Serviço Público Federal

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA
SISTEMA INTEGRADO DE PATRIMÔNIO, ADMINISTRAÇÃO E CONTRATOS

PROCESSO 23422.001557/2021-89

ELETRÔNICO

Cadastrado em 05/02/2021

Processo disponível para recebimento com código de barras/QR Code

Nome(s) do Interessado(s):	E-mail:	Identificador:
RAPHAEL FORTES INFANTE GOMES	raphael.gomes@unila.edu.br	2349089

Tipo do Processo:
AFASTAMENTO PARA PÓS-DOUTORADO

Assunto Detalhado:
O DOCENTE RAPHAEL FORTES INFANTE GOMES, SOLICITA AFASTAMENTO PARA PÓS-DOUTORADO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA. NO PERÍODO DE 05/07/2021 À 05/07/2022.

Unidade de Origem:
DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DO INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS DA VIDA E DA NATUREZA (10.01.06.03.04.01)

Criado Por:
ALENCAR RODRIGUES DA SILVA

Observação:

MOVIMENTAÇÕES ASSOCIADAS

Data	Destino
08/02/2021	CENTRO INTERDISCIPLINAR DE CIÊNCIAS DA NATUREZA (10.01.06.03.04.04)
23/02/2021	INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS DA VIDA E DA NATUREZA (10.01.06.03.04)

Data	Destino

SIPAC | Coordenadoria de Tecnologia da Informação - | | Copyright © 2005-2021 - UFRN - preto1.unila.sig1

Para visualizar este processo, entre no **Portal Público** em https://sig.unila.edu.br/public e acesse a Consulta de Processos.

Visualizar no Portal Público

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA-UNILA
Pró-Reitoria de Gestão de Pessoas – PROGEPE
Departamento de Desenvolvimento Profissional e Pessoal – DDPP

REQUERIMENTO DE AFASTAMENTO TOTAL
PÓS-DOUTORADO - DOCENTES

Para preenchimento do(a) servidor(a) interessado(a)

Orientações:

- Preencher e assinar o presente requerimento e termo de compromisso e responsabilidade;
- Documentos em língua estrangeira deverão apresentar tradução, constando identificação do responsável;
- Abrir processo no Departamento Administrativo do Instituto;
- A solicitação de afastamento deverá ser encaminhada ao Conselho do Instituto com antecedência mínima de 60 (sessenta) dias da data prevista para o início do afastamento, nos termos do art. 26, parágrafo único da Resolução 008/2014);
- Após aprovação do afastamento, o processo deverá ser encaminhado ao DDPP (no mínimo, com 30 (trinta) dias de antecedência da data de início do afastamento).

1. Identificação do(a) servidor(a)			
Nome completo:	RAPHAEL FORTES INFANTE GOMES.		
SIAPE:	2349089.		
Cargo:	DOCENTE.	Lotação:	ILACVN.
Curso(s) com aulas:	ENGENHARIA FÍSICA.		
Possui CD ou FG?	(X) Sim*. Qual? FCC ( ) Não. *Em caso afirmativo e se o afastamento/licença requerido for superior a 30 (trinta) dias, o interessado deverá proceder aos trâmites para o pedido de Exoneração de Função Gratificada/Cargo de Direção/Função de Coordenação de Curso.		
Telefone para contato:	(45) 99107-1322.	E-mail:	raphael.gomes@unila.edu.br

2. Tipo de afastamento					
2.1 Abrangência do afastamento: (X) Pós-Doutorado no país* ( ) Pós-Doutorado fora do país* *A concessão será com **ônus limitado**, ou seja, o servidor perceberá apenas o vencimento ou salário e demais vantagens, conforme legislação vigente.					
Instituição:	UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA.				
Cidade:	JUIZ DE FORA.	Estado:	MG.	País:	BRASIL.
Ano de término do vínculo:	2022.				
Período de afastamento solicitado: (início e término)	05/07/2021 à 05/07/2022.				
Consta no PDP?*	(X) **Sim – inserir cópia do trecho do PDP*** ( ) **Não.** Justifique:_____				

	*A partir de 2021, os afastamentos serão concedidos apenas se a necessidade de desenvolvimento constar no PDP do órgão do ano anterior, sendo obrigatória a apresentação pelo(a) servidor(a) de cópia do trecho do PDP.

3. Reposição / Distribuição dos encargos		
3.1 (X) Distribuição dos encargos	Nome do servidor indicado:	RODRIGO SANTOS DA LAPA (COORDENADOR DA ÁREA DE FÍSICA). OBS: COMO NOS ANOS ANTERIORES, OS ENCARGOS SERÃO DISTRIBUÍDOS ENTRE TODOS OS DOCENTES DA ÁREA DE FÍSICA.
3.2 ( ) Contratação de professor substituto (verificar trâmites junto à Divisão de Concursos)		

4. Justificativa do servidor para a solicitação do afastamento (descrever a importância e a relevância do afastamento para a UNILA)

O afastamento possui como finalidade aprimorar a capacitação profissional do requerente e os conhecimentos sobre gestão educativa docente, ao permitir que o mesmo se aprofunde na área de pesquisa que conduz na Instituição e introduza novas ferramentas metodológicas nas disciplinas que ministra na UNILA. O tema abordado no projeto de pós-doutorado possui aplicações nas áreas de Computação Quântica, Inteligência Artificial e *Machine Learning*, cujas descobertas têm influência direta no meio científico e na tomada de decisões do mercado financeiro no cenário contemporâneo.

5. Plano de trabalho (constando cronograma de atividades detalhado, apresentado à instituição onde será realizado o programa de pós-doutorado)

VIDE ANEXOS.

6. Demais informações (marcar o campo abaixo)

Vem requerer: **AFASTAMENTO PARA PÓS-DOUTORADO**
(X) Declaro que o horário ou o local da ação de desenvolvimento inviabilizará o cumprimento da minha jornada semanal de trabalho.

7. Termo de compromisso e responsabilidade

Pelo presente termo, declaro que estou ciente que:
1. Somente poderei me ausentar da UNILA após a publicação da portaria de concessão no Boletim de Serviços, e que, em se tratando de afastamento do país, a ausência somente poderá ocorrer após a publicação do afastamento no Diário Oficial da União;
2. Caso o afastamento seja concedido, devo solicitar a exoneração ou dispensa do cargo ou função que desempenho à chefia imediata, com encaminhamento dos documentos necessários à PROGEPE;
3. O Conselho de Instituto poderá especificar documentos complementares e definir procedimentos para fundamentação processual visando à análise da solicitação de afastamento, conforme disposto no art. 31 da Resolução n° 008/2014;
4. Caso seja necessário prorrogar o tempo de afastamento, deverei apresentar o pedido ao DDPP/PROGEPE, com antecedência mínima de 30 dias (o processo deverá ser instruído com a documentação necessária e a anuência das instâncias cabíveis – Centro Interdisciplinar e Conselho do Instituto);
5. Após o retorno, deverei permanecer na UNILA, na condição de servidor ativo, por período mínimo equivalente ao período do afastamento concedido, contado da data de retorno do afastamento;
6. Em caso da não apresentação de documentos comprobatórios da efetiva conclusão da capacitação no prazo de 30 dias da data de retorno às atividades, estarei sujeito(a) ao ressarcimento dos gastos com meu afastamento ao órgão ou à entidade, na forma da legislação vigente (art. 26 da Instrução Normativa n° 201/2019).

Em caso de concessão do afastamento, comprometo-me a:

1. Informar imediatamente ao Departamento Administrativo do Instituto e à PROGEPE/DDPP qualquer alteração no curso do afastamento;
2. Apresentar ao Departamento Administrativo do Instituto o relatório parcial, compreendendo os seis primeiros meses de liberação no caso de afastamento superior a dez meses, até 30 (trinta) dias após completar o período, e o relatório final, contendo documento comprobatório da efetiva participação no pós-doutorado, até 60 (sessenta) dias após o término do pós-doutorado;
3. Retornar às atividades na UNILA, após a conclusão do pós-doutorado ou após a finalização do prazo do afastamento. (Caso a conclusão do pós-doutorado ocorra antes do término do prazo concedido, a situação deverá ser informada ao DDPP/PROGEPE com antecedência, para publicação de portaria de retorno antecipado);
4. Não me ausentar do país durante a vigência do afastamento, caso o afastamento seja concedido no país, exceto em caso de férias, finais de semana e feriados (para mais informações o servidor deverá entrar em contato com o Departamento de Administração de Pessoal – DAP);
5. Solicitar afastamento do país para realização da pesquisa e participação em eventos, caso seja necessário no decorrer do curso, com antecedência mínima de 30 dias;
6. Acessar o e-mail institucional frequentemente e manter atualizados meus dados cadastrais.

