

IA para Mineração de Processos

Reprodução, Comparação e Expansão de Modelos Preditivos



Lyan Eduardo Sakuno Rodrigues



UFG

UNIVERSIDADE
FEDERAL DE GOIÁS



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG)
INSTITUTO DE INFORMÁTICA (INF)

LYAN EDUARDO SAKUNO RODRIGUES

IA para Mineração de Processos

Reprodução, Comparação e Expansão de Modelos Preditivos

Goiânia
2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE INFORMÁTICA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio do Repositório Institucional (RI/UFG), regulamentado pela Resolução CEPEC no 1240/2014, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei no 9.610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo dos Trabalhos de Conclusão dos Cursos de Graduação disponibilizado no RI/UFG é de responsabilidade exclusiva dos autores. Ao encaminhar(em) o produto final, o(s) autor(a)(es)(as) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (TCCG)

Nome(s) completo(s) do(a)(s) autor(a)(es)(as): LYAN EDUARDO SAKUNO RODRIGUES

Título do trabalho: IA para Mineração de Processos

Reprodução, Comparação e Expansão de Modelos Preditivos

2. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador) Concorda com a liberação total do documento [X] SIM [] NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante: a) consulta ao(à)(s) autor(a)(es)(as) e ao(à) orientador(a); b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo do TCCG. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro.

Obs.: Este termo deve ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Lyan Eduardo Sakuno Rodrigues, Usuário Externo**, em 04/02/2026, às 17:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fernando Marques Federson, Professor do Magistério Superior**, em 13/03/2026, às 11:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5956712** e o código CRC **24D5D97D**.

Referência: Processo nº 23070.005518/2026-59

SEI nº 5956712

LYAN EDUARDO SAKUNO RODRIGUES

IA para Mineração de Processos

Reprodução, Comparação e Expansão de Modelos Preditivos

Relatório final de Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Universidade Federal de Goiás, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Inteligência Artificial.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Marques Federson

Goiânia

2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

RODRIGUES, LYAN EDUARDO SAKUNO
IA para Mineração de Processos [manuscrito]: Reprodução, Comparação e Expansão de Modelos Preditivos / LYAN EDUARDO SAKUNO RODRIGUES. - 2025.

36 f.: 2025

Orientador: Prof. Dr. Fernando Marques Federson
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de Informática (INF), Inteligência Artificial, Goiânia, 2025.

1. Inteligência Artificial. 2. Mineração de Processos. 3. Predição.

I. Federson, Fernando Marques , orient. II. Título.

CDU 004

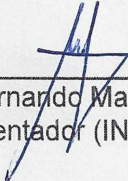
LYAN EDUARDO SAKUNO RODRIGUES

IA para Mineração de Processos

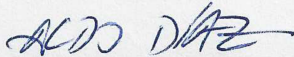
Reprodução, Comparação e Expansão de Modelos Preditivos

Relatório final de Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Universidade Federal de Goiás, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Inteligência Artificial.

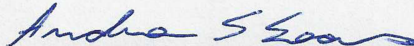
Data da Aprovação: 09 de dezembro de 2025.




Prof. Dr. Fernando Marques Federson
Orientador (INF-UFG)



Prof. Dr. Aldo André Díaz Salazar
Coordenador de TCC do BIA (INF-UFG)



Prof. Dr. Anderson da Silva Soares
Coordenador do BIA (INF-UFG)



Prof. Dr. Gedric Luiz de Carvalho
(INF-UFG)

LYAN EDUARDO SAKUNO RODRIGUES

IA para Mineração de Processos

Reprodução, Comparação e Expansão de Modelos Preditivos

RESUMO

Este Relatório de Conclusão de Curso tem como objetivo reunir os resultados da minha jornada para me tornar um especialista em **Inteligência Artificial aplicada ao BPM**. Uma ilustração e sua narrativa descrevem os períodos de trabalho. Os Apêndices contêm os Termos de Aceite de Entrega e os resultados obtidos durante cada período de trabalho.

Palavras-chave: Inteligência artificial; Mineração de processos; Predição.

