

## 1 Identificação da Proposta

Tabela 1: Dados iniciais do projeto e proponente

<b>Título do Projeto:</b>	<i>Software</i> para cadastro, modelagem e previsão de processos estocásticos pontuais e séries temporais
<b>Grande área/área segundo o CNPq</b> ( <a href="https://goo.gl/JB3tAs">https://goo.gl/JB3tAs</a> ):	Engenharias III / Pesquisa Operacional
<b>Grupo de Pesquisa vinculado ao projeto:</b>	MESOR: Modelagem Estatística, Simulação e Otimização de Risco
<b>Linha de pesquisa do grupo de pesquisa vinculado ao projeto:</b>	Análise Probabilística de Risco
<b>Categoria do projeto:</b>	( ) projeto em andamento, já cadastrado na PRPI ( ) projeto não iniciado, mas aprovado previamente (X) projeto novo, ainda não avaliado (relacionado à bolsa de produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora do CNPq, processo nº 315027/2018-5)
<b>Palavras-chave:</b>	Incerteza; Sistema de Informação; Processos Estocásticos; Controle de Qualidade
<b>Nome e sigla das Instituições Parceiras:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Instituto Federal do Ceará - IFCE;</li><li>• Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS</li></ul>

## 2 Descrição do Projeto

### 2.1 Resumo

Ferramentas de suporte a decisão em situações que envolvem incerteza têm sido fundamentais para a otimização e controle de sistemas de produção, do primeiro, segundo e terceiro setores. Elas facilitam a promoção de ciclos de melhoria contínua característicos do modelo de desenvolvimento sustentável desejável a organizações e territórios. Registrar, modelar e prever a ocorrência de fenômenos sociais, ambientais, econômicos e tecnológicos fazem inevitavelmente parte deste escopo. Busca-se com a execução deste projeto fornecer um *software* dedicado ao registro, modelagem e previsão de fenômenos passíveis de acompanhamento cronológico ou espacial. A ferramenta envolverá camadas

de interface amigável com o usuário, de banco de dados, de modelagem, análise e previsão estatística. Assim, além de possibilitar a catalogação sistemática de fenômenos, a tecnologia fornecerá sínteses e previsões destes. Os formalismos estatísticos que fundamentarão a modelagem e previsão são Processos de Renovação Generalizados (do inglês *Generalized Renewal Processes* - GRP) e Séries Temporais (do inglês *Time Series*). GRP generalizam processos de contagem como o de renovação, de Poisson homogêneo e não-homogêneo, permitindo modelar, avaliar e prever a falha de sistemas em estágio de melhoria, deterioração ou mesmo estáveis. Por outro lado, TS refletem grande variedade de fenômenos causais de variáveis de natureza financeira, econômica, ambiental, social e tecnológica, por exemplo, também levando a modelos sofisticados. A principal motivação para a execução do projeto reside no fato de que, apesar de GRP e TS ocuparem papel de destaque na pesquisa científica em diversas áreas, a transferência tecnológica correspondente e mesmo sua aplicação no primeiro, segundo e terceiro setores são precárias, demandando ferramentas facilitadoras. Acredita-se que a médio prazo, a prática do registro e modelagem de dados desta natureza promova melhoria de qualidade e competitividade das organizações usuárias.

## 2.2 Palavras-chave

Incerteza, Sistema de Informação, Processos Estocásticos, Controle de Qualidade.

## 2.3 Objetivos

Desenvolver ferramenta com interface amigável para o registro, a modelagem e a previsão de processos estocásticos pontuais e séries temporais. Especificamente, buscar-se-á:

- (i) Elaborar taxonomia genérica de banco de dados para ambos: processos estocásticos e séries temporais;
- (ii) Elaborar arquitetura dedicada ao sistema de informação, baseada em (i);
- (iii) Implementar a arquitetura elaborada em (ii);
- (iv) Experimentar o sistema de informação desenvolvido a partir de casos do mundo real.
- (v) Promover transferência tecnológica a organizações dos diversos setores.

## 2.4 Relevância

Através da modelagem estatística, tem sido muito comum caracterizar sistemas complexos a partir de processos estocásticos. Um processo estocástico pode ser compreendido como uma coleção de variáveis aleatórias indexadas no tempo  $t$ , diga-se  $U_t$  [1]. De maneira genérica, o termo *tempo* pode representar qualquer unidade de medida sobre a qual as variáveis são observadas (minutos, horas, quilogramas, quilômetros, metros cúbicos, e assim por diante), enquanto que a palavra *sistema* pode significar um ser vivo, um ecossistema, um equipamento eletrônico, uma máquina, um fenômeno econômico, social, ambiental ou

tecnológico, por exemplo. Assim,  $U_t$  pode refletir o número de falhas de um equipamento reparável ao longo de  $t$  meses, o tempo decorrido entre a  $t$ -ésima e a  $(t - 1)$ -ésima intervenções do equipamento ou mesmo o nível de deterioração, em termos de corrosão, do equipamento no instante  $t$ . Note-se que poder-se-iam considerar, ao invés de intervenções preventivas/corretivas a um equipamento reparável, ações de promoção/recuperação da economia de um país ou da saúde de dado indivíduo. Por sua vez, tem-se o caso especial denominado série temporal (do inglês *time series* - TS) nas situações em que o índice temporal  $t$  é discreto, os valores passados do processo são conhecidos, digam-se  $\{u_t\}_{t=1}^n$ , e a fonte de incerteza reside nos valores a serem assumidos pelo processo em dado instante futuro  $\{U_t\}_{t>n}$ . Logo, uma TS é uma realização ou instância de um processo estocástico [2].

