set. 2006. ISSN 0018-9448. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/TIT.1982.1056489>.

MASUD, M. et al. Classification and novel class detection in concept-drifting data streams under time constraints. *IEEE Trans. on Knowl. and Data Eng.*, IEEE Educational Activities Department, Piscataway, NJ, USA, v. 23, n. 6, p. 859–874, jun. 2011. ISSN 1041-4347. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/TKDE.2010.61>.

MINKU, L. L.; YAO, X. Ddd: A new ensemble approach for dealing with concept drift. *IEEE Trans. on Knowl. and Data Eng.*, IEEE Educational Activities Department, Piscataway, NJ, USA, v. 24, n. 4, p. 619–633, abr. 2012. ISSN 1041-4347. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/TKDE.2011.58>.

MITCHELL, T. M. *Machine Learning*. 1. ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, Inc., 1997. ISBN 0070428077, 9780070428072.

NISHIDA, K.; YAMAUCHI, K. Detecting concept drift using statistical testing. In: CORRUBLE, V.; TAKEDA, M.; SUZUKI, E. (Ed.). *Discovery Science*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007. p. 264–269. ISBN 978-3-540-75488-6.

PAGE, E. S. Continuous Inspection Schemes. *Biometrika*, Biometrika Trust, v. 41, n. 1/2, p. 100–115, 1954. ISSN 00063444. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2307/2333009>.

PEARS, R.; SAKTHITHASAN, S.; KOH, Y. S. Detecting concept change in dynamic data streams - A sequential approach based on reservoir sampling. *Machine Learning*, v. 97, n. 3, p. 259–293, 2014.

PESARANGHADER, A. *A Reservoir of Adaptive Algorithms for Online Learning from Evolving Data Streams*. Université d'Ottawa / University of Ottawa, 2018. Disponível em: <http://ruor.uottawa.ca/handle/10393/38190>.

Roberts, S. J.; Penny, W.; Pillot, D. Novelty, confidence and errors in connectionist systems. In: *IEE Colloquium on Intelligent Sensors (Digest No: 1996/261)*. [S.l.: s.n.], 1996. p. 10/1–10/6.

ROBERTS, S. W. Control chart tests based on geometric moving averages. *Technometrics*, American Society for Quality Control and American Statistical Association, Alexandria, Va, USA, v. 42, n. 1, p. 97–101, fev. 2000. ISSN 0040-1706. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2307/1271439>.

ROJAS, R. *Neural Networks: A Systematic Introduction*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1996. ISBN 3-540-60505-3.

ROSS, G. J. et al. Exponentially weighted moving average charts for detecting concept drift. *Pattern Recogn. Lett.*, Elsevier Science Inc., New York, NY, USA, v. 33, n. 2, p. 191–198, jan. 2012. ISSN 0167-8655. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.patrec.2011.08.019>.

RYU, J. W. et al. An efficient method of building an ensemble of classifiers in streaming data. In: SRINIVASA, S.; BHATNAGAR, V. (Ed.). *Big Data Analytics*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012. p. 122–133. ISBN 978-3-642-35542-4.

SANTOS, S. G. T. de C. et al. Speeding up recovery from concept drifts. In: *Proceedings of the 2014th European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases - Volume Part III*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2014. (ECMLPKDD'14), p. 179–194. ISBN 978-3-662-44844-1. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-662-44845-8_12.

SCHLIMMER, J. C.; GRANGER, R. H. Incremental learning from noisy data. *Machine Learning*, v. 1, n. 3, p. 317–354, Sep 1986. ISSN 1573-0565. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF00116895>.

SEBASTIÃO, R. et al. Monitoring incremental histogram distribution for change detection in data streams. In: GABER, M. M. et al. (Ed.). *Knowledge Discovery from Sensor Data*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010. p. 25–42. ISBN 978-3-642-12519-5.

SETHI, T. S.; KANTARDZIC, M. On the reliable detection of concept drift from streaming unlabeled data. *Expert Syst. Appl.*, Pergamon Press, Inc., Tarrytown, NY, USA, v. 82, n. C, p. 77–99, out. 2017. ISSN 0957-4174. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.04.008>.

SETHI, T. S.; KANTARDZIC, M.; HU, H. A grid density based framework for classifying streaming data in the presence of concept drift. *Journal of Intelligent Information Systems*, v. 46, n. 1, p. 179–211, Feb 2016.

SMAILOVIĆ, J. et al. Stream-based active learning for sentiment analysis in the financial domain. *Inf. Sci.*, Elsevier Science Inc., New York, NY, USA, v. 285, n. C, p. 181–203, nov. 2014. ISSN 0020-0255. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2014.04.034>.

SOBHANI, P.; BEIGY, H. New drift detection method for data streams. In: *Proceedings of the Second International Conference on Adaptive and Intelligent Systems*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. (ICAIS'11), p. 88–97. ISBN 978-3-642-23856-7. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2045295.2045309>.

SPINOSA, E. J.; CARVALHO, A. P. de Leon F. de; GAMA, J. a. Olinda: A cluster-based approach for detecting novelty and concept drift in data streams. In: *Proceedings of the 2007 ACM Symposium on Applied Computing*. New York, NY, USA: ACM, 2007. (SAC '07), p. 448–452. ISBN 1-59593-480-4. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1244002.1244107>.

STREET, W. N.; KIM, Y. A streaming ensemble algorithm (sea) for large-scale classification. In: *Proceedings of the Seventh ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. New York, NY, USA: ACM, 2001. (KDD '01), p. 377–382. ISBN 1-58113-391-X. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/502512.502568>.

VAPNIK, V. N. *Statistical Learning Theory*. [S.l.]: Wiley-Interscience, 1998.

WANG, H. et al. Mining concept-drifting data streams using ensemble classifiers. In: *Proceedings of the Ninth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. New York, NY, USA: ACM, 2003. (KDD '03), p. 226–235. ISBN 1-58113-737-0. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/956750.956778>.

ZLIOBAITE, I. Learning under concept drift: an overview. *CoRR*, abs/1010.4784, 2010. Disponível em: <http://arxiv.org/abs/1010.4784>.

ZWOLENSKI, M.; WEATHERILL, L. The digital universe rich data and the increasing value of the internet of things. *Australian Journal of Telecommunications and the Digital Economy*, v. 2, 10 2014.