ABSTRACT

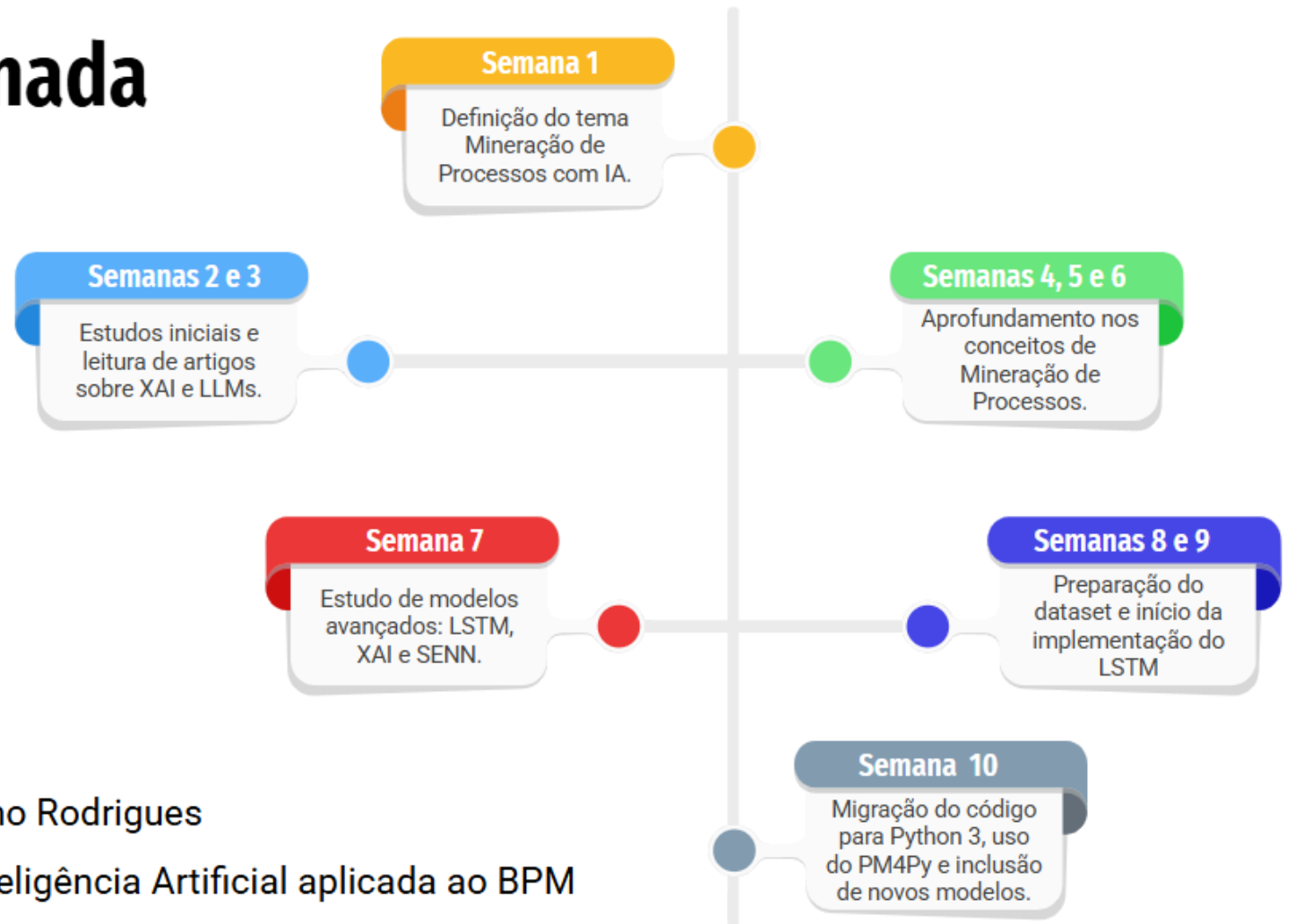
This Course Completion Report aims to bring together the results of my journey to become an expert in **Artificial Intelligence applied to BPM**. An illustration and its narrative describe the work periods. The Appendices contain the Delivery Acceptance Terms and the results obtained during each work period.

Keywords: Artificial intelligence; Process mining; Prediction.

Goiânia

2025

Minha Jornada



Lyan Eduardo Sakuno Rodrigues

Especialista em: Inteligência Artificial aplicada ao BPM

MINHA JORNADA

Nome: Lyan Eduardo Sakuno Rodrigues

Especialidade: Inteligência Artificial aplicada ao BPM

Objetivo deste documento

Durante o processo da disciplina Residência em IA¹, foram gerados diversos resultados na construção da minha especialização. A cada semana, um conjunto de resultados foi formalizado por um Termo de Aceite de Entrega e avaliado por uma banca, considerando o planejado e o realizado para o período. Este documento tem como objetivo descrever esses resultados obtidos, fazendo referência aos Termos de Aceite de Entrega e seus documentos associados.

Minha Jornada

A minha jornada na Residência em IA começou na **Semana 1**, quando defini minha área de especialização: o uso da Inteligência Artificial aplicada à Gestão de Processos de Negócio, com foco na Mineração de Processos. Nesse primeiro momento, estruturei minhas referências, revisei conceitos fundamentais de BPM e IA, e aprofundei minha compreensão sobre registros de eventos e sua relevância para a análise baseada em dados. Também iniciei minha aproximação com diferentes ferramentas e materiais introdutórios, o que me permitiu compreender a amplitude e a importância da área escolhida. Essa etapa inicial, que consolidou o direcionamento de toda a minha jornada, encontra-se descrita no **Apêndice 1**.

Nas **Semanas 2 e 3**, avancei na fundamentação teórica. Realizei leituras de artigos sobre Inteligência Artificial Explicável (XAI), *Large Process Models*, integração neuro-simbólica e *benchmarks* recentes que avaliam a performance de modelos de linguagem em tarefas específicas de Mineração de Processos (*Process Mining*). Essa fase ampliou minha compreensão sobre como a IA e a Mineração de Processos vêm convergindo

¹ Dez Semanas, entre setembro de 2025 e dezembro de 2025.

para criar soluções cada vez mais inteligentes, interpretáveis e aplicáveis a cenários reais. Também analisei como diferentes categorias de modelos respondem a tarefas de descoberta, conformidade, explicação e análise de causa raiz. Os resumos, reflexões e materiais estudados nessa fase estão reunidos no **Apêndice 2**.