Devido a sua abrangência, ferramentas estatísticas de modelagem de processos estocásticos, em geral, e séries temporais, em especial, são fundamentais para a tomada de decisão, seja a nível estratégico, tático ou operacional, de organizações dos diversos setores. Elas permitem suporte a ações de planejamento, monitoramento, intervenção e otimização de sistemas de produção de bens e serviços. Como exemplo, citem-se estudos de demanda (que balizam a capacidade de produção de bens e serviços), de fenômenos epidemiológicos (que fundamentam políticas de saúde coletiva), de intervenção a sistemas reparáveis (que propiciam o dimensionamento da capacidade de manutenção, estoques e políticas de manutenção em geral) e assim por diante.

Maiores detalhes conceituais sobre as alternativas de processos estocásticos e TS abordadas no presente projeto são introduzidos a seguir.

### 2.4.1 Processos Estocásticos de Renovação

Na literatura de processos estocásticos, encontram-se na vanguarda da modelagem estatística formalismos como GRP (do inglês *Generalized Renewal Processes*): uma das mais flexíveis ferramentas de modelagem de sistemas reparáveis, generalizando processos de contagem pontuais como o de renovação e de Poisson homogêneo e não-homogêneo. Nos processos pontuais, o tempo dedicado às intervenções é desprezível [3]. No presente projeto, busca-se modelar os tempos entre intervenções a sistemas. A ideia de GRP foi primeiramente proposta por [4], que permitiram introduzir o conceito de idade virtual: uma função que opera sobre a real idade do sistema através de um parâmetro de rejuvenescimento, diga-se  $q$ , incluído no conjunto paramétrico da distribuição de probabilidades subjacente ao processo. Especificamente, se  $q = 0$  então GRP coincide com RP (acrônimo para *Renewal Processes*) onde cada intervenção leva o sistema a uma condição de 'tão bom quanto novo'; caso contrário, se  $q = 1$  então GRP condiz a NHPP (do inglês *Non-Homogeneous Poisson Processes*) onde cada intervenção leva o sistema a uma restauração mínima, isto é, a uma condição de 'tão ruim quanto antes da intervenção'. Uma vez que o fenômeno tenha sido modelado via GRP, de acordo com dado procedimento de estimação (método de máxima verossimilhança ou Bayesiano, por exemplo), ações ótimas de intervenção podem ser planejadas [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12], assim como métricas quantitativas de avaliação do sistema são obtidas [13, 14, 12]. Apesar de sua flexibilidade, casos de aplicação de GRP podem ser encontrados na literatura em quantidade ainda modesta [11, 15, 16, 6, 5]. Isto pode ser parcialmente explicado pelo desconhecimento comum de técnicas e funções básicas de GRP, tais como sua média e variância

analíticas (apresentadas apenas recentemente [12]). Por outro lado, GRP baseados na distribuição de Weibull (WGRP) têm sido comuns. A título de registro, alguns autores [15, 8, 17, 18, 19, 11, 12] têm ajustado modelos de WGRP aos seus dados. Autores como [20] conduzem uma revisão e apresentam outras referências sobre o tema. [21] sugerem um teste de aderência para WGRP.

#### 2.4.2 Séries Temporais

De forma geral, como definido anteriormente, seja  $u_t$  o valor já observado de dada série temporal sob estudo no instante  $t$ . Considere que  $\{u_t\}_{t=1}^n$  seja esta sequência histórica já observada de  $u_t$ , durante o período  $t(= 1, 2, \dots, n)$ , e que deseja-se modelar o fenômeno que rege  $u_t$  de forma a possibilitar prever o seu valor em dado instante futuro  $\{U_t\}_{t>n}$ . Este configura-se como o problema de modelagem e previsão da TS.

A partir da sequência observada  $\{u_t\}_{t=1}^n$ , o principal desafio é construir um modelo de previsão para  $\{U_t\}_{t>n}$ , diga-se  $\hat{U}_t$ . Dentre as principais alternativas de modelagem, considera-se que  $\hat{U}_t$  é uma função de parte do histórico (já observado) de ambos: a série temporal em si  $\{u_i\}_{i=1}^{t-1}$ , diga-se  $\{u_{t-i}\}_{i \in I_u}$ , e a série de estimativas do próprio modelo, diga-se  $\{\hat{u}_{t-j}\}_{j \in I_{\hat{u}}}$ . Os índices de instantes regressos a  $t$ ,  $\{t-i\}_{i \in I_u}$  e  $\{t-j\}_{j \in I_{\hat{u}}}$ , são também denominados atrasos ou defasagens de tempo [22], podendo contemplar tanto o histórico recente quanto sazonal da série e das previsões do próprio modelo. Neste sentido, o histórico dos 3 últimos instantes passados da série pode ser representado por  $I_u = (1, 2, 3)$ , enquanto que o histórico sazonal anual de horizonte 2, tendo  $t$  em meses, para as estimativas do modelo é representado por  $I_{\hat{u}} = (12, 24)$ .