Por fim, declaro que:
1. Não respondo a Processo Administrativo Disciplinar – PAD e que caso a situação seja alterada até o início do afastamento, informarei à PROGEPE/DDPP, em virtude do disposto no art. 9º da Resolução 008/2014;
2. Estou adimplente com as minhas obrigações na UNILA, e que em caso de participação em ação de extensão ou programa de pesquisa, vinculados à PROEX e à PRPPG, informarei às respectivas Pró-Reitorias sobre a possibilidade de concessão do afastamento;
3. Apresentei os relatórios de finalização de projeto de pesquisa ou de extensão (caso o docente tenha participado de ação de extensão ou programa de pesquisa);
4. Entreguei ao Centro Interdisciplinar o Plano Individual de Trabalho Docente – PITD, dos dois últimos anos, conforme determina a Resolução CONSUN nº 044, de 18 de dezembro de 2014;
5. Tenho ciência do disposto no art. 96-A da Lei n. 8.112/90, incluído pela Lei n. 11.907/2009;
6. Não possuo tempo de aposentadoria inferior a 3 anos, a contar da data de início do afastamento (art. 25, § 2º, I da Resolução 008/2014);
7. Li as normativas vigentes de afastamento (Decreto nº 9.991/2019, Instrução Normativa n° 201/2019 do Ministério da Economia e Resolução CONSUN 008/2014), estou ciente do seu conteúdo e da documentação necessária para solicitar o afastamento.

O requerimento deverá ser assinado digitalmente pelo(a) servidor(a) interessado(a) e pelo(a) servidor(a) que assumirá os encargos, se for o caso.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

PROJETO DE PESQUISA

Análise de Computadores e Algoritmos Quânticos com Aplicações de Aprendizado de Máquina Quântico.

Prof. Dr. Raphael Fortes Infante Gomes.

Prof. Dr. Rodrigo Alves Dias.

2020

Resumo

O Aprendizado de Máquina (Machine Learning) transformou radicalmente a maneira com a qual interagimos e lidamos com conjuntos de dados. Essa área de conhecimento se faz presente em uma vasta gama de aplicações, como na programação da Inteligência Artificial (I.A.) de robôs, algoritmos de recombinação genética e *softwares* de reconhecimento facial. O funcionamento de tais sistemas é pautado em análises de conjuntos de dados volumosos, forçando algoritmos e recursos computacionais a operarem em condições próximas de seus respectivos limites. De um modo geral, o processamento e o intercâmbio de dados podem ser modelados através de conceitos associados à Teoria da Informação Clássica. Todavia, com a miniaturização progressiva da tecnologia, verificamos que os fenômenos quânticos assumem um protagonismo cada vez maior nas escalas de tecnologia de processamento de informação presentes nos dispositivos atuais, em contraste com os efeitos descritos de modo generalizado pela Física Clássica. Sob tais condições, a interface entre a Física Quântica e o Aprendizado de Máquina gera dois cenários promissores: se de um lado estima-se que os algoritmos de *Machine Learning* possam ser aplicados na compreensão e no controle de sistemas quânticos, do outro há a expectativa de que os dispositivos computacionais quânticos aprimorem o desempenho de algoritmos de Aprendizado de Máquina para solucionar problemas que hoje situam-se além do limiar das máquinas contemporâneas. Com o advento dos primeiros computadores quânticos que permitem a execução de algoritmos em nuvem, aliado às colaborações estabelecidas entre os profissionais envolvidos no projeto e alguns dos desenvolvedores desses dispositivos, vamos explorar o potencial de inovação tecnológica inerente a ambos os cenários sob a ótica da Teoria da Informação Quântica e do Aprendizado de Máquina Quântico. Para isso, analisaremos os Kits de Desenvolvimento de Software (KDS) quânticos disponíveis no mercado, visando determinar quais são os *softwares* e as linguagens de programação que otimizam a transcrição, compilação, execução e o desempenho dos algoritmos quânticos, classificando-os em quesitos como o grau de complexidade na interface e nas ferramentas disponíveis no sistema, o tempo de execução gasto nas simulações, a precisão dos resultados e a quantificação das incertezas referentes aos dados obtidos. Em paralelo, investigaremos a viabilidade de aplicar conceitos de *Quantum Machine Learning* para

otimizar as soluções de algoritmos clássicos e quânticos nos dispositivos computacionais analisados. A proposta apresenta uma metodologia inédita, munida do propósito de auxiliar pesquisadores que pretendem trabalhar com *softwares* e linguagens de programação quântica, sejam eles estudantes de graduação, pós-graduação, docentes e/ou profissionais que atuam no ramo. A principal referência das análises será baseada na linguagem *Python*, utilizada na plataforma *Quantum Experience* disponibilizada pela *IBM* no ano de 2019.

Palavras-chave: Computação Quântica. Informação Quântica. Criptografia Quântica. Emaranhamento. Decoerência. Aprendizado de Máquina Quântico.

FEDERAL UNIVERSITY OF JUIZ DE FORA

RESEARCH PROJECT

Analysis of Computers and Quantum Algorithms with Quantum Machine Learning Applications.

Prof. Dr. Raphael Fortes Infante Gomes.

Prof. Dr. Rodrigo Alves Dias.

2020

Abstract

Machine Learning has radically transformed the way in which we interact and deal with data sets. This area of knowledge is present in a wide range of applications, such as the programming of robots' Artificial Intelligence (A.I.), genetic recombination algorithms and facial recognition software. The functioning of such systems is based on the analysis of large data sets, forcing algorithms and computational resources to operate under conditions close to their respective limits. In general, data processing and exchange can be modeled through concepts associated with Classical Information Theory. However, with the progressive miniaturization of technology, we find that quantum phenomena assume an increasing role in the scales of information processing technology present in current devices, in contrast to the effects generally described by Classical Physics. Under such conditions, the interface between Quantum Physics and Machine Learning generates two promising scenarios: if on the one hand it is estimated that Machine Learning algorithms can be applied in the understanding and control of quantum systems, on the other there is the expectation that quantum computing devices improve the performance of Machine Learning algorithms to solve problems that today are beyond the threshold of contemporary machines. With the advent of the first quantum computers that allow the execution of cloud algorithms, reinforced with the collaborations established between the professionals involved in this project and some of the developers of those devices, we will explore the potential for technological innovation inherent to both scenarios from the perspective of Quantum Information Theory and Quantum Machine Learning. For this purpose, we will analyze the quantum Software Development Kits (KDS) available on the market, aiming to determine which software and programming languages optimize the transcription, compilation, execution and performance of quantum algorithms, classifying them in rankings such as complexity degree in the interface and the tools available in the system, the execution time spent in simulations, the results' precision and quantification of the uncertainties regarding the data obtained. In parallel, we will investigate the feasibility of applying Quantum Machine Learning concepts to optimize the solutions of classical and quantum algorithms in the computational devices analyzed. The proposal presents an unprecedented methodology, aimed with the purpose of assisting researchers who intend to work with software and quantum programming languages, whether they are undergraduate, graduate students, professors and/or professio-

nals working on the field. The main reference of the analyzes will be based on the Python language, used on the Quantum Experience platform made available by IBM in 2019.

Keywords: Quantum Computing. Quantum Information. Quantum Cryptography. Entanglement. Decoherence. Quantum Machine Learning.

I. INTRODUÇÃO

A hipótese de que a física quântica poderia atuar sensivelmente sobre o processamento de informações em sistemas digitais [1] foi elaborada décadas após o surgimento da Teoria da Informação Clássica e do avanço da computação digital em larga escala, até ser definitivamente estabelecida no final do século anterior. Por sua vez, as tecnologias desenvolvidas no século passado permitiram que bilhões de transistores fossem integrados em um único chip, o que fez com que a miniaturização dos componentes evoluísse de forma cada vez mais veloz (como previsto pela *Lei de Moore*). Logo, à medida que as dimensões destes componentes são reduzidas, suas respectivas escalas se aproximam de ordens de grandeza nas quais os efeitos quânticos são preponderantes, e, nestes domínios, tais fenômenos só poderão ser compreendidos e controlados sob a ótica do conceito de *qubits*. *Qubits* são as unidades fundamentais que regem os processos de comunicação quântica: em sistemas computacionais, um bit é representado por dígitos binários discretos (como 0 e 1) e equivale à menor unidade de informação que pode ser utilizada em um determinado procedimento; já um *qubit* (contração da expressão *quantum*-bit) pertence à uma faixa contínua de valores contida nas diversas configurações que um sistema físico de dois níveis pode assumir.

Por outro lado, o avanço significativo na área de processamento de Informação Quântica na última década pode ser atribuído em grande parte ao sucesso das aplicações experimentais. Neste contexto, a adaptação dos dispositivos de comunicações óticas para escalas onde prevalecem as leis da mecânica quântica permitiu a realização de feitos notáveis para o desenvolvimento desta área, como a geração e a distribuição de estados emaranhados fotônicos [2] através de fibras óticas e a produção de tecnologias comerciais (como os sistemas de distribuição de chave quântica) [3].

Todavia, a manipulação de sistemas fotônicos trouxe à tona um empecilho para o desenvolvimento da Computação Quântica, visto que a interação entre fótons é um recurso difícil de ser obtido e controlado com precisão. A mudança neste contexto surgiu com a descoberta do chamados modelos *measurement-based*: neste cenário, os algoritmos quânticos passam a depender de sequências de medidas sobre um estado quântico emaranhado que deve ser preparado previamente à execução do processo, e não de uma série de portas quânticas reversíveis conectadas através de interações entre dois ou mais *qubits*. Neste caso, além de poder ser implementado em protocolos de comunicação quântica tais como teletransporte [4–9], criptografia [10–12] e codificação superdensa [13, 14], o emaranhamento pode ser utilizado em algoritmos de Computação Quântica [15–17] e está presente na discussão de correlações não locais [18–20].