As **Semanas 4, 5 e 6** foram dedicadas ao aprofundamento conceitual sobre a própria Mineração de Processos. Estudei sua origem, seus primeiros algoritmos, o surgimento de ferramentas como ProM e Apromore, e a consolidação da área com o Manifesto da Mineração de Processos. Analisei detalhadamente os três tipos clássicos de tarefas: (1) Descoberta, (2) Conformidade e (3) Aprimoramento, e ainda explorei o suporte operacional em tempo real. Também compreendi como a Mineração Declarativa, com a linguagem Declare, responde melhor a cenários altamente complexos e flexíveis. Além disso, examinei a relação entre *Process Mining*, *Data Mining* e *Business Process Management* (BPM), entendendo como essas áreas se complementam e se diferenciam. Ao final desse período, produzi um documento estruturado reunindo essa base conceitual (**Apêndice 3**).

Na **Semana 7**, iniciei estudos na intersecção entre a IA e a Mineração de Processos, com foco especial em modelos preditivos e explicáveis. Estudei arquiteturas como LSTM e GRU, mecanismos de atenção, modelos autoexplicativos como SENN, e métodos pós-hoc como LIME, SHAP e LRP. Essa fase foi crucial para entender como os modelos baseados em *Deep Learning* podem ser aplicados para prever resultados de processos e, ao mesmo tempo, oferecer explicações compatíveis com requisitos de auditoria, transparência e tomada de decisão. Com base nessas leituras, amadureci minha decisão sobre qual modelo reproduzir. Esse conjunto de estudos está disponível no **Apêndice 4**.

Nas **Semanas 8 e 9**, iniciei alguns experimentos, reproduzindo um dos artigos considerados influentes da área: *Predictive Business Process Monitoring with LSTM Neural Networks* de Niek Tax, Ilya Verenich, Marcello La Rosa e Marlon Dumas (2017). A escolha desse artigo se deu pela arquitetura proposta, que utiliza redes LSTM para prever a próxima atividade, o *timestamp* e o tempo restante de execução de um caso. Para seguir fielmente a metodologia do artigo, preparei o *dataset* Helpdesk, composto por 3.804 casos, mais de 13

mil eventos e nove atividades distintas. Realizei limpeza, segmentação, encoding das atividades, criação das janelas temporais e montagem das sequências. Em seguida, implementei todo o *pipeline* de treinamento, conforme descrito no artigo, analisando previsões, métricas e limitações. Essa etapa marcou a minha transição das bases conceituais para a experimentação. Os resultados obtidos estão registrados no **Apêndice 5**.

Na **Semana 10**, evoluí para uma modernização completa do código reproduzido. Realizei a migração integral do código original em Python 2 para Python 3, ajustando funções obsoletas e integrando tecnologias contemporâneas, como TensorFlow, Keras e PM4Py. Depois, ampliei o escopo da análise, implementando novos modelos, como Decision Tree, Random Forest e GRU, para comparar desempenho e observar como diferentes abordagens lidam com o mesmo problema preditivo. Também reorganizei o repositório no GitHub, criando documentação clara, estruturando as pastas e registrando os resultados de forma adequada. Os arquivos, scripts, termos de entrega e materiais finais dessa etapa estão reunidos no **Apêndice 6**.

Encerrando esta jornada, reconheço o quanto cada uma dessas etapas contribuiu para o meu desenvolvimento técnico, acadêmico e profissional. A Residência em IA foi para mim um espaço de crescimento constante, em que pude aprofundar conhecimento, colocar teoria em prática, superar desafios e consolidar minha especialização em Inteligência Artificial aplicada à Gestão de Processos de Negócio.

Gostaria de expressar meus profundos agradecimentos ao professor Fernando Marques Federson, por sua visão inspiradora e por ter sido fundamental na construção da base conceitual da minha jornada, ao professor Cedric Luiz de Carvalho, pela orientação criteriosa, pelas avaliações e pela clareza no direcionamento das entregas semanais, e ao professor Leonardo Antonio Alves, cujo apoio, análises e orientações foram decisivos para o avanço da minha pesquisa e implementação prática. A cada um deles, deixo registrado meu sincero reconhecimento e gratidão pela oportunidade de aprender e evoluir ao longo deste percurso.

APÊNDICE 1

Termo de Aceite de Entrega

Objetivo deste documento

Este documento faz parte do Processo da disciplina Residência em IA e tem como objetivo formalizar o aceite da entrega considerando o planejado e o realizado para o período.

Data da Reunião (“Gate”) de aprovação: 11 de set. de 2025

Participantes da Entrega [matriculados em Residência em IA]:

Lyan Eduardo Sakuno Rodrigues

Entrega: [descrever a ENTREGA - requisitos e produtos gerados: links para textos, códigos, vídeos etc.]

- 1-) Definição do tema central que será abordado durante a Residência:
 - Mineração de Processos e Inteligência Artificial: aplicações para análise e otimização de processos organizacionais.
 - Reunião realizada com o professor Federson algumas semanas atrás, onde foram discutidos possíveis temas.
 - Pesquisa exploratória em sites especializados e artigos científicos recentes sobre Mineração de Processos e Inteligência Artificial.
- 2-) Classificação do trabalho de acordo com os temas da área de Inteligência Artificial:
 - ❖ Sistemas de Informação Inteligentes
 - ❖ Representação do Conhecimento
 - ❖ Aprendizado Supervisionado e Não Supervisionado
 - ❖ Aplicações de Inteligência Artificial
- 3-) Pesquisa de artigos relacionados ao tema:
 - Documentação PM4Py – Introdução à Mineração de Processos
 - Mineração de Processos e Aprendizado de Máquina – IEEE Xplore
 - Inteligência Artificial aplicada à Gestão de Processos de Negócio
- 4-) Estudo de tópicos relacionados ao tema:
 - Fundamentos de Gestão de Processos de Negócio (BPM)
 - Técnicas de Inteligência Artificial aplicadas a processos (Aprendizado de Máquina, Processamento de Linguagem Natural, Modelos de Linguagem)
 - Ferramentas de Mineração de Processos (ProM, Celonis, Apromore, PM4Py)
 - Aplicações em auditoria, conformidade e otimização de fluxos organizacionais