O modelo é, então, uma função  $f(\cdot)$  ajustada a partir de um conjunto de, diga-se,  $k$  coeficientes  $\Theta = (\theta_1, \dots, \theta_r, \dots, \theta_k)$  que operam sobre  $\{u_{t-i}\}_{i \in I_u}$  e  $\{\hat{u}_{t-j}\}_{j \in I_{\hat{u}}}$ ,

$$\hat{U}_t = f(\{u_{t-i}\}_{i \in I_u}, \{\hat{u}_{t-j}\}_{j \in I_{\hat{u}}} | \Theta), \quad (1)$$

de tal forma que reste um resíduo, a princípio de origem aleatória, independente de  $\hat{U}_t$  e impassível de modelagem, diga-se  $e_t$ , para o exercício de previsão de  $U_t$ . Tal relação pode ser resumida na Eq. 2:

$$U_t = \hat{U}_t + e_t. \quad (2)$$

Assim, a literatura de TS tem dedicado grandes esforços para determinar os  $k$  coeficientes em  $\Theta$  de maneira a aproximar  $e_t$  de zero, favorecendo melhores previsões da série. Alguns dos formalismos mais promissores neste sentido são ARIMA (sigla para *Autoregressive integrated moving average*) [22], ETS (*Exponential Smoothing State Space*) [23], GARCH (*Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity*) [22], SVM (*Support Vector Machines*) [24] e ANN (*Artificial Neural Networks*) [25], bem como CBF (*Copulas-Based Forecasters*) [?, ?].

#### 2.4.3 Alternativas do mercado

Principalmente por se encontrarem no estado da arte da literatura, ferramentas que contemplem as flexibilidades de GRP não são facilmente encontradas no mercado. De fato, organizações como *ITEM Software* [26] e *Isograph* [27] oferecem apenas módulos dedicados a RP e NHPP, casos especiais de GRP. Por sua vez, as rotinas da *Reliasoft* [28] não permitem diferenciar o impacto dos diversos tipos de intervenção que o sistema

pode sofrer, tal como proposto por [12]. Estas limitações, a serem superadas no *software* proposto, impedem um estudo mais realista das interações entre as equipes de manutenção e a resposta dos sistemas às intervenções. Trabalhos do proponente e seus colaboradores fundamentam este argumento [11, 12].

Semelhantemente, o mercado de ferramentas dedicadas a TS carece de alternativas mais atraentes. Os formalismos mais promissores, tais como aqueles que serão implementados no *software* proposto (ARIMA [22], ETS [23], GARCH [22], SVM [24], ANN [25] e CBF [?, ?]), não são usualmente adotados de forma agregada. Similarmente a GRP, isto é, por se encontrarem no estado da arte da literatura, um pacote que contemple tais formalismos a partir de uma interface amigável com o usuário parece inexistir. De fato, os *software* atualmente disponíveis que permitem estudos mais elaborados, e se aproximam destes formalismos, se dão mais a partir de linguagens de programação, tais como R [29] e SAS [30], sendo mais atraentes a cientistas do que a usuários em geral. Uma exceção seria o programa *GMDH Shell*, que contempla ao menos abordagens baseadas em ANN [31]. Por sua vez, *software* mais próximos ao público em geral, tais como o Excel [32], oferecem apenas soluções elementares, dificultando o suporte a decisão quando sistemas complexos são levados em consideração.

Logo, o desenvolvimento de uma ferramenta que permita aplicar o estado da arte da modelagem e previsão estatísticas de processos estocásticos de contagem, em geral, e de séries temporais em especial, mostra-se plenamente justificável. Vale destacar, neste sentido, que o desenvolvimento de tal ferramenta trata-se de uma extensão natural dos estudos desenvolvidos pelo componente e seus colaboradores [10, 33, 12, 34, 35, 21, 36, 37, 38, ?, 39]. Um dos grandes desafios do grupo de pesquisa tem residido na dificuldade em acessar dados confiáveis oriundos de sistemas de produção brasileiros, por exemplo, também demandando alternativas para cadastro dos fenômenos de interesse. Diante disso, o potencial comercial do produto e serviços correlatos de transferência tecnológica e extensão são evidentes.

Por fim, em se tratando dos desafios em termos de oportunidades de negócio, note-se que em sua grande maioria, as organizações brasileiras, por exemplo, não têm praticado as rotinas de planejamento e controle de qualidade mais sofisticadas. Tal cenário permite vislumbrar um grande mercado a ser explorado, por um lado, e um paradigma conservador a ser quebrado, por outro.

#### 2.4.4 Estado da arte

Do ponto de vista científico, alguns desafios devem ser também destacados, permitindo o próprio avanço do estado da arte sobre o tema de GRP e TS. Por exemplo, enfatizem-se as incertezas sobre a distribuição de probabilidades subjacente aos sistemas a serem estudados. A literatura corrente de GRP parece permitir modelar apenas a WGRP, como já sugerido anteriormente. É ainda possível que a Weibull não seja a melhor distribuição a se adequar aos dados de desempenho de alguns dos sistemas a serem envolvidos, o que certamente influenciaria na qualidade das análises subsequentes. Sobre este ponto, o proponente e seus colaboradores já têm estudado GRP envolvendo outras distribuições, como a Uniforme e a Gamma, a partir de projeto financiado pelo CNPq [39]. O projeto dedica-se ainda a melhores alternativas de modelagem e previsão de TS, com especial atenção à combinação de preditores a partir de cópulas, também refletindo a fronteira do

conhecimento da área.