A. *Qubits* e Sistemas de Dois Níveis

Exemplos de *qubits* em sistemas reais são encontrados nos mais variados cenários, como na restrição das energias do átomo de hidrogênio ao conjunto que engloba seu estado fundamental e o primeiro estado excitado, nos diferentes arranjos para a transmissão de fótons polarizados em eixos perpendiculares e em propriedades intrínsecas da matéria, como as orientações *up* e *down* do spin de um elétron em uma determinada direção quando este é submetido à presença de um campo magnético não-uniforme. Desse modo, qualquer *qubit* pode ser descrito por uma combinação dos estados da base computacional padrão [21] como

$$|\Psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle, \tag{1}$$

onde os coeficientes α e β obedecem à condição de normalização $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$.

B. Operador e Matriz Densidade

Enquanto um sistema puro pode ser expresso segundo a relação $|\Psi(t)\rangle = \sum_i C_{u_i}(t)|u_i\rangle$, estados mistos são aqueles sobre os quais não há informação suficiente para determinar com exatidão seu vetor de estado, como, por exemplo, uma máquina térmica que produz l estados aleatórios quaisquer $|\Psi_a\rangle$, $|\Psi_b\rangle$,..., $|\Psi_l\rangle$ não necessariamente ortonormais. Em cenários como este, chamados de mistura estatística, só é permitido supor que há uma probabilidade não-nula de que o sistema se encontre em algum dos possíveis estados $|\Psi_k\rangle$, e, portanto, é preciso descrevê-lo como uma combinação entre estes diferentes estados dispondo apenas do conhecimento da probabilidade p_k associada a $|\Psi_k\rangle$. Para isso, é necessário analisar o operador densidade

$$\rho = p_1|\Psi_1\rangle\langle\Psi_1| + p_2|\Psi_2\rangle\langle\Psi_2| + \ldots + p_l|\Psi_l\rangle\langle\Psi_l| = \sum_{k=1}^{l} p_k|\Psi_k\rangle\langle\Psi_k|, \tag{2}$$

onde p_k representa a chance de o sistema ser encontrado em $|\Psi_k\rangle$. Se a informação relativa a este estado estiver completa - ou seja, $p_k = 1$ - o operador densidade é reduzido a $\rho = |\Psi_k\rangle\langle\Psi_k|$ e o sistema assume as características de um estado puro [21].

1. *Operador Densidade para um* Qubit

O operador densidade de um *qubit* é dado por

$$\rho = \frac{1}{2}\left\{I + x(\sigma_x) + y(\sigma_y) + z(\sigma_z)\right\} = \frac{1}{2}\begin{bmatrix} 1+z & x-iy \\ x+iy & 1-z \end{bmatrix}, \tag{3}$$

onde σ_x, σ_y e σ_z são as matrizes de Pauli e $|r|^2 = x^2 + y^2 + z^2$ é o raio da esfera de Bloch que representa o estado do *qubit* [21]. Logo, estados puros são representados por pontos situados na superfície na esfera de Bloch, enquanto sistemas mistos são descritos por vetores cujos módulos são menores do que o raio desta esfera.

2. *Operador Densidade para Sistemas Compostos*

Sejam os operadores lineares e os estados de base $\{\hat{O}^A; |u_i\rangle\} \in H_A$ e $\{\hat{O}^B; |w_l\rangle\} \in H_B$ e seja o sistema constituído pelo vetor de estado $|\Psi\rangle$ em $H_{A,B} \equiv H_A \otimes H_B$ tal que $|\Psi\rangle = \sum_{l=1}^{N_B} \sum_{i=1}^{N_A} D_{i,l}(|u_i\rangle \otimes |w_l\rangle)$, onde H_A e H_B são espaços vetoriais de dimensão N_A e N_B, respectivamente. Neste caso, o operador densidade deste sistema [21] será dado por

$$\rho = |\Psi\rangle\langle\Psi| = \sum_{j,p} \sum_{i,l} D_{i,l} D^*_{j,p} |u_i\rangle|w_l\rangle\langle u_j|\langle w_p|. \tag{4}$$

Suponha que seja aplicado sobre o sistema um operador $\hat{O} \in H$ que atua somente sobre os vetores que residem em H_A. Sob esta restrição, $\hat{O}$ pode ser expresso como $\hat{O} = \hat{O}^A \otimes I^B$, onde $\hat{O}^A$ atua apenas nos estados relativos ao subsistema H_A e I^B mantém inalterados os vetores pertencentes à H_B. Assim, é possível reduzir o operador densidade de um sistema para que este fique somente em função do subsistema A através do cálculo de

$$\rho^A = \mathrm{Tr}_B \rho = \sum_q \langle w_q|\rho|w_q\rangle \tag{5}$$

sobre os estados de base $|w_q\rangle$ de B. Deste modo, é possível obter a probabilidade de este sistema reduzido estar associado a algum dos estados de base $|u_i\rangle$ de A ($p_i = \langle u_i|\rho^A|u_i\rangle$) e calcular o valor esperado do operador $\hat{O}^A$ ($\langle\hat{O}^A\rangle = \mathrm{Tr}(\rho^A\hat{O}^A)$). Note que não há restrições para as dimensões dos subsistemas A e B e que os mesmos também podem ser compostos.

C. Decoerência

Uma das características que distingue a Mecânica Quântica da Mecânica Clássica reside na possibilidade de um sistema quântico poder se apresentar como uma superposição de estados ortogonais associados a resultados específicos de medidas de grandezas físicas. Por um lado, sistemas mistos podem ser relacionados à configurações específicas de estados clássicos que são descritos por misturas estatísticas, pois, se $\rho^{'}$ é um operador densidade tal que

$$\rho^{'} = |\alpha|^2|0\rangle\langle 0| + |\beta|^2|1\rangle\langle 1| = \begin{bmatrix} |\alpha|^2 & 0 \\ 0 & |\beta|^2 \end{bmatrix} \tag{6}$$

onde $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ e $\{\alpha,\ \beta\} \neq 0$, é possível gerar amostras que contenham apenas os estados $|0\rangle$ e $|1\rangle$ distribuídos com as respectivas frequências $|\alpha|^2$ e $|\beta|^2$ sem que ocorra superposição entre os mesmos. Entretanto, se $|0\rangle$ e $|1\rangle$ são estados ortogonais associados a autovalores reais, não há modo de reproduzir o estado $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$ empregando somente conceitos clássicos, e, portanto, estados puros como o da Eq. (1) são essencialmente quânticos.

Os elementos que não pertencem à diagonal principal da matriz de um operador densidade são denominados de termos de coerência (ou termos coerentes), e sua estrutura auxilia a identificar o caráter quântico do sistema em questão. Note que a adição dos fatores $(\alpha\beta^*)|0\rangle\langle 1|$ e $(\alpha^*\beta)|1\rangle\langle 0|$ à Eq. (6) reconstrói a superposição $\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$ e recupera o estado $|\psi\rangle$, visto que $(\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle)\,(\alpha^*\langle 0| + \beta^*\langle 1|) = |\psi\rangle\langle\psi|$. Por este motivo, a pureza de um sistema depende diretamente da presença e da forma pela qual se apresentam os termos coerentes. À medida que a magnitude destes elementos se aproxima de zero, o sistema tende a assumir as características de um estado completamente misto, e, no cenário particular em que estes termos são nulos, sempre existirá uma representação diagonal para este sistema dada por $\rho = s_{u_i}|u_i\rangle\langle u_i|$, onde ρ é uma mistura estatística que pode ser utilizada para descrever um conjunto de estados clássicos u_i distribuídos com frequência s_{u_i}.

Quando um sistema puro interage com um meio externo e as informações relativas ao estado $|\psi\rangle$ são expostas a este meio, é inevitável a ocorrência de um fenômeno que afeta o estado global no qual este sistema está inserido e destrói a pureza da função de onda original: a **decoerência**. Se a transformação que rege a dinâmica do sistema não for conhecida *a priori*, o estado

$$\rho^{'A} = \frac{1}{2}(I + r.^{'}\sigma) \tag{7}$$

e suas respectivas coordenadas na esfera de Bloch $r^{'} \equiv (x^{'}, y^{'}, z^{'})$ podem ser obtidos através de um mapa linear gerado por matrizes de rotação M e deslocamento Δ [21] tal que

$$r^{'} = Mr + \Delta, \tag{8}$$

onde r reúne as componentes de ρ^A análogas às de $r^{'}$ antes da referida transformação. Neste caso, as coordenadas $x^{'}$, $y^{'}$ e $z^{'}$ podem ser analisadas em cenários nos quais M e Δ podem ser construídos diretamente a partir dos coeficientes de $\rho^{'A}$ ou em configurações nas quais seja possível estimá-los através de realizações experimentais específicas.

De modo geral, a ação do ambiente é fruto de uma interação complexa com o sistema inicial ρ^A. Contudo, os operadores de Pauli e a matriz Identidade formam um conjunto linearmente independente de matrizes 2x2 e as mesmas podem ser combinadas para descrever qualquer mapa unitário que atue sobre um sistema de dois níveis. Se quisermos incluir estes

operadores em uma transformação arbitrária geral, o traço sobre os estados de base do sistema ambiente implícito no estado global deve resultar na soma de quatro elementos distintos, e, por isso, a matriz associada ao operador densidade do ambiente deve possuir dimensão 4x4. Assim, imagina-se que este subsistema seja formado por um par de *qubits* como

$$|\Phi\rangle_{b,c} = \alpha|00\rangle_{b,c} + \beta|01\rangle_{b,c} + \gamma|10\rangle_{b,c} + \delta|11\rangle_{b,c}, \tag{9}$$

onde $|\alpha|^2 + |\beta|^2 + |\gamma|^2 + |\delta|^2 = 1$. Logo, seu respectivo operador densidade e o estado inicial do sistema global corresponderão respectivamente a

$$\rho_{inicial} = \rho^{B,C} \otimes \rho^A = \begin{bmatrix} |\alpha|^2\rho^A & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & |\beta|^2\rho^A & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & |\gamma|^2\rho^A & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & |\delta|^2\rho^A \end{bmatrix}, \tag{10}$$

onde ρ^A é o sistema de interesse e $\cdots$ indicam elementos fora da diagonal principal nas respectivas representações matriciais.