Planejamento: [descrever o que pretende fazer para realizar a próxima ENTREGA]

- Levantar artigos, livros e estudos introdutórios sobre Mineração de Processos (ProM,

- Celonis, Apromore, PM4Py).
- Pesquisar materiais sobre aplicações de Inteligência Artificial em Mineração de Processos, incluindo aprendizado supervisionado e não supervisionado.
 - Mapear possíveis conjuntos de dados públicos (ex.: BPI Challenge) para alguma possível aplicação futura.
 - Elaborar um resumo dos artigos e materiais encontrados.

Observação: [caso precise fazer alguma observação, de qualquer “natureza”]

ACEITE DA ENTREGA:

CEDRIC LUIZ DE CARVALHO: 

APÊNDICE 2

Termo de Aceite de Entrega

Objetivo deste documento

Este documento faz parte do Processo da disciplina Residência em IA e tem como objetivo formalizar o aceite da entrega considerando o planejado e o realizado para o período.

Data da Reunião (“Gate”) de aprovação: 18 de set. de 2025

Participantes da Entrega [matriculados em Residência em IA]:

Lyan Eduardo Sakuno Rodrigues

Entrega: [descrever a ENTREGA - requisitos e produtos gerados: links para textos, códigos, vídeos etc.]

Essa Semana realizarei a minha primeira apresentação dentro da Residência em IA, marcando o início do trabalho com o tema escolhido. O foco definido foi **Mineração de Processos**, buscando entender como essa área pode ser aplicada na análise e otimização de processos organizacionais. A escolha do tema foi feita a partir de conversas anteriores com o professor Federson e de uma pesquisa exploratória em fontes especializadas, o que permitiu consolidar uma visão inicial sobre a relevância e as possibilidades do assunto.

Produzi um texto estruturado intitulado “[Mineração de Processos](#)”, que apresenta de forma organizada os principais aspectos dessa área e serve como base teórica inicial. Entre os pontos abordados, estão:

- A história e origem da área, com destaque para Wil van der Aalst e os primeiros algoritmos.
- Os objetivos principais, como descobrir, monitorar e melhorar processos reais a partir de registros de eventos.
- Os tipos de Mineração de Processos: descoberta, verificação de conformidade, aprimoramento e suporte operacional.
- As abordagens imperativa e declarativa, mostrando suas diferenças e aplicações.
- A distinção entre Mineração de Processos, Mineração de Dados e BPM, ressaltando a visão data-driven da primeira.
- Os benefícios da implementação, como eficiência, redução de custos, compliance e suporte à automação.
- Os desafios enfrentados, incluindo qualidade dos dados, complexidade dos modelos e resistência à mudança.

Elaborei um levantamento bibliográfico reunindo 15 fontes entre artigos acadêmicos, monografias, relatórios e materiais de empresas de tecnologia. Para cada fonte foi feito um resumo explicativo, destacando foco, contribuições e resultados relevantes. [Doc com links uteis](#)

Planejamento: [descrever o que pretende fazer para realizar a próxima ENTREGA]

1-) Levantamento e análise de novos artigos, livros e estudos introdutórios sobre Mineração de

Processos, com foco nas ferramentas mais utilizadas no meio acadêmico e corporativo (ProM, Celonis, Apromore e PM4Py).

2-) Pesquisa de materiais específicos sobre aplicações de Inteligência Artificial em Mineração de Processos, explorando técnicas de aprendizado supervisionado e não supervisionado, além de abordagens de Processamento de Linguagem Natural e Modelos de Linguagem aplicados a logs de eventos.

3-) Mapeamento de conjuntos de dados públicos, como o BPI Challenge e outros repositórios disponíveis, que possam ser utilizados em análises práticas e experimentais ao longo da disciplina.

4-) Produção de resumos organizados dos artigos e materiais encontrados, consolidando um repositório de conhecimento que apoie tanto o entendimento conceitual quanto a preparação para experimentações futuras.

5-) Avaliar de que forma os benefícios e desafios identificados no primeiro documento podem ser relacionados às aplicações práticas encontradas nas novas fontes, estabelecendo uma ponte entre teoria e prática.

Observação: [caso precise fazer alguma observação, de qualquer “natureza”]

ACEITE DA ENTREGA:

CEDRIC LUIZ DE CARVALHO: 

APÊNDICE 3

Termo de Aceite de Entrega

Objetivo deste documento

Este documento faz parte do Processo da disciplina Residência em IA e tem como objetivo formalizar o aceite da entrega considerando o planejado e o realizado para o período.

Data da Reunião (“Gate”) de aprovação: 25 de set. de 2025

Participantes da Entrega [matriculados em Residência em IA]:

Lyan Eduardo Sakuno Rodrigues

Entrega: [descrever a ENTREGA - requisitos e produtos gerados: links para textos, códigos, vídeos etc.]