## 2.5 Resultados Esperados

Espera-se, a partir da execução da proposta, publicar ao menos quatro artigos em periódicos de ampla circulação e dois em eventos internacionais, registrar junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) uma primeira versão de pacote estatístico sobre GRP e TS aplicável aos diversos setores, coorientar um projeto de doutorado, dois de mestrado, nove de iniciação científica (sendo três voltadas a estudantes do ensino médio) e seis de iniciação tecnológica e, por fim, prospectar potenciais cursos de formação continuada, para os profissionais dos diversos setores, acerca de ferramentas de controle de qualidade. As atividades a serem executadas para o alcance destes resultados são introduzidas a seguir, na Seção 2.7.

Espera-se ainda, a médio prazo, permitir a alimentação contínua de um banco de dados remoto, de acompanhamento e intervenção de sistemas de produção de bens e serviços, possibilitando estudos futuros de otimização e controle.

## 2.6 Metodologia

Com este projeto, deseja-se construir um sistema de informação que permita o cadastro, a modelagem e a previsão de processos estocásticos e séries temporais. O trabalho se baseará na implementação de rotinas computacionais envolvendo uma arquitetura em três camadas:

1. a de cadastro, leitura e alteração de dados;
2. a de estatística computacional e
3. a de interface amigável com o usuário.

O sistema será fundamentado nas boas práticas da Programação-Orientada a Objetos [40], com uma arquitetura flexível que permita modularizar as interações entre as camadas mencionadas.

Especificamente, a primeira camada seria implementada através de ferramentas de gerenciamento de bancos de dados relacionais tais como MySQL [41]; a segunda seria baseada nas linguagens de programação R [42] e/ou C++ [43] e a última adotaria a linguagem PHP [44] ou Java [45]. Tal arquitetura já vem sendo usada pelo proponente e seus colaboradores a partir de outros projetos financiados por instituições como a Finep/Petrobras [46], Chesf [47], FACEPE/CNPq [48, 49] e UFCA/CNPq [37].

Um trabalho inicial prévio às implementações envolverá novas revisões da literatura associada a GRP, TS e *software* acadêmicos e mercadológicos na área. A revisão será principalmente baseada nos acervos disponíveis a partir da CAPES e de portais como Google e Google Acadêmico. Para TS, serão inicialmente consideradas palavras-chave como *time series forecasting*, *combined forecasts*, *single forecasts*, *copulas*, *information criteria*, *artificial neural networks* e *software for time series*, além de livros como [50, 51, 52, 22, 25, 53, 54]. Para GRP, serão adotadas inicialmente termos de busca como *point process*, *renewal process*, *generalized renewal process* e *software for stochastic process*, além de livros como [55, 3, 50].

Sobre a taxonomia do banco de dados a ser adotada (objetivo (i)), propostas presentes na literatura serão também consideradas, em particular a ISO 14224 [56]. Apesar de tal taxonomia ser dedicada originalmente à falha e manutenção de sistemas tecnológicos, argumenta-se aqui que é possível generalizá-la a qualquer natureza de sistema, bem como a TS.

Sobre a interface de resultados para o usuário, serão gerados relatórios sintetizando a variabilidade do sistema e o seu histórico, bem como prevendo a ocorrência de seus eventos futuros de interesse. Especificamente para o caso de GRP, as principais modalidades de intervenção dos sistemas de produção, seus custos associados, seus interventores, um comparativo técnico de suas equipes de intervenção e datas nas quais novas intervenções deverão ocorrer serão também informados, de forma a permitir avaliações de equipes de manutenção e prevenir a ocorrência de eventos indesejáveis.

Para a etapa de modelagem de GRP e TS, o proponente e seus colaboradores utilizarão suas ferramentas, já reconhecidas pela comunidade científica e implementadas em programas estatísticos gratuitos tais como o R-Program [42], ilustradas em trabalhos recentes publicados em periódicos de grande relevância internacional [12, 21, 36, 34, 38, ?].

Quanto aos casos de estudo de que trata o objetivo (iv), estes poderão se dar a partir de sistemas mantidos pela própria instituição executora (Universidade Federal do Cariri), por organizações ou colaboradores parceiros desta, ou mesmo de portais da internet.

A etapa de transferência tecnológica de que trata o objetivo (v) se iniciará logo após a entrada de registro de *software* junto ao INPI. Primeiramente, campanhas publicitárias a partir da rede mundial de computadores serão desenvolvidas, contemplando os espaços institucionais dedicados ao grupo de pesquisa do proponente [57], portais diversos e redes sociais. Em seguida, cursos de formação para os diversos setores serão também realizados. Para as organizações de interesse, exercícios *in loco* serão então realizados, com natural preparação e acompanhamento de equipe interna.

## 2.7 Cronograma de Execução

Apresenta-se a seguir (Tabela 2) o cronograma de atividades a serem executadas ao longo dos 36 meses de suporte ao projeto. De maneira a balizar o acompanhamento do projeto, sua execução gerará os seguintes produtos:

- Dois relatórios, um sobre taxonomia de bancos de dados dedicados a processos estocásticos e séries temporais, outro sobre *software* existentes da área (atividades 5, 6 e 8);
- Relatório e estruturas, em formatos UML (do inglês *unified modeling language*) [58] e MySQL, do banco de dados relacionais (atividades 11, 12 e 15);
- Relatório, telas e passagens da interface amigável com o usuário (atividades 13 e 16);
- Documentação sobre o *software* desenvolvido (Atividade 19);
- Instalador do *software* desenvolvido (atividades 18-21);
- Campanha de publicização junto às redes sociais (vídeos, *folders*, mensagens) e visitas a representantes do primeiro, segundo e terceiro setores (atividades 22 e 23);

- Transferência tecnológica e formação continuada a profissionais interessados, a partir de cursos e/ou *workshops* (atividades 22 e 23);
- Seis artigos, que envolverão as revisões de literatura e resultados da implementação dos modelos de processos estocásticos e séries temporais (atividades 7, 10, 14, 17, 24 e 25);
- Registro junto ao INPI do *software* desenvolvido (Atividade 28);
- Um projeto de doutorado, dois de mestrado, nove de iniciação científica (sendo três voltadas a estudantes do ensino médio) e seis de iniciação tecnológica (ao longo de todas as 28 atividades).