Por sua vez, se o mapa da evolução que atua sobre todo o sistema for expresso em função dos estados de base do subsistema $\{B, C\}$, a matriz $U^{B,C,A}$ deve conter os elementos σ_i e I^A de forma que

$$U^{B,C,A} = \begin{bmatrix} \sigma_x^A & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_y^A & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_z^A & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I^A \end{bmatrix}, \tag{11}$$

e, considerando a hermiticidade dos operadores de Pauli ($\sigma_i^\dagger = \sigma_i$), o estado final do sistema global será equivalente a $\rho_{final} = U^{B,C,A}\rho_{inicial}U^{\dagger B,C,A}$, para o qual a análise do mapa

$$\begin{aligned} \rho^{'A} &= S(\rho^A) = \mathrm{Tr}_{B,C}\left(\rho_{final}\right) \\ &= |\alpha|^2\sigma_x^A\rho^A\sigma_x^A + |\beta|^2\sigma_y^A\rho^A\sigma_y^A + |\gamma|^2\sigma_z^A\rho^A\sigma_z^A + |\delta|^2(I^A)\rho^A(I^A) \end{aligned} \tag{12}$$

revela que os operadores σ_i^A e I^A estão atrelados aos coeficientes do vetor de estado inicial do subsistema B, C na Eq. (9). Como o módulo quadrático destes coeficientes indica a probabilidade de ocorrência dos mesmos, ρ^A será submetido a uma determinada operação sempre que o respectivo coeficiente associado a mesma na Eq. (12) seja não-nulo. Repare que a semelhança desta equação com a representação via operador-soma na qual $\rho^{'A} = \sum_k E_k\rho E_k^\dagger$ possibilita a definição de

$$E_0 \equiv |\delta|I^A, \;\; E_1 \equiv |\alpha|\sigma_x^A, \;\; E_2 \equiv |\beta|\sigma_y^A \;\text{ e }\; E_3 \equiv |\gamma|\sigma_z^A, \tag{13}$$

permitindo que os operadores de Kraus [22] sejam associados ao mapa mais geral possível para descrever decoerências arbitrárias que atuam sobre um *qubit*.

D. Separabilidade

Dado um sistema bipartite composto de dois subsistemas independentes A e B e contido em $H_{A,B} \equiv H_A \otimes H_B$, diz-se que ele é separável [21] se existir uma representação $|\Psi\rangle_{a,b}$ tal que

$$|\Psi\rangle_{a,b} = |\alpha\rangle_a \otimes |\beta\rangle_b \tag{14}$$

se o sistema for um estado puro ou

$$\rho^{A,B} = \sum_k p_k(\rho_k^A \otimes \rho_k^B) \tag{15}$$

caso $\rho^{A,B}$ seja um estado misto, onde $p_k \geq 0$ e $\sum p_k = 1$. Sistemas desta natureza sempre satisfazem à desigualdade de Bell [20] e podem ser criados via operações locais e comunicação clássica, e determinar se um dado estado misto possui decomposição semelhante à Eq. (15) não é uma tarefa trivial para a maioria dos casos.

Considere um sistema $\rho^{A,B}$ e uma base ortonormal $|u_i\rangle|w_l\rangle$ contida no espaço composto $H_{A,B} \equiv H_A \otimes H_B$ onde o elemento de matriz $\rho^{A,B}_{i,l;j,p}$ é dado por

$$\rho^{A,B}_{i,l;j,p} = \langle u_i|\langle w_l|\rho^{A,B}|u_j\rangle|w_p\rangle. \tag{16}$$

Visto que os autovalores de qualquer matriz densidade são não-negativos e supondo que $\rho^{A,B}$ seja expressa pela Eq. (15), Peres [23] observou que a matriz

$$(\rho^{A,B})^{T_A} = \sum_k p_k \left\{(\rho_k^A)^T \otimes \rho_k^B\right\} \tag{17}$$

também deveria ser separável, onde os elementos

$$\left\{(\rho^{A,B})^{T_A}\right\}_{i,l;j,p} = \rho^{A,B}_{j,l;i,p} \tag{18}$$

que compõem a matriz $(\rho^{A,B})^{T_A}$ são fruto da transposição dos coeficientes de $\rho^{A,B}$ em relação aos projetores $|u_i\rangle\langle u_j|$ e $|u_j\rangle\langle u_i|$ atrelados ao subsistema A. Logo, a existência de pelo menos um autovalor negativo para a matriz da Eq. (17) implicaria que $\rho^{A,B}$ não seria separável, e que, portanto, o sistema estaria emaranhado.

Aliado às contribuições de Horodecki [24], demonstrou-se que o critério de Peres consolida-se como condição necessária e suficiente para determinar a separabilidade de estados mistos em sistemas de dimensões 2x2 e 2x3. Há sistemas com dimensões superiores chamados de estados emaranhados ligados (*bound entangled states*), cujas matrizes densidade parcialmente transpostas não possuem autovalores negativos e que também não podem ser destilados via operações locais e comunicação clássica. Para estes estados, o critério de Peres obviamente falha.

Todavia, sua abrangência não deve ser subestimada visto que existem estados emaranhados que são detectados por este critério e não violam a desigualdade de Bell.

Por sua vez, existem operadores hermitianos que podem ser utilizados para distinguir estados quânticos de sistemas emaranhados. Estes operadores são conhecidos como testemunhas de emaranhamento, e o resultado obtido para o valor esperado dos mesmos varia de acordo com a presença de emaranhamento nestes sistemas. Embora os indícios de emaranhamento sejam difíceis de serem detectados (devido à sua multiplicidade), é possível rastreá-los através de mapas positivos. Se houver um mapa positivo que atue sobre um dos subsistemas e forneça resultado negativo para o estado global, concluimos que este estado está emaranhado [25]. Algumas variáveis termodinâmicas podem desempenhar a função de testemunhas de emaranhamento em determinados sistemas, como a temperatura e a magnetização associadas aos mesmos [26].

Contudo, encontrar mapas positivos é uma tarefa quase tão difícil como encontrar testemunhas de emaranhamento, pois, embora a teoria associada a este conceito seja matematicamente elegante, sua aplicação é considerada pouco viável. Quando o estado em questão estiver emaranhado, sempre existirá uma testemunha de emaranhamento que confirme este fato; porém, à medida que a dimensionalidade do sistema aumenta, a detecção destes indícios fica cada vez mais complexa [26]. O critério para definir a existência de emaranhamento só pode ser analisado de forma simples em circunstâncias muito especiais, como em sistemas compostos de dois *qubits*. Em cenários como este, a investigação envolvendo mapas positivos torna-se trivial: ela pode ser resumida à declaração de que, se a transposição parcial do estado bipartite fornecer um operador negativo, conseqüentemente este estado estará emaranhado [27, 28] (de acordo com o critério de Peres-Horodecki).

E. Computação Quântica

Abordaremos nesta seção as principais operações lógicas utilizadas para alterar o conteúdo de estados quânticos em circuitos (Fig. 1) compostos por um ou dois *qubits*, utilizando como referência a respectiva atuação das mesmas sobre os sistemas arbitrários descritos pelos estados $\alpha|0\rangle+\beta|1\rangle$ e $\alpha^{'}|00\rangle_{a,b}+\beta^{'}|01\rangle_{a,b}+\gamma^{'}|10\rangle_{a,b}+\delta^{'}|11\rangle_{a,b}$. A ação das portas lógicas X, Y e Z é descrita pela representação das matrizes de Pauli na base computacional padrão. Finalizaremos a seção apresentando os algoritmos quânticos mais relevantes associados à implementação de computadores quânticos.

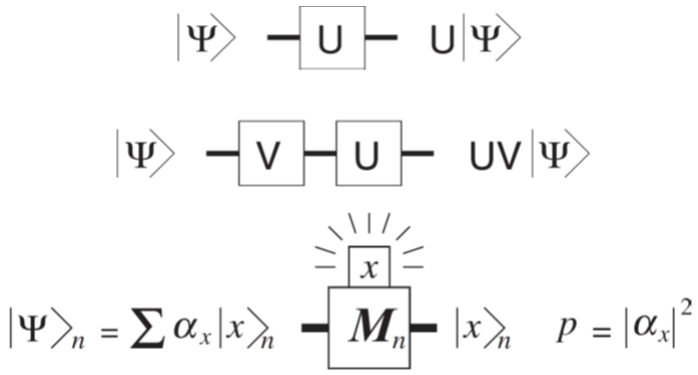


Figura 1. Representação esquemática de portas lógicas quânticas (U e V), as subsequentes leituras de estados ($|\Psi\rangle$ e $|x\rangle_n$) em um circuito quântico e as probabilidades associadas às mesmas ($p = |\alpha_x|^2$). ***Fonte***: Figura adaptada de [29].