Nesta Semana, foi realizada uma pesquisa exploratória sobre o impacto da Inteligência Artificial na Mineração de Processos, com foco em exemplos práticos e nos modelos de IA aplicados atualmente.

Principais impactos identificados:

- Maior automação na descoberta de processos (redução de tempo e esforço manual).
- Melhoria na verificação de conformidade (detecção de desvios e fraudes de forma mais rápida e precisa).
- Otimização contínua no aprimoramento de processos (previsão de gargalos, recomendação de melhorias e simulações com digital twins).

Modelos de IA destacados:

- Machine Learning clássico (clustering, árvores de decisão).
- Deep Learning (Long Short-Term Memory (LSTMs), Redes Grafos Neurais).
- NLP/LLMs (modelos de linguagem natural aplicados a normas).
- Reinforcement Learning (agentes testando cenários em simulação de processos).

Foi também estruturado um documento consolidando as descobertas, contendo explicações sobre os tipos de mineração de processos, como a IA impacta cada um deles, exemplos reais com os modelos de IA utilizados e seus impactos. [IA e Mineração de Processos](#)

Planejamento: [descrever o que pretende fazer para realizar a próxima ENTREGA]

1-) Retomar o estudo sobre a história e evolução da Mineração de Processos (Wil van der Aalst, Alpha Miner, ProM, IEEE Task Force, etc.), que não foi possível aprofundar nesta Semana.

2-) Pesquisar mais sobre ferramentas existentes no mercado (Celonis, UiPath, Apromore, PM4Py,

Disco, ABBYY Timeline, IBM Process Mining), comparando suas principais funcionalidades.

Observação: [caso precise fazer alguma observação, de qualquer “natureza”]

ACEITE DA ENTREGA:

CEDRIC LUIZ DE CARVALHO: **Go!**

Termo de Aceite de Entrega

Objetivo deste documento

Este documento faz parte do Processo da disciplina Residência em IA e tem como objetivo formalizar o aceite da entrega considerando o planejado e o realizado para o período.

Data da Reunião (“Gate”) de aprovação: 2 de out. de 2025

Participantes da Entrega [matriculados em Residência em IA]:

Lyan Eduardo Sakuno Rodrigues

Entrega: [descrever a ENTREGA - requisitos e produtos gerados: links para textos, códigos, vídeos etc.]

Nesta Semana, realizei a leitura de três artigos principais que exploram a interseção entre Mineração de Processos e Inteligência Artificial e montei um resumo [Resumo dos Artigos Lidos até 02/10](#):

1-) Explainable AI in Process Mining: A Systematic Literature Review

- Investigou o uso de XAI (Inteligência Artificial Explicável) para interpretar modelos de “caixa preta” aplicados em mineração de processos.
- Técnicas analisadas incluem modelos intrínsecos transparentes (Decision Trees, SVM), métodos pós-hoc independentes do modelo (LIME, SHAP) e específicos (atenção e LRP).
- **Principais aplicações:** Monitoramento Preditivo de Processos (PPM), Descoberta, Conformidade e Diagnóstico.
- **Impacto:** maior confiabilidade, interpretabilidade e ação prática dos resultados, mas ainda há desafios de escalabilidade e validação industrial.

2-) Large Process Models: A Vision for BPM in the Age of Generative AI

- Propõe os Large Process Models (LPMs), que unem LLMs (modelos de linguagem) com raciocínio simbólico.
- **Elementos-chave:** Process Atoms, Geração Aumentada por Recuperação (RAG) e uso de LLMs ajustados para domínios específicos.
- **Impacto:** permite mineração conversacional de processos, integração entre dados tabulares e conhecimento não estruturado, além de automatizar etapas do ciclo de vida do BPM.

3-) PM-LLM-Benchmark: Evaluating Large Language Models on Process Mining Tasks

- Apresenta o primeiro benchmark para avaliar LLMs em tarefas de mineração de processos.
- Testes incluíram descoberta de modelos, compreensão, geração de hipóteses, análise de conformidade e avaliação de imparcialidade.
- **Resultados:** modelos comerciais e grandes open-source mostraram desempenho satisfatório em tarefas complexas, enquanto modelos pequenos falham em formalismos e fairness.
- **Impacto:** aponta caminhos para integrar LLMs em tarefas reais de mineração, mas destaca limitações práticas dos modelos menores.

Planejamento: [descrever o que pretende fazer para realizar a próxima ENTREGA]

Na próxima Semana, o objetivo será avançar nos estudos com foco em **modelos preditivos e interpretáveis para monitoramento de processos**, a partir da leitura dos seguintes artigos:

Predictive Business Process Monitoring with LSTM Neural Networks

<https://arxiv.org/abs/1612.02130>

Self-Explaining Neural Networks for Business Process Monitoring

<https://arxiv.org/abs/2503.18067>

Observação: [caso precise fazer alguma observação, de qualquer “natureza”]

ACEITE DA ENTREGA:

CEDRIC LUIZ DE CARVALHO: 

Termo de Aceite de Entrega

Objetivo deste documento

Este documento faz parte do Processo da disciplina Residência em IA e tem como objetivo formalizar o aceite da entrega considerando o planejado e o realizado para o período.