Tabela 2: Cronograma de atividades.

Índice	Meses	Atividade
1	1 - 5	Revisão e nivelamento sobre modelos individuais de séries temporais (ARIMA, ETS, GARCH, ANN, SVM)
2	3 - 7	Revisão e nivelamento sobre combinadores de modelos de séries temporais (Média, Moda, Mediana, CBF, ANN)
3	5 - 9	Revisão e nivelamento sobre modelos de processos estocásticos de renovação (RP, NHPP, GRP, WGRP)
4	6 - 10	Revisão e nivelamento (R e/ou C++)
5	7 - 11	Revisão e nivelamento (taxonomia de banco de dados de intervenção de sistemas e séries temporais)
6	7 - 11	Revisão e nivelamento ( <i>software</i> existentes para análise de dados de intervenção e de séries temporais)
7	8 - 10	Redação e submissão do artigo #01 (a periódico internacional): otimizando modelos individuais de séries temporais
8	8 - 12	Coleta, registro e análise de sistemas de intervenção e séries temporais reais ( <i>software</i> existentes)
9	8 - 18	Implementação da camada de modelagem e análise de dados (R e/ou C++)
10	10 - 12	Redação e submissão do artigo #02 (a periódico internacional): o desempenho de modelos Bayesianos de processos de renovação
11	12 - 16	Revisão e nivelamento (MySQL)
12	16 - 18	Elaboração da arquitetura de bancos de dados relacionais (UML)
13	16 - 20	Revisão e nivelamento (Java ou PHP)
14	18 - 20	Redação e submissão do artigo #03 (a evento internacional): o desempenho de combinadores de modelos de séries temporais
15	18 - 22	Implementação da camada de bancos de dados relacionais (MySQL)
16	18 - 22	Implementação da camada de interface com o usuário (Java ou PHP)
17	20 - 22	Redação e submissão do artigo #04 (a evento internacional): comparando alternativas de modelagem de processos de renovação
18	22 - 23	Implementação da comunicação entre as camadas
19	24 - 26	Elaboração da documentação do <i>software</i>
20	24 - 27	Teste de laboratório e melhoria do <i>software</i> ( <i>burn in</i> )
21	27 - 28	Implementação do instalador do <i>software</i>
22	28 - 32	Realização de campanha de publicização do <i>software</i>
23	29 - 33	Coleta, registro e análise de dados de intervenção e séries temporais reais ( <i>software</i> proposto)
24	30 - 32	Redação e submissão do artigo #05 (a periódico internacional): Estudando a parcimônia de modelos de séries temporais
25	32 - 34	Redação e submissão do artigo #06 (a periódico internacional): Estudando a parcimônia de processos de renovação
26	33 - 35	Comparação de qualidade ( <i>software</i> proposto e alternativos)
27	33 - 36	Redação de relatório final
28	36 - 36	Entrada de registro junto ao INPI

## 2.8 Gestão

O projeto será desenvolvido primariamente no Centro de Ciências e Tecnologia da UFCA, na Unidade Crato do IFCE e na Escola Politécnica da UNISINOS, onde o proponente e seus colaboradores estão lotados. A contribuição de cada instituição se dará a partir das atividades a serem desempenhadas pelos seus docentes representantes e seus (co)orientandos, de acordo com o disposto na Tabela 3, a seguir.

Tabela 3: Equipe de docentes colaboradores

Instituição	Colaborador	Vínculo com o Projeto	Currículo Lattes *
UFCA	Rosilda Benício de Souza	Pesquisadora - Colaboradora no desenvolvimento e revisão de teorias e artigos, em especial ARIMA e ANN, implementação e melhoria de <i>software</i> e coorientação de (pós-)graduandos.	0530533098887803
UFCA	Francisco Alexandre Avila Rodrigues	Pesquisador - Colaborador no desenvolvimento e revisão de teorias e artigos, em especial Processos Estocásticos Registrados por Imagem, implementação e melhoria de <i>software</i> e coorientação de (pós-)graduandos.	2945663163659867
Instituto Federal do Ceará - IFCE	Cícero Carlos Felix de Oliveira	Pesquisador - Colaborador no desenvolvimento e revisão de teorias e artigos, em especial WGRP, implementação e melhoria de <i>software</i> e coorientação de (pós-)graduandos.	0479940625032580
Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS	Luiz Alberto Oliveira Rocha	Pesquisador - Colaborador no desenvolvimento e revisão de teorias e artigos, em especial na abordagem de casos reais envolvendo sistemas de produção e (co)orientação de (pós-)graduandos.	2535324018884724

\*<http://lattes.cnpq.br/>

Especificamente, serão considerados o pessoal e a infraestrutura dos grupos de pes-

quisa dos docentes:

- A UFCA, através dos membros do Grupo de Pesquisa em Modelagem Estatística, Simulação e Otimização de Risco - MESOR, contemplando os professores Paulo Renato, Rosilda Benício, Alixandre Avila e seus (co)orientandos de (pós-)graduação <sup>1</sup>;
- O IFCE, através do professor Cícero Carlos Felix e seus (co)orientandos de (pós-)graduação. O docente também pertence ao grupo MESOR.
- A UNISINOS, através do professor Luiz Alberto Oliveira Rocha e seus (co)orientandos de (pós-)graduação <sup>2</sup>.