1. *Portas lógicas de um* Qubit

Porta X (NOT): tal como sua análoga clássica, a porta X (ou NOT) inverte o conteúdo de um *qubit* ao intercambiar os estados $|0\rangle$ e $|1\rangle$.

$$\sigma_x(\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle) = \alpha|1\rangle + \beta|0\rangle. \tag{19}$$

Porta Z: a porta Z mantém o *qubit* $|0\rangle$ inalterado e inverte o sinal do fator de fase atrelado ao estado $|1\rangle$.

$$\sigma_z(\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle) = \alpha|0\rangle - \beta|1\rangle. \tag{20}$$

Porta Y: a porta Y introduz o fator de fase i e inverte o conteúdo dos estados $|0\rangle$ e $|1\rangle$. No caso do último, o sinal relativo às constantes multiplicativas $+1$ ou -1 também sofre inversão.

$$\sigma_y(\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle) = i\alpha|1\rangle - i\beta|0\rangle. \tag{21}$$

Como complemento aos operadores de Pauli, merecem destaque duas operações essenciais para a manipulação de *qubits* individuais: as portas $Hadammard$ e $Fase$.

Hadammard: a porta H gera uma superposição simétrica entre os estados $|0\rangle$ e $|1\rangle$.

$$H(\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle) = \alpha(\frac{|0\rangle + |1\rangle}{\sqrt{2}}) + \beta(\frac{|0\rangle - |1\rangle}{\sqrt{2}}). \tag{22}$$

Fase: a porta de $Fase$ mantém o *qubit* $|0\rangle$ inalterado e acrescenta o fator de fase i ao estado $|1\rangle$.

$$S(\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle) = \alpha|0\rangle + i\beta|1\rangle. \tag{23}$$

A Fig. 2 mostra o diagrama das principais portas simples que podem atuar sobre um *qubit*, com suas respectivas nomenclaturas e representações matriciais.

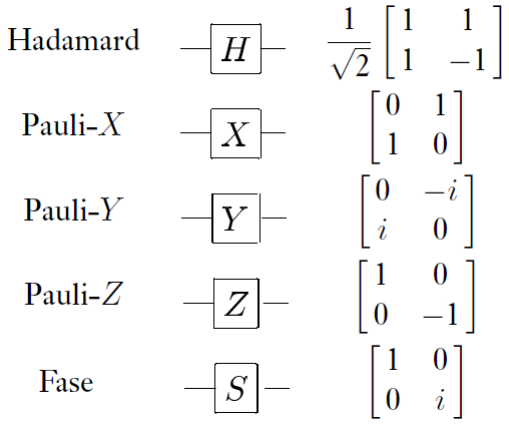


Figura 2. Portas simples que atuam sobre um *qubit*, suas respectivas nomenclaturas e representações matriciais.
Fonte: Figura adaptada de [30].

2. Portas lógicas de dois Qubits

As portas que atuam sobre dois *qubits* operam no espaço que contém os estados $|0\rangle|0\rangle$, $|0\rangle|1\rangle$, $|1\rangle|0\rangle$ e $|1\rangle|1\rangle$. Quando uma porta é classificada como "controlada", o estado final do par de *qubits* só é alterado quando o *qubit* de controle está ativo, como mostra o exemplo da Fig. 3 para a porta C_{NOT}. Observe que o círculo menor está posicionado sobre o *qubit* de controle e que o mecanismo de operação da porta está condicionado ao preenchimento deste símbolo: para o círculo vazio, a porta entra em ação quando o estado de controle é igual a $|0\rangle$, e para o círculo cheio a ativação ocorre quando o estado de controle é igual a $|1\rangle$. Adotaremos a notação indicada na primeira ilustração, assumindo que as portas são ativadas quando o primeiro *qubit* encontra-se no estado $|1\rangle$.

Not-Controlada: a porta C_{NOT} inverte o conteúdo do segundo *qubit* quando o estado do *qubit* de controle é igual a $|1\rangle$.

$$\begin{aligned} &C_{NOT\,a,b}(\alpha'|00\rangle_{a,b} + \beta'|01\rangle_{a,b} + \gamma'|10\rangle_{a,b} + \delta'|11\rangle_{a,b}) \\ &= \alpha'|00\rangle_{a,b} + \beta'|01\rangle_{a,b} + \gamma'|11\rangle_{a,b} + \delta'|10\rangle_{a,b}. \end{aligned} \tag{24}$$

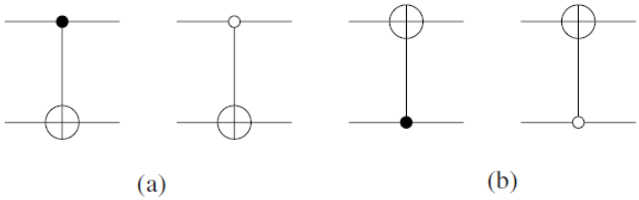


Figura 3. Figura esquemática para portas de dois *qubits*. Em (**a**): controle no primeiro *qubit*. Em (**b**): controle no segundo *qubit*. O círculo menor preenchido no *qubit* de controle denota que a ativação da porta ocorre quando o estado de entrada é igual a $|1\rangle$, e o círculo menor vazio no *qubit* de controle representa a ativação da porta quando o estado de entrada é igual a $|0\rangle$.
Fonte: Figura adaptada de [30].

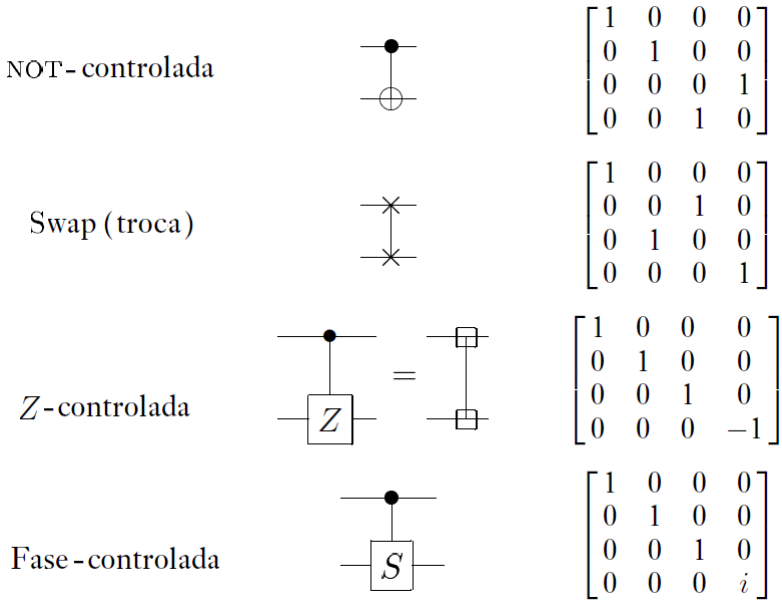


Figura 4. Portas que atuam sobre dois *qubits*, suas respectivas nomenclaturas e representações matriciais.
Fonte: Figura adaptada de [30].

Sw(Troca): a porta Sw permuta o valor dos *qubits*.

$$\begin{aligned}&(Sw)_{a,b}(\alpha^{'}|00\rangle_{a,b} + \beta^{'}|01\rangle_{a,b} + \gamma^{'}|10\rangle_{a,b} + \delta^{'}|11\rangle_{a,b})\\ &= \alpha^{'}|00\rangle_{a,b} + \beta^{'}|10\rangle_{a,b} + \gamma^{'}|01\rangle_{a,b} + \delta^{'}|11\rangle_{a,b}.\end{aligned} \tag{25}$$

Z-Controlada: a porta Z inverte o sinal global entre os dois *qubits* quando o controle e o alvo são iguais a $|1\rangle$.

$$\begin{aligned}&Z_{a,b}(\alpha^{'}|00\rangle_{a,b} + \beta^{'}|01\rangle_{a,b} + \gamma^{'}|10\rangle_{a,b} + \delta^{'}|11\rangle_{a,b})\\ &= \alpha^{'}|00\rangle_{a,b} + \beta^{'}|01\rangle_{a,b} + \gamma^{'}|10\rangle_{a,b} - \delta^{'}|11\rangle_{a,b}.\end{aligned} \tag{26}$$

Fase-Controlada: a porta de $Fase$ acrescenta a fase i entre os dois *qubits*

quando o controle e o alvo são iguais a $|1\rangle$.

$$\begin{aligned} &S_{a,b}(\alpha^{'}|00\rangle_{a,b} + \beta^{'}|01\rangle_{a,b} + \gamma^{'}|10\rangle_{a,b} + \delta^{'}|11\rangle_{a,b}) \\ &= \alpha^{'}|00\rangle_{a,b} + \beta^{'}|01\rangle_{a,b} + \gamma^{'}|10\rangle_{a,b} + i\delta^{'}|11\rangle_{a,b}. \end{aligned} \tag{27}$$

A Fig. 4 mostra o diagrama das principais portas de dois *qubits* com suas respectivas nomenclaturas e representações matriciais. A escolha adequada de portas lógicas simples e de dois *qubits*, aliado à técnicas de correções de erros [31] e operações específicas que atuam sobre sistemas tripartites (como as portas Toffoli e Fredkin) garantem a condição necessária para a implementação de um computador quântico universal [30].