Data da Reunião (“Gate”) de aprovação: 8 de out. de 2025

Participantes da Entrega [matriculados em Residência em IA]:

Lyan Eduardo Sakuno Rodrigues

Entrega: [descrever a ENTREGA - requisitos e produtos gerados: links para textos, códigos, vídeos etc.]

Nesta Semana, foram produzidos 3 documentos de estudo que aprofundam o papel da Inteligência Artificial (IA), tanto simbólica quanto subsimbólica, na Mineração de Processos. Os textos exploram desde abordagens interpretáveis (XAI) até arquiteturas híbridas e autoexplicativas, evidenciando a convergência entre confiabilidade simbólica e aprendizado profundo.

Documentos Produzidos:

[Resumo de IA Simbólica](#)

[Resumo IA em cada area - Artigo Explainable AI](#)

[Resumos artigos 08/10](#)

1-) Predictive Business Process Monitoring with LSTM Neural Networks

Publicado em 2017 (Tax et al.)

Este artigo propõe o uso de Redes LSTM para prever a próxima atividade e o tempo restante em processos de negócio.

A pesquisa demonstrou que:

- As LSTMs superaram métodos tradicionais em precisão ao prever eventos futuros e tempos de execução.
- O uso de aprendizado multitarefa (multi-task learning), um único modelo prevendo tanto a atividade quanto o tempo, gerou resultados mais consistentes.
- O método apresentou limitações com atividades repetidas, que causavam previsões de sequências longas demais.
- **Contribuição:** Marcou a consolidação das redes neurais recorrentes como ferramentas eficazes no monitoramento preditivo de processos.

2-) Self-Explaining Neural Networks for Business Process Monitoring

Publicado em 2024 (Bassan et al.)

Este trabalho introduz a primeira arquitetura autoexplicativa (SENN) aplicada ao monitoramento de processos, superando limitações dos métodos pós-hoc de explicabilidade como LIME e Anchors.

Principais pontos:

- O SENN adiciona um componente de explicação integrado ao modelo, permitindo interpretações internas sem necessidade de métodos externos.
- As explicações são baseadas em subconjuntos suficientes de variáveis. Mudanças nas outras features não alteram a predição.
- Superou o Anchors em fidelidade e eficiência computacional, com explicações mais rápidas e verificáveis.
- **Contribuição:** Une desempenho e interpretabilidade, apontando um novo caminho para modelos explicáveis nativos no BPM.

3-) Explainable AI in Process Mining: A Systematic Literature Review

Publicado em 2023 (Revisão Sistemática – Artigo Explainable AI in Process Mining)

O artigo faz uma revisão detalhada das técnicas de IA Explicável (XAI) aplicadas à Mineração de Processos (PM), classificando-as conforme sua natureza e função:

- **Modelos Transparentes Intrínsecos:** Decision Trees, SVM, Regressão Logística, RIPPER. Aplicações em monitoramento preditivo e descoberta de regras interpretáveis.
- **Explicações Pós-hoc Específicas:** Attention Mechanisms, LRP, LSTM, Transformers. Aplicações em previsão da próxima atividade e tempo restante.
- **Explicações Pós-hoc Agnósticas:** LIME, SHAP, Contrafactuais (DiCE, LORELEY), Anchors. Aplicações em diagnóstico, conformidade e análise de causas.
- **Explicações Visuais e Locais:** DFGs, PDPs, ICE, Saliency Maps. Aplicações em visualização e sumarização de processos.
- **Conclusão:** O XAI está evoluindo de modelos simples e transparentes para abordagens complexas, porém interpretáveis, como LSTMs com atenção e SENNs, conectando precisão preditiva à confiabilidade e compreensão humana.

4-) A IA Simbólica no Contexto do BPM e do LPM

Análise baseada em conceitos consolidados do BPM Tradicional e Large Process Models (2022 a 2023)

O estudo da IA Simbólica destaca sua função como o componente lógico e confiável do BPM e do Large Process Model (LPM):

- Atua como fundação lógica do BPM e na definição de modelos de processos formais (como Redes de Petri).
- Sustenta os Sistemas de Conhecimento e Raciocínio Automatizado, complementando a parte estatística dos LLMs.
- É essencial para verificação de conformidade, compliance e controle humano, garantindo decisões auditáveis e explicáveis.
- A fusão com IA subsimbólica dá origem aos sistemas neuro-simbólicos, unindo aprendizado profundo com inferência lógica.
- **Contribuição:** reforça que o futuro do BPM depende da integração entre IA simbólica (raciocínio e regras) e IA subsimbólica (aprendizado e generalização).

Planejamento: [descrever o que pretende fazer para realizar a próxima ENTREGA]

Para a próxima Semana, foi indicado o estudo do livro Process Mining Handbook, publicado em abril de 2022.

O objetivo será compreender a base teórica consolidada da área, aprofundando-se em:

- Técnicas fundamentais de descoberta, conformidade e aprimoramento de processos.
- A relação entre Mineração de Processos, BPM e IA.
- As tendências mais recentes no campo, especialmente as integrações com LLMs e abordagens neuro-simbólicas.

Observação: [caso precise fazer alguma observação, de qualquer “natureza”]

ACEITE DA ENTREGA:

CEDRIC LUIZ DE CARVALHO: 

APÊNDICE 4

Termo de Aceite de Entrega

Objetivo deste documento

Este documento faz parte do Processo da disciplina Residência em IA e tem como objetivo formalizar o aceite da entrega considerando o planejado e o realizado para o período.