Os mecanismos de articulação e acompanhamento a serem utilizados para execução do projeto envolverão os trabalhos de (co)orientação de (pós-)graduandos, bem como encontros presenciais rotineiros, no caso dos membros do grupo MESOR, e virtuais, no caso dos membros da UNISINOS. Como ilustração, o projeto está em alinhamento com três dissertações de mestrado, duas em Desenvolvimento Sustentável, pelo Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável da UFCA - PRODER - intituladas "*Modeling and forecasting sustainable development time series via single and combined approaches*" (sob a orientação do proponente e de Rosilda Benício) e "Automação de identificação e registro de falhas em linhas de produção" (sob a orientação do proponente e de Alixandre Avila), e outra em Estatística Aplicada, pelo Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada da UFRPE - PPGBEA, com título "Estudo do desempenho da combinação de preditores de séries temporais via Cópuas paramétricas e não-paramétricas" (sob a coorientação do proponente). Por outro lado, o projeto está também relacionado à tese de doutorado em processo de elaboração pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS - intitulado "Modelagem e previsão da demanda de *mix* de produtos e otimização da sua linha de produção" (sob a orientação de Luz Alberto e do proponente).

### 3 Potencial para a produção tecnológica e a inovação

O projeto propõe a promoção da inovação tecnológica como fluxo natural do desenvolvimento técnico-científico realizado pelo grupo de pesquisa MESOR [57], comprovado a partir de suas publicações [12, 21, 34, 38, 49, ?] e ferramentas [36, 37]. De fato, o principal entrave para a transferência tecnológica dos trabalhos desenvolvidos pelo grupo, em especial suas ferramentas de estatística computacional, tem sido a escassez ou mesmo inexistência em alguns setores, de dados a serem modelados. Assim, defende-se aqui que o desenvolvimento tecnológico a ser realizado pela execução do projeto e a extensão inovadora correspondente apresentam grande potencial de geração de oportunidades e quebras de paradigmas, inclusive para demais tipos de produção tecnológica e inovação específicas às organizações envolvidas. É notório, por exemplo, que o estímulo à cultura

---

<sup>1</sup><http://dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/1630806732793058>

<sup>2</sup><http://dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/6010572186691031>

do registro e análise de dados aproximará as organizações parceiras da era da informação e do conhecimento, facilitando o desenvolvimento de novos produtos, processos ou serviços correlatos. Como ilustração, citem-se que os produtos a serem desenvolvidos a partir da execução do projeto permitirão não apenas trabalhos envolvendo a catalogação manual de dados sobre sistemas dinâmicos, mas também, o desenvolvimento de *hardware* dedicados a tais ações. Projetos neste sentido já foram iniciados, a partir das dissertações e teses citadas anteriormente, na Seção 2.8, com ênfase na dissertação sobre automação, que permitirá o desenvolvimento de patentes específicas ao setor cerâmico [59] (ver Seção 5).

## 4 Potencial para ações de empreendedorismo inovador

O produto e serviços correlatos de instalação, catalogação e busca de dados, manutenção e treinamento de pessoal, permitirão ações empreendedoras e inovadoras no que tange a melhoria da qualidade das organizações interessadas. Tal paradigma intrínseco ao *software*, baseado em sistemas de informação para tomada de decisão sob incerteza, permitirá, para os sistemas de produção de bens e serviços, desenvolver a cultura da otimização quanto à redução dos desperdícios, à qualidade dos produtos/serviços, à segurança do trabalho e à redução do custo de manutenção de máquinas e equipamentos. Um caminho natural, neste sentido, será a criação de oportunidades para a formação e atuação de profissionais dedicados à manutenção e ao uso de sistemas de informação desta natureza, podendo contemplar (pós-)graduados das diversas áreas, desde a Saúde e as Sociais, até as Exatas e Engenharias.

## 5 Potencial para atendimento a necessidades dos diversos setores

As necessidades por parte dos diversos setores produtivos serão prospectadas a partir da etapa final do projeto, iniciando-se efetivamente com a Atividade 22 do cronograma (Tabela 2). De qualquer forma, demandas específicas de instituições voltadas ao setor cerâmico do estado do Ceará, em especial de calcário laminado, já têm sido trabalhadas, a partir do projeto de dissertação envolvendo automação [59]. Deseja-se, a partir do projeto, oferecer uma tecnologia que promova a medição automática, previsão e melhoria de qualidade do desempenho do processo de produção do calcário laminado. O projeto conta atualmente com demanda específica do Centro de Tecnologia Mineral do Cariri, mantido pelo governo do Estado do Ceará (ver Declaração no Anexo, Seção 6)

## Referências

- [1] ROSS, S. M. et al. *Stochastic processes*. [S.l.]: John Wiley & Sons New York, 1996. v. 2.
- [2] BOX, G. E.; JENKINS, G. M.; REINSEL, G. C. *Time series analysis: forecasting and control*. 3rd. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1994.