3. Algoritmos e Circuitos Quânticos

Finalizaremos esta seção destacando os algoritmos quânticos mais conhecidos, cujo principal objetivo consiste em encontrar soluções de forma mais eficaz do que os métodos usuais adotados em sistemas clássicos [29]:

(1) Algoritmo de Deutsch: determina se uma função booleana expressa por $f : \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}$ é constante (no caso em que todas as saídas são idênticas) ou balanceada (quando o número de saídas associadas ao estado lógico $|0\rangle$ é idêntico aos resultados previstos para o estado $|1\rangle$).

(2) Algoritmo de Bernstein-Vazirani: seja uma função $f : \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}$ e duas sequências de n bits dadas por x e a, onde a primeira é previamente conhecida e a última representa uma chave oculta. Se a relação

$$f(x) = x.a = \sum_{i=0}^{n-1} x_i.a_i \tag{28}$$

é satisfeita e pode ser implementada por uma função inerente ao sistema, o algoritmo revela os caracteres que definem a chave a.

(3) Algoritmo de Simon: determina o período r de uma função periódica expressa por $f : \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}$, onde as soluções da equação $f(a) = f(b)$ são dadas por $a = b$ ou $a \oplus b = r$.

(4) Algoritmo de Grover: protocolo de busca probabilístico elaborado para encontrar uma informação específica de um conjunto de dados de forma exponencialmente mais rápida do que os métodos clássicos tradicionais. A estrutura do código é baseada em uma sequência de operações de inversão de fase e inversão sobre a média que atuam simultaneamente

sobre os *qubits* inseridos no circuito, cuja solução final pode ser obtida com uma taxa de sucesso próxima de 100%.

(5) Algoritmo de Shor: sequência de operações projetada para determinar os fatores primos de números naturais compostos em uma escala de tempo que decresce de forma polinomial quando comparada aos métodos clássicos usuais. O código utiliza as propriedades da Transformada de Fourier Quântica e possui aplicação direta na área de criptografia, em especial na decodificação de chaves criptografadas pelo método RSA associadas a números primos consideravelmente extensos [32].

II. JUSTIFICATIVA

A. Computação Quântica

Um dos principais problemas contemporâneos que demanda uma vasta capacidade de recusos computacionais consiste em simular com precisão o dobramento e o desdobramento de moléculas de proteínas e sua interação com novas drogas, e atualmente é impossível reproduzir comportamentos em escala molecular sem despender valores consideráveis de energia e meses de processamento. Uma iniciativa conhecida nessa área é o *foldinghome*, que se propõe a lidar com problemas dessa classe utilizando o poder distribuído de milhões de computadores simultaneamente. Nesse sentido, a combinação de técnicas de *Quantum Machine Learning* e Computação Quântica [33, 34] poderia reduzir o tempo de processamento para escalas da ordem de minutos e segundos, auxiliando o desenvolvimento de remédios mais precisos no enfrentamento de doenças como o *Alzheimer* e o *Parkinson*.

Nos últimos anos, uma das áreas que mais tem recebido investimentos é a da chamada Internet Quântica [35], cujos especialistas prometem resolver problemas em sistemas distribuídos (como, por exemplo, manter um conjunto de dados em sincronia). Para armazenar bits digitais em sistemas de nuvem (como o *Dropbox* e o *Google Drive*), é necessário preservar a integridade desses dados de forma que os mesmos possam ser acessados de forma indistinta em qualquer lugar do planeta. Recentemente, a *IBM* anunciou um plano de desenvolvimento de uma classe de computadores quânticos que seriam projetados para resolver problemas contemporâneos de alto nível de complexidade. Os primeiros protótipos já foram apresentados, e a previsão é de que o poder de processamento desses dispositivos deve aumentar consideravelmente ao longo dos próximos dez anos. Alguns desses modelos - como o *IMBQ* (Fig. 5) - foram disponibilizados com livre acesso para o público, e outras empresas já anunciaram o desenvolvimento de novas plataformas. De acordo com a consultoria Gartner, a Computação Quântica deve entrar na fase

de uso produtivo nos negócios em até cinco anos.

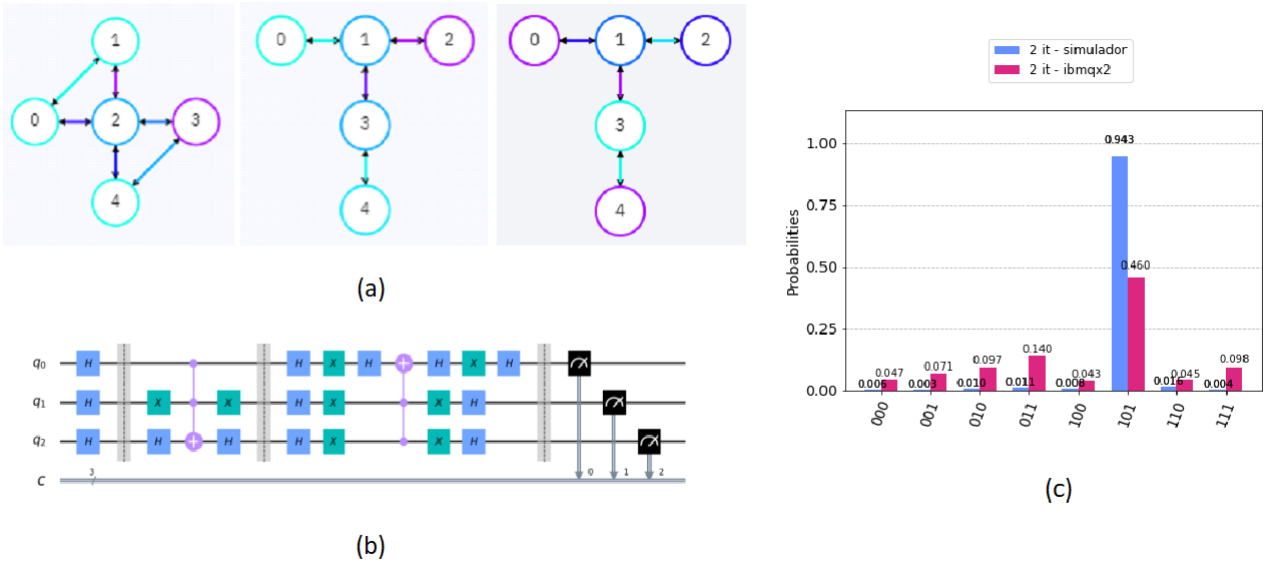


Figura 5. Informações sobre a interface e os sistemas da plataforma *Qiskit*. Em (**a**): Diagrama de taxa de erros e conectividade entre qubits nos dispositivos *ibmqx2*, *ibmqburlington* e *ibmqvigo*. Em (**b**): Circuito quântico projetado para executar o algoritmo de Grover. Em (**c**): Comparação entre o simulador e o dispositivo *ibmqx2*. As barras verticais exibem os resultados obtidos para o algoritmo de Grover após duas iterações.

Fonte: Figura adaptada de [36].

B. O Aprendizado de Máquina Quântico *(Quantum Machine Learning)*

O Aprendizado de Máquina (*Machine Learning*) baseia-se na minimização de uma função multivariada restrita, com algortimos relacionados à técnicas de mineração e visualização de dados. Por sua vez, o resultado da otimização está atrelado a uma função de decisão que mapeia pontos de entrada para os dados de saída.

As aplicações de Aprendizado de Máquina contribuíram para o desenvolvimento de diversas linhas de pesquisa contemporâneas relevantes, como a descoberta do Bóson de Higgs e a detecção de ondas gravitacionais. Na área da Computação, o progresso gerou avanços experimentais que tangenciam o limiar de produção do primeiro computador quântico prático, e o Aprendizado de Máquina tem sido utilizado progressivamente no controle e aproveitamento de efeitos quânticos. Experimentos quânticos de última geração (como sistemas ópticos e aplicações de estado sólido) já atingiram escalas em que os métodos de otimização enfrentam perspectivas sem precedentes de manutenção de dados [37].

Por sua vez, a Teoria da Informação Quântica prevê a implementação de algoritmos quânticos promissores que resolveriam problemas computacionais complexos em escalas de tempo consideravelmente reduzidas, como a fatoração de números primos e a busca por informações em bancos de dados extensos. Nesse caso, os conceitos envolvidos nos algoritmos poderiam ser estendidos para problemas relevantes de Aprendizado de Máquina e Inteligência Artificial. Resultados recentes provam que sistemas quânticos podem oferecer recursos físicos para aprimorar o Aprendizado de Máquina com algoritmos quânticos, incluindo aplicações em *Deep Learning* [38–40].

Os desafios a serem enfrentados neste campo emergente estão relacionados à entrada de dados clássicos em dispositivos quânticos, o processamento desses dados de forma eficiente e a leitura subsequente de informações clássicas relevantes. Além do desenvolvimento de algoritmos quânticos para Aprendizado de Máquina, houve progresso no desenvolvimento de uma teoria que pode identificar as limitações físicas fundamentais e naturais de tais métodos, bem como no emprego de algoritmos de aprendizado para refinar o controle e o aproveitamento de efeitos quânticos [41–44]. Inserida nesse contexto, a Teoria da Informação Quântica também auxiliaria na compreensão do modo pelo qual as leis fundamentais da natureza afetariam a capacidade de aprendizado dos agentes físicos. Embora o desenvolvimento de computadores quânticos universais não esteja previsto para os próximos anos, os métodos de aprendizagem que requerem *hardwares* especializados já podem ser explorados com a tecnologia atual. Por conseguinte, os resultados relevantes adquiridos ao longo do trabalho poderiam ser utilizados por grupos de pesquisa residentes no Brasil e no exterior.