Data da Reunião (“Gate”) de aprovação: 16 de out. de 2025

Participantes da Entrega [matriculados em Residência em IA]:

Lyan Eduardo Sakuno Rodrigues

Entrega: [descrever a ENTREGA - requisitos e produtos gerados: links para textos, códigos, vídeos etc.]

Essa Semana, defini meu tema e desenvolvi o documento [Redes LSTM na Mineração Preditiva de Processos de Negócio](#), que apresenta um panorama abrangente sobre a aplicação das redes LSTM (Long Short-Term Memory) na Mineração de Processos, destacando seu papel em tarefas de previsão e monitoramento de fluxos de trabalho empresariais.

No material, resumi como essas redes são **aplicadas em tarefas de monitoramento preditivo**, como prever a próxima atividade de um processo, o tempo restante para conclusão e possíveis resultados futuros. Também incluí uma revisão das pesquisas recentes (2022–2025), destacando avanços como o uso de amostragem inteligente, aprendizado incremental, integração com Transformers e técnicas de IA explicável (XAI).

O documento ainda aborda as principais ferramentas e frameworks em Python como PM4Py, Nirdizati e TensorFlow/PyTorch, comparando as LSTMs com métodos tradicionais (como Random Forest e XGBoost) e apresentando os datasets públicos mais utilizados, como o BPI Challenge e o Helpdesk Log.

Em resumo, a Semana foi dedicada a consolidar esse conteúdo técnico e teórico, construindo um material que serve de base para futuras análises e experimentos sobre o uso de redes neurais recorrentes na mineração de processos.

Planejamento: [descrever o que pretende fazer para realizar a próxima ENTREGA]

Para a próxima Semana, pretendo iniciar a implementação prática descrita no artigo “Predictive Business Process Monitoring with LSTM Neural Networks”, de Niek Tax et al. (2017)

O objetivo é reproduzir a arquitetura de redes LSTM proposta pelos autores, responsável por prever a próxima atividade, seu timestamp e o tempo restante de execução de um caso. A implementação será feita em Python, utilizando Keras/TensorFlow, seguindo a estrutura experimental apresentada no artigo: treinamento com logs reais (como o Helpdesk e o BPI Challenge 2012) e avaliação por

métricas como MAE (Mean Absolute Error) e acurácia de predição.

Além de reproduzir os experimentos básicos, também pretendo analisar os resultados obtidos e explorar possíveis variações do modelo, como o uso de arquiteturas multi-task (para previsão simultânea de atividade e tempo) e a comparação de desempenho com métodos tradicionais de mineração preditiva.

Observação: [caso precise fazer alguma observação, de qualquer “natureza”]

ACEITE DA ENTREGA:

CEDRIC LUIZ DE CARVALHO: 

APÊNDICE 5

Termo de Aceite de Entrega

Objetivo deste documento

Este documento faz parte do Processo da disciplina Residência em IA e tem como objetivo formalizar o aceite da entrega considerando o planejado e o realizado para o período.

Data da Reunião (“Gate”) de aprovação: 22 de out. de 2025

Participantes da Entrega [matriculados em Residência em IA]:

Lyan Eduardo Sakuno Rodrigues

Entrega: [descrever a ENTREGA - requisitos e produtos gerados: links para textos, códigos, vídeos etc.]

O objetivo dessa Semana foi reproduzir a arquitetura descrita no artigo “Predictive Business Process Monitoring with LSTM Neural Networks”, de Niek Tax et al. (2017), responsável por prever a próxima atividade, seu timestamp e o tempo restante de execução de um caso.

A implementação está sendo feita em Python, utilizando Keras/TensorFlow, seguindo a estrutura experimental apresentada no artigo. O trabalho inclui:

Preparação dos dados: Utilização de logs reais, com foco inicial no dataset Helpdesk para os primeiros testes.

Construção da arquitetura: Reprodução da estrutura LSTM conforme especificado no artigo seminal.

Configuração do treinamento: Implementação do pipeline de treinamento com os parâmetros originais.

Métricas de avaliação: Preparação para avaliação por métricas como MAE (Mean Absolute Error) e acurácia de predição.

Dataset Escolhido para Testes Iniciais: Helpdesk, que contém eventos de um processo de gerenciamento de tickets do help desk de uma empresa italiana de software.

Características do dataset:

- 9 atividades distintas no processo.
- 3.804 instâncias de processo (casos).
- 13.710 eventos registrados.

Estrutura do processo: Todos os casos iniciam com a inserção de um novo ticket no sistema de gerenciamento e terminam quando o problema é resolvido e o ticket é fechado.

Este dataset foi escolhido para os testes iniciais por ser relativamente compacto e bem estruturado, permitindo validar a implementação antes de expandir para datasets mais complexos como o BPI Challenge 2012.

Planejamento: [descrever o que pretende fazer para realizar a próxima ENTREGA]

Para a próxima Semana, o foco principal será concluir a migração completa do código para Python 3, garantindo que todos os componentes estejam funcionando corretamente e validados.

Após a migração, realizarei uma análise comparativa detalhada entre os resultados obtidos com Python 2 e Python 3, verificando se houve alguma diferença significativa em termos de acurácia, MAE e tempo de treinamento. Essa validação é crucial para assegurar que a migração preservou fielmente o comportamento e desempenho do modelo original.