- [3] MODARRES, M.; KAMINSKIY, M. P.; KRIVTSOV, V. *Reliability engineering and risk analysis: a practical guide*. [S.l.]: CRC press, 2009.
- [4] KIJIMA, M.; SUMITA, U. A useful generalization of renewal theory: counting processes governed by non-negative markovian increments. *Journal of Applied Probability*, JSTOR, p. 71–88, 1986.
- [5] STADJE, W.; ZUCKERMAN, D. Optimal repair policies with general degree of repair in two maintenance models. *Operations Research Letters*, Elsevier, v. 11, n. 2, p. 77–80, 1992.
- [6] MAKIS, V.; JARDINE, A. K. A note on optimal replacement policy under general repair. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 69, n. 1, p. 75–82, 1993.
- [7] KOBACZY, K. A.; JEON, J. Generalized stationary models for scheduling single and multiple preventive maintenance routines. *IMA Journal of Management Mathematics*, IMA, v. 13, n. 2, p. 81–94, 2002.
- [8] YANEZ, M.; JOGLAR, F.; MODARRES, M. Generalized renewal process for analysis of repairable systems with limited failure experience. *Reliability Engineering & System Safety*, Elsevier, v. 77, n. 2, p. 167–180, 2002.
- [9] JAIN, M.; MAHESHWARI, S. Generalized renewal process (grp) for the analysis of software reliability growth model. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, World Scientific, v. 23, n. 02, p. 215–227, 2006.
- [10] FIRMINO, P. R. A. et al. Política ótima de manutenção preventiva de sistemas reparáveis baseada em confiabilidade. In: *XX Congresso Panamericano de Engenharia Naval Transporte Marítimo e Engenharia Portuária (COPINAVAL)*. [S.l.: s.n.], 2007.
- [11] MOURA, M. das C. et al. A competing risk model for dependent and imperfect condition-based preventive and corrective maintenances. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, SAGE Publications, v. 228, n. 6, p. 590–605, 2014.
- [12] FERREIRA, R. J.; FIRMINO, P. R. A.; CRISTINO, C. T. A mixed kijima model using the weibull-based generalized renewal processes. *PLoS ONE*, Public Library of Science, v. 10, n. 7, p. e0133772, 07 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1371>
- [13] KIJIMA, M.; MORIMURA, H.; SUZUKI, Y. Periodical replacement problem without assuming minimal repair. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 37, n. 2, p. 194–203, 1988.
- [14] KAMINSKIY, M. P.; KRIVTSOV, V. V. G-renewal process as a model for statistical warranty claim prediction. In: IEEE. *Reliability and Maintainability Symposium, 2000. Proceedings. Annual*. [S.l.], 2000. p. 276–280.
- [15] KRIVTSOV, V. *A Monte Carlo approach to modeling and estimation of the generalized renewal process in repairable system reliability analysis*. [S.l.: s.n.], 2000.

- [16] LOVE, C. et al. A discrete semi-markov decision model to determine the optimal repair/replacement policy under general repairs. *European journal of operational research*, Elsevier, v. 125, n. 2, p. 398–409, 2000.
- [17] METTAS, A.; ZHAO, W. Modeling and analysis of repairable systems with general repair. In: IEEE. *Reliability and Maintainability Symposium, 2005. Proceedings. Annual*. [S.l.], 2005. p. 176–182.
- [18] VEBER, B.; NAGODE, M.; FAJDIGA, M. Generalized renewal process for repairable systems based on finite weibull mixture. *Reliability Engineering & System Safety*, Elsevier, v. 93, n. 10, p. 1461–1472, 2008.
- [19] WANG, Z.-M.; YANG, J.-G. Numerical method for weibull generalized renewal process and its applications in reliability analysis of nc machine tools. *Computers & Industrial Engineering*, Elsevier, v. 63, n. 4, p. 1128–1134, 2012.
- [20] TANWAR, M.; RAI, R. N.; BOLIA, N. Imperfect repair modeling using kijima type generalized renewal process. *Reliability Engineering & System Safety*, Elsevier, v. 124, p. 24–31, 2014.
- [21] OLIVEIRA, C. C. F. de; CRISTINO, C. T.; FIRMINO, P. R. A. In the kernel of modelling repairable systems: a goodness of fit test for weibull-based generalized renewal processes. *Journal of Cleaner Production*, Elsevier, v. 133, p. 358–367, 2016.
- [22] CRYER, J. D.; CHAN, K.-S. *Time series analysis with applications in R*. 2nd. ed. New York: Springer, 2008.
- [23] HYNDMAN, R. et al. *Forecasting with Exponential Smoothing: The State Space Approach*. 2008. Berlin: Springer.
- [24] STEINWART, I.; CHRISTMANN, A. *Support vector machines*. New York: Springer Science & Business Media, 2008.
- [25] HAYKIN, S. *Neural networks, a comprehensive foundation*. 2nd. ed. New Jersey, 1994.
- [26] ITEM. *Tutorial Guide*. [S.l.].
- [27] ISOGRAPH. *Tutorial Guide*. [S.l.].
- [28] RELIASOFT. *Tutorial Guide*. [S.l.].
- [29] R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria, 2018. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>.
- [30] SAS. *Statistical Analysis System*. North Carolina, USA, 2018. Disponível em: <<http://www.sas.com/>>.
- [31] GROUP, G. R. *GMDH Shell*. New York, USA, 2018. Disponível em: <<https://gmdhsoftware.com/>>.