III. DISSEMINAÇÃO E AVALIAÇÃO

A. Objetivos Gerais

(1) Determinar quais são os *softwares* e as linguagens de programação que otimizam a transcrição, compilação, execução e o desempenho dos algoritmos quânticos, classificando-os em quesitos como o grau de complexidade na interface e nas ferramentas disponíveis no sistema, o tempo de execução gasto nas simulações, a precisão dos resultados e a quantificação das incertezas referentes aos dados obtidos.

(2) Investigar a viabilidade de aplicar conceitos de *Quantum Machine Learning* para otimizar as soluções de algoritmos clássicos e quânticos nos sistemas analisados.

B. Objetivos Específicos

(1) Aprofundar o conhecimento dos sistemas computacionais quânticos disponíveis no mercado, incluindo tanto *softwares* como *hardwares*.

(2) Testar os algoritmos quânticos pré-existentes nas plataformas e propor a elaboração de novos modelos.

(3) Explorar as técnicas de *Quantum Machine Learning* que possam ser aplicadas no aprimoramento de sistemas quânticos.

(4) Investigar a viabilidade de aplicar algoritmos de Aprendizado de Máquina para solucionar problemas complexos em dispositivos computacionais quânticos.

(5) Comparar as características dos *softwares* e as linguagens de programação abordados.

(6) Expandir as parcerias com instituições acadêmicas, empresas e organizações nacionais e estrangeiras, colaborando com o aprimoramento dos *softwares* e linguagens de programação adotados nas plataformas dos respectivos desenvolvedores.

IV. MATERIAIS E MÉTODOS

A. Softwares e Linguagens de Programação Quânticas

Os *Kits de Desenvolvimento de Software* (KDS) quânticos fornecem grupos de ferramentas para desenvolver e simular algoritmos quânticos, além de permitir a execução de códigos através de dispositivos quânticos baseados em nuvem [45].

1. KDS com acesso a processadores quânticos

QISKIT: é um projeto de código aberto desenvolvido pela *IBM*. Os circuitos quânticos são criados e manipulados utilizando-se *Python*, *Swift* ou *Java*. Os resultados podem ser obtidos através de simuladores executados no próprio dispositivo do usuário, nos simuladores da *IBM* ou em protótipos de dispositivos quânticos fornecidos pela empresa. Além da capacidade de criar programas utilizando operações quânticas básicas, os algoritmos de nível superior estão disponíveis no pacote *Qiskit Aqua* (*Algorithms for QUantum Applications*). O *Qiskit* é baseado no padrão *OpenQASM* (utilizado para representar circuitos quânticos) e oferecerá suporte ao controle de nível de pulso de sistemas quânticos, conforme especificado pelo padrão

OpenPulse.

OCEAN: é um conjunto de ferramentas de código aberto desenvolvido pela *D-Wave*. Foi escrito majoritariamente na linguagem *Python*, e permite aos usuários formular problemas nos formatos *Ising Model* e QUAT (*Quadratic Unconstrained Binary Optimization*). Os resultados podem ser obtidos através do envio de dados para um computador quântico on-line no *Leap* ou para o *Quantum Application Environment* em tempo real da *D-Wave*, por exemplo.

PROJECTQ: é um projeto de código aberto que utiliza a linguagem *Python* para criar e manipular circuitos quânticos. Os resultados podem ser obtidos em um simulador ou através do envio de dados para dispositivos quânticos da *IBM*.

FOREST: é um projeto de código aberto desenvolvido pela *Rigetti*, que utiliza a linguagem *Python* para criar e manipular circuitos quânticos. Os resultados são obtidos através de simuladores ou protótipos de dispositivos quânticos fornecidos pela cia. O *FOREST* permite criar programas usando operações quânticas básicas, e os algoritmos de nível superior estão disponíveis no pacote *Grove*.

T|KET⟩: é um ambiente de programação quântica e compilador de otimização desenvolvido pela *Cambridge Quantum Computing*, que possui como alvo simuladores e vários *back-ends* de *hardware* quântico.

2. KDS baseados em simuladores

QUANTUM DEVELOPMENT KIT: é um projeto desenvolvido pela Microsoft como parte da plataforma *NET Framework*. Os algoritmos quânticos podem ser escritos e executados tanto no *Visual Studio* como no *VSCode*.

CIRQ: é um projeto de código aberto desenvolvido pela *Google*, que utiliza a linguagem *Python* para criar e manipular circuitos quânticos. Os resultados são obtidos através de simuladores executados no próprio dispositivo do usuário.

STRAWBERRY FIELDS: é uma biblioteca na linguagem *Python* de código

aberto desenvolvida pela *Xanadu* para projetar, simular e otimizar circuitos ópticos quânticos de variáveis contínuas.

3. Linguagens de Programação Quânticas

As principais linguagens de programação quânticas (como **Q#**), **QCL**, **Q**$|SI\rangle$ serão exploradas em paralelo com a análise dos *Kits de Desenvolvimento de Software* [45].

Q#: linguagem desenvolvida pela *Microsoft* para ser utilizada com o *Quantum Development Kit*.

QCL: foi uma das primeiras linguagens de programação quântica implementadas. O recurso mais importante do ***QCL*** é o suporte para operadores e funções definidos pelo usuário. Sua sintaxe se assemelha à da linguagem de programação ***C***, o que permite combinar estruturas de códigos clássicos e quânticos em um mesmo programa.

Q$|SI\rangle$: é uma plataforma embutida na linguagem *.NET*. Inclui um compilador da linguagem "*while*" quântica e uma cadeia de ferramentas para a simulação de Computação Quântica, otimização de circuitos quânticos, análise de terminação e verificação de programas quânticos.

B. Metodologia

A metodologia do trabalho será executada em quatro fases:

(1) Analisar os Kits de Desenvolvimento de Software (KDS) quânticos disponíveis no mercado e os respectivos *hardwares*. Construir circuitos quânticos para testar os principais algoritmos nas plataformas, como os modelos de *Deutsch-Jozsa*, *Bernstein-Vazirani*, *Simon*, *Grover* e *Shor*.

(2) Explorar as ferramentas e conceitos de Aprendizado de Máquina que possam ser aplicadas no aprimoramento dos algoritmos analisados na etapa (1), bem como em outras classes de problemas que podem ser otimizadas em computadores quânticos.

(3) Investigar a viabilidade de aplicar conceitos de *Quantum Machine Learning* em dispositivos computacionais quânticos; visando otimizar as soluções de problemas com elevado

grau de complexidade abordados em sistemas computacionais clássicos.

(4) Determinar quais são os *softwares* e as linguagens de programação que otimizam a transcrição, compilação, execução e o desempenho dos algoritmos quânticos, classificando-os em quesitos como o grau de complexidade na interface e nas ferramentas disponíveis no sistema, o tempo de execução gasto nas simulações, a precisão dos resultados e a quantificação das incertezas referentes aos dados obtidos.

Em paralelo, trabalharemos para expandir as parcerias com instituições acadêmicas, empresas e organizações nacionais e estrangeiras, colaborando com o aprimoramento dos *softwares* e linguagens de programação adotados nas plataformas dos respectivos desenvolvedores.

V. EXEQUIBILIDADE DO PROJETO

A. Identificação do Proponente do Projeto

O proponente possui experiência em linhas de pesquisa que investigam as propriedades de estados emaranhados em protocolos de Informação Quântica (como computação, criptografia e teletransporte quânticos), abordando conceitos como decoerência, purificação, entropia, concentração de emaranhamento e separabilidade. Seu mestrado foi direcionado para o estudo de estados quânticos puros parcialmente emaranhados através de uma perspectiva conceitual e prática, ou seja, estados cujo grau de emaranhamento situa-se abaixo do valor máximo permitido pela mecânica quântica, uma vez que os mesmos são mais prováveis de serem encontrados em dispositivos reais do que estados maximamente emaranhados. Foram apresentados protocolos com novos arranjos e técnicas que melhoraram alguns dos métodos conhecidos, indicando a escolha adequada dos canais quânticos que maximizariam a fidelidade total do processo para cada modelo. Na sequência, demonstrou que a probabilidade associada a um teletransporte múltiplo de um único *qubit* através de uma sequência de canais se aproxima de um determinado valor limite. Foram apresentados ainda métodos para corrigir estados imperfeitos, além de cenários onde é possível transmitir um único *qubit* ou um par de *qubits* utilizando estados *GHZ* ou modificações nos estados da base de Bell. Por fim, discutiu-se a relação entre a probabilidade total de sucesso e o grau de emaranhamento das bases e dos canais de transmissão de Informação Quântica.

Durante o doutorado, investigou de que modo a eficiência dos protocolos de teletransporte quântico é afetada quando os *qubits* envolvidos no processo são submetidos à presença de decoerência (ou ruído). Os principais tipos de ruído encontrados em implementações do mundo real de protocolos de comunicação quântica foram explorados, a saber: inversão de

bit, inversão de fase, despolarização e amortecimento de amplitude. Foram analisados diversos cenários realistas, considerando que os *qubits* empregados na execução do protocolo de teletransporte quântico seriam submetidos a todos os tipos de ruído. Nesse contexto, foram descobertos cenários nos quais a eficiência do processo é diretamente proporcional à ação do ruído (ou inversamente proporcinal ao teor de emaranhamento). Além disso, demonstrou que é melhor submeter os *qubits* a uma combinação de diferentes tipos de ruído para obter um aumento na eficiência do protocolo quando o processo de decoerência torna-se inevitável. O objetivo central consistiu em investigar a viabilidade de utilizar esses estados para implementar tarefas de comunicação quântica concebidas inicialmente para estados maximamente emaranhados, e a maior parte dos resultados foi publicada ao longo da execução do doutorado.