Com a implementação base validada, pretendo explorar possíveis melhorias no modelo, incluindo:

- **Ajuste de hiperparâmetros:** Testar diferentes configurações de número de camadas LSTM, quantidade de neurônios por camada, taxa de aprendizado e batch size.
- **Técnicas de regularização:** Implementar dropout e recurrent dropout para reduzir overfitting e melhorar a generalização do modelo.
- **Estratégias de encoding:** Explorar diferentes formas de representação das atividades e features temporais, como embeddings de dimensões variadas.
- **Otimizadores alternativos:** Comparar o desempenho entre Nadam, Adam, RMSprop e outros otimizadores.
- **Arquitetura multi-task aprimorada:** Investigar diferentes configurações de compartilhamento de camadas entre as tarefas de predição de atividade e timestamp.
- **Early stopping e checkpointing:** Implementar estratégias para preservar os melhores modelos durante o treinamento.

Após essa fase de experimentação e validação das melhorias, expandirei os testes para o dataset BPI Challenge 2012, que é significativamente mais complexo e volumoso, permitindo avaliar a robustez e escalabilidade das otimizações implementadas.

Observação: [caso precise fazer alguma observação, de qualquer “natureza”]

ACEITE DA ENTREGA:

CEDRIC LUIZ DE CARVALHO: 

Termo de Aceite de Entrega

Objetivo deste documento

Este documento faz parte do Processo da disciplina Residência em IA e tem como objetivo formalizar o aceite da entrega considerando o planejado e o realizado para o período.

Data da Reunião (“Gate”) de aprovação: 5 de nov. de 2025

Participantes da Entrega [matriculados em Residência em IA]:

Lyan Eduardo Sakuno Rodrigues

Entrega: [descrever a ENTREGA - requisitos e produtos gerados: links para textos, códigos, vídeos etc.]

Durante essa Semana, realizei a atualização do código descrito no artigo "Predictive Business Process Monitoring with LSTM Neural Networks" by Niek Tax, Ilya Verenich, Marcello La Rosa and Marlon Dumas (2017), escrito em Python 2 para a versão 3, garantindo compatibilidade com bibliotecas modernas e eliminando funções obsoletas. Durante essa etapa, os resultados mostraram que a acurácia permaneceu praticamente igual, assim como o tempo de execução, com diferenças mínimas. A principal melhoria foi tornar o código mais sustentável, compilável e utilizável hoje e no futuro.

Em seguida, o código foi adaptado para utilização da biblioteca PM4Py, permitindo aplicar técnicas contemporâneas de mineração de processos e aprimorar a eficiência do fluxo de análise. Nesse caso, a acurácia também se manteve equivalente, e o tempo de execução apresentou pequenas variações apenas na etapa de leitura dos dados. Em contrapartida, o novo formato trouxe grandes ganhos de manutenção, clareza e capacidade de experimentação com diferentes conjuntos de dados e abordagens analíticas.

Também foi feita a criação e organização de um repositório no GitHub, disponível em <https://github.com/Lyan-Eduardo/Residencia-BIA-2025/tree/main> e também um documento descrevendo as alterações feitas [Atualização do Código](#). Além disso, realizei a leitura e elaboração de um resumo do artigo “ProcessGPT” [Resumo do Artigo ProcessGPT](#), sintetizando seus principais conceitos, resultados e possíveis aplicações no contexto de Process Mining.

Planejamento: [descrever o que pretende fazer para realizar a próxima ENTREGA]

Na próxima Semana, vou revisar o código e analisar melhor como as funções da LSTM estão estruturadas, observando onde podem existir oportunidades de melhorar a acurácia.

Também pretendo melhorar o repositório do GitHub, já que ele foi feito de forma mais improvisada no início. A ideia é deixar a estrutura mais organizada, atualizar o README e explicar melhor o que foi desenvolvido.

Observação: [caso precise fazer alguma observação, de qualquer “natureza”]

ACEITE DA ENTREGA:

CEDRIC LUIZ DE CARVALHO: 

APÊNDICE 6

Termo de Aceite de Entrega

Objetivo deste documento

Este documento faz parte do Processo da disciplina Residência em IA e tem como objetivo formalizar o aceite da entrega considerando o planejado e o realizado para o período.

Data da Reunião (“Gate”) de aprovação: 13 de nov. de 2025

Participantes da Entrega [matriculados em Residência em IA]:

Lyan Eduardo Sakuno Rodrigues

Entrega: [descrever a ENTREGA - requisitos e produtos gerados: links para textos, códigos, vídeos etc.]

Nesta Semana, desenvolvi três novos modelos para o projeto (Decision Tree, Random Forest e GRU), adaptando todo o pipeline para que eles funcionassem no mesmo formato utilizado pela LSTM.

Em seguida, realizei os testes de acurácia e erro estimado, comparei os resultados com o baseline da LSTM e organizei essas informações em um documento específico

[Alterações Realizadas para Inclusão dos Novos Modelos.](#)

Além disso, finalizei a parte descritiva explicando as alterações feitas e atualizei o README do repositório com as novas instruções de uso, modelos adicionados e orientações de comparação.

Planejamento: [descrever o que pretende fazer para realizar a próxima ENTREGA]

Observação: [caso precise fazer alguma observação, de qualquer “natureza”]

ACEITE DA ENTREGA:

CEDRIC LUIZ DE CARVALHO: 