- [32] MICROSOFT. *Microsoft Office Excel*. Washington, USA, 2018. Disponível em: <<https://products.office.com/pt-br/excel/>>.
- [33] MOURA, M. das C. et al. A competing risk model for dependent and imperfect condition-based preventive and corrective maintenances. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, SAGE Publications, v. 228, n. 6, p. 590–605, 2014.
- [34] FIRMINO, P. R. A.; NETO, P. S. de M.; FERREIRA, T. A. Correcting and combining time series forecasters. *Neural networks*, Elsevier, v. 50, p. 1–11, 2014.
- [35] OLIVEIRA, R. T. A. et al. Combining time series forecasting models via gumbel-hougaard copulas. In: *1st BRICS Countries Conference on Computational Intelligence*. Porto de Galinhas: [s.n.], 2013. p. 1–6.
- [36] FIRMINO, P. R.; SANTANA, N. A.; NETO, A. B. S. *Mesor-elicitor: Pacote para Educação do Conhecimento na Gestão de Riscos*. [S.l.].
- [37] FIRMINO, P. R. A. *Ferramenta baseada em processos de renovação generalizados para determinação de políticas de avaliação da qualidade e de previsão de intervenções a sistemas complexos*. [S.l.].
- [38] FIRMINO, P. R. A.; NETO, P. S. M.; FERREIRA, T. A. E. Error modeling approach to improve time series forecasters. *Neurocomputing*, v. 153, p. 242–254, 2015.
- [39] FIRMINO, P. R. A. *Aprimorando modelos estatísticos dedicados a processos estocásticos*. [S.l.].
- [40] SMITH, B. *Object-Oriented Programming*. California: Springer, 2015.
- [41] MYSQL, A. *MySQL*. 2001.
- [42] TEAM, R. C. R: A language and environment for statistical computing. vienna, austria; 2014. URL <http://www.R-project.org>, 2015.
- [43] STROUSTRUP, B. *The C++ programming language*. India: Pearson Education, 1986.
- [44] VASWANI, V. *PHP: A BEGINNER'S GUIDE*. [S.l.]: McGraw-Hill, Inc., 2008.
- [45] BURD, B. *Java for dummies*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2011.
- [46] DROGUETT, E. L. et al. *Gerenciamento dos Riscos da Infraestrutura do Gás Natural Baseado na Confiabilidade*. [S.l.].
- [47] FIRMINO, P. R. A. *Redes Bayesianas para a parametrização da confiabilidade em sistemas complexos*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Pernambuco, 2004.
- [48] FIRMINO, P. R. A. *Avaliação do Desempenho de Métodos de Quantificação do Conhecimento*. [S.l.].

- [49] FIRMINO, P. R. A.; DROGUETT, E. L. An expert opinion elicitation method based on binary search and bayesian intervals. *International Journal of Risk Assessment and Management*, Inderscience Publishers (IEL), v. 18, n. 3-4, p. 336–362, 2015.
- [50] ANDERSEN, T. G. et al. *Handbook of financial time series*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009. (Mathematics and Statistics). ISBN 9783540712978. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=u1TmA-lm7loC>>.
- [51] CHATFIELD, C. *Time-series forecasting*. New York: Chapman & Hall/CRC, 2000.
- [52] NELSEN, R. B. *An Introduction to Copulas*. 2nd. ed. New York: Springer, 2006.
- [53] PALIT, A. K.; POPOVIC, D. *Computational intelligence in time series forecasting: theory and engineering applications*. London: Springer-Verlag, 2005.
- [54] KONISHI, S.; KITAGAWA, G. *Information criteria and statistical modeling*. New York: Springer Science & Business Media, 2008.
- [55] RIGDON, S. E.; BASU, A. P. *Statistical methods for the reliability of repairable systems*. [S.l.]: Wiley New York, 2000.
- [56] ISO, T.; SC, N. Petroleum, petrochemical and natural gas industries-collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. n. 14224, 2006.
- [57] MESOR: grupo de pesquisa em modelagem estatística, simulação e otimização de risco. Disponível em: <<http://mesor.ufca.edu.br>>.
- [58] BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. *UML: guia do usuário*. Brasil: Elsevier, 2006.
- [59] LEAL, F. Murilo de C. *Automação de identificação e registro de falhas em linhas de produção*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Cariri, 2018.

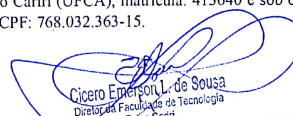


## 6 Anexo - Declaração de demanda quanto ao estudo de automação para processo de produção mineral no Cariri-CE.

**FATEC**  
FACULDADE DE TECNOLOGIA CENTEC  
FATEC CARIRI

**CENTEC**  
INSTITUTO CENTRO DE ENSINO TECNOLÓGICO

Declaro para fins de comprovação que Faculdade de Tecnologia (FATEC Cariri), por meio de colaboração com a unidade denominada Centro de Tecnologia Mineral do Cariri (CTMC), terá aplicada a pesquisa intitulada "Automação de indentificação, registro e previsão de falhas em linhas de produção" desenvolvida pelo discente Flávio Murilo de Carvalho Leal, CPF: 037.060.063-08, regularmente matriculado no Mestrado Acadêmico em Desenvolvimento Regional Sustentável da Universidade Federal do Cariri (UFCA), matrícula: 413640 e sob orientação de Paulo Renato Alves Firmino, CPF: 768.032.363-15.



Cicero Emerson L. de Sousa  
Diretor da Faculdade de Tecnologia  
Fatec Cariri

---

Cicero Emerson Lacerda de Sousa  
Diretor Regional