Ao ingressar na Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), iniciou a docência como vice-coordenador do curso de Engenharia Física. No mesmo ano, publicou um artigo sobre teletransporte quântico cujos *qubits* eram descritos por cadeias de *spins*, apresentando cenários em que a elevação do ruído gerado pelo ambiente externo (através da influência de parâmetros como a temperatura e campos magnéticos) aumentava a fidelidade dos processos. Pouco depois, assumiu a coordenação do curso de Engenharia Física, e no ano seguinte organizou o XIII Simpósio Brasileiro de Engenharia Física e I Encontro Internacional de Engenheiros Físicos (XIII SBEF e I EIEF). Em 2019, foi eleito Embaixador de Iguassu pelo Visit Iguassu na inauguração do prêmio como reconhecimento ao XIII SBEF e I EIEF. Ainda no mesmo ano, integrou a comissão organizadora do TEDx UNILA e estabeleceu a UNILA como parceira institucional da Conferência ANPEI de Inovação. Foi parecerista ad-hoc de projetos submetidos à Coordenadoria dos Programas de Iniciação Científica e Tecnológica da UFSCar, e membro de bancas de defesa de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Física Aplicada da UNILA.

O proponente também esteve presente na primeira edição de *The Future of Quantum Computing, Quantum Cryptography and Quantum Sensors (Boston, 2019)*, promovido pela organização *Inside Quantum Technology.* O evento apresentou os progressos e resultados mais recentes acerca do desenvolvimento de tecnologias quânticas, e permitiu que o candidato expandisse sua rede de contatos com acadêmicos, pesquisadores e representantes de empresas que trabalham no ramo. Ao regressar, criou um grupo de pesquisa em Informação Quântica em parceria com o Prof. Dr. Rodrigo Bloot e assumiu a orientação de dois estudantes de Iniciação Científica. Em 2020, dois dos três estudantes do grupo tornaram-se membros do programa *Qiskit Advocate* e da iniciativa *Quantum Open Source Foundation.*

B. Participantes do Grupo de Pesquisa

Nos últimos anos, o grupo de Simulação Computacional e de Física Aplicada da UFJF vem desenvolvendo algoritmos computacionais e soluções de problemas teóricos e práticos em parcerias com empresas, comprovando que a utilização de técnicas de Inteligência Artificial (I.A.) para facilitar a análise e a automatização de problemas tem influenciado diretamente o modo de vida contemporâneo. Em 2017, O Prof. Dr. Rodrigo Alves Dias concluiu o mini-curso intitulado *Machine Learning for Many-Body Physics*, o qual foi realizado no *International Centre for Theoretical Physics* (SAIFR, ICTP SAIFR, Brasil) e ministrado por Juan Felipe Carrasquilla (*D-Wave Systems Inc.*, Canadá) e Roger Melko (*University of Waterloo* and *Perimeter Institute*, Canadá) [46]. Desde então, o pesquisador investiga e desenvolve códigos de aplicações de I.A. em problemas que envolvem sistemas magnéticos e dinâmicas de cenários clássicos e quânticos. Nesse ínterim, apresentou o seguintes trabalhos:

(a) I Simpósio Brasileiro sobre Materiais e Pesquisas Relacionadas. *Machine Learning Phases of Magnetic System.* 2018.

(b) *X Brazilian Meeting on Simulation Physics. Studying phases of magnetic systems via neural network.* 2019. (Congresso).

Em ambos os eventos, reforçou a evidência de que o uso de I.A. (seja na modelagem ou na interpretação de problemas físicos) tem sido adotado de forma cada vez mais ampla e se apresenta como um processo irreversível, visto que a técnica contribui de forma singular para a solução de problemas teóricos e práticos.

A utilização desta técnica para solucionar problemas de Computação e Informação Quântica situa-se na fronteira do limiar do conhecimento científico, como mostram os resultados em [47]. Os autores deste trabalho foram pioneiros na tentativa de compreender os conceitos de uma futura Internet Quântica sob a perspectiva da ciência de redes complexas. Segundo um dos autores, tal perspectiva pode ser entendida como o passo inicial para o surgimento de novos estudos sobre comunicação quântica em redes de larga escala. Nesse sentido, o grupo elaborou um modelo de Internet Quântica com base na ideia de que os canais de comunicação quântica seriam mediados pela estrutura contemporânea de redes de fibra ótica. Desse modo, o estudo de algoritmos de Informação Quântica - aliado ao uso de técnicas de I.A. - poderia contribuir de forma significativa para o desenvolvimento de futuros protocolos de comunicação quântica.

Por sua vez, o grupo de pesquisa da UFJF atua em linhas que englobam uma vasta gama de áreas e aplicações. Os trabalhos incluem pesquisas de naturezas distintas, como a

formação de imagens em experimentos de espalhamento de elétrons, o estudo de forças de atrito e o desenvolvimento de projetos de P&D em parcerias com empresas [48]. Acreditamos que a integração entre as técnicas de Aprendizado de Máquina e a área de Informação Quântica possam vir a contribuir de forma significativa para a solução de problemas de entidades parceiras, cujo interesse reside em soluções que envolvam o que existe de mais moderno do ponto de vista de técnicas processamento de informação, sejam essas clássicas ou quânticas.

C. Inserção do Projeto em Comunidades de Pesquisa e no Desenvolvimento de Tecnologias de Informação Quântica

1. Qiskit Advocates

O programa intitulado *Qiskit Advocate* faz parte de uma iniciativa global criada para apoiar os membros mais ativos da comunidade *Qiskit*. Ao se tornar um membro, o candidato adquire a oportunidade de interagir com uma comunidade voltada exclusivamente para discussões sobre computação e dispositivos quânticos. Desde o início de seu lançamento em 2019, o programa já recebeu mais de 100 pessoas oriundas de 20 países e de diversas origens. Seus membros são munidos do propósito de expandir a comunidade *Qiskit*, seja atuando na organização de eventos ou realizando contribuições nos códigos da plataforma. As vantagens de se tornar um membro do programa são:

(1) Como um *Advocate*, o membro adquire a oportunidade de participar de reuniões mensais com o grupo para compartilhar ideias e propostas, além de trabalhar em conjunto em novos projetos e eventos.

(2) Obter acesso especial aos principais projetos da comunidade *Qiskit*.

(3) Ser reconhecido pela *IBM*: ao ingressar no grupo, os *Advocates* podem interagir com outros participantes da equipe e ainda ter a oportunidade de serem auxiliados diretamente pelos profissionais da empresa.

(4) Os membros ativos são convidados para participar de eventos globais (de forma presencial ou virtual) organizados pelos profissionais da comunidade *Qiskit*.

2. Quantum Open Source Foundation

A *Quantum Open Source Foundation*, doravante referida como *QOSF*, é uma iniciativa encarregada de expandir a adoção de *softwares* de códigos abertos na Computação

Quântica, visando padronizar e melhorar a qualidade dos sistemas. O foco principal da *QOSF* reside em *softwares* destinados ao uso em tecnologias de Computação Quântica atuais e de curto prazo, também frequentemente chamadas de Tecnologias Quânticas de Escala Intermediária Ruidosa (*Noisy Intermediate Scale Quantum - NISQ*).

Além disso, a *QOSF* também busca apoio financeiro e investiga atividades relacionadas à exploração do futuro *software* de código aberto para computadores quânticos universais tolerantes à falhas na escala de centenas de *qubits* lógicos. O foco específico reside na padronização das interfaces de *hardware* de baixo nível e sua respectivas compilações, com o intuito de permitir a compatibilidade cruzada das linguagens de programação quântica. Os objetivos primoridias da *QOSF* são:

(1) Promover a colaboração entre as comunidades quânticas de desenvolvedores de *hardware* e *software*.

(2) Fornecer financiamento para projetos selecionados.

(3) Prover viagens para membros selecionados do *QOSF* e mantenedores de projetos quânticos de código aberto.

(4) Incentivar e apoiar a distribuição de informações gratuitas e abertas sobre avanços na engenharia de *software* quântica e na Computação Quântica.

(5) Disponibilizar acesso para um fórum com físicos, desenvolvedores de *softwares*, fornecedores de *hardware* quântico e outras partes para discutir problemas e obstáculos comuns relacionados à engenharia de *software* quântica aberta.

(6) Organizar conferências, workshops e sessões informativas gratuitas e abertas sobre engenharia de *software* quântica.

(7) Transmitir os conceitos fundamentais de Computação Quântica e engenharia de *software* quântica ao público em geral.

D. Plano de Trabalho

O cronograma de atividades foi dividido em quatro etapas (Fig. 6):

(1) Revisão Bibliográfica e discussão de tópicos: 11 meses. Início em junho de 2021.

(2) Desenvolvimento da pesquisa e implementação numérica: 9 Meses. Início em julho de 2021.

(3) Análise dos resultados: 8 meses. Início em agosto de 2021.

(4) Revisão dos resultados e submissão de artigos: 7 meses. Início em outubro de 2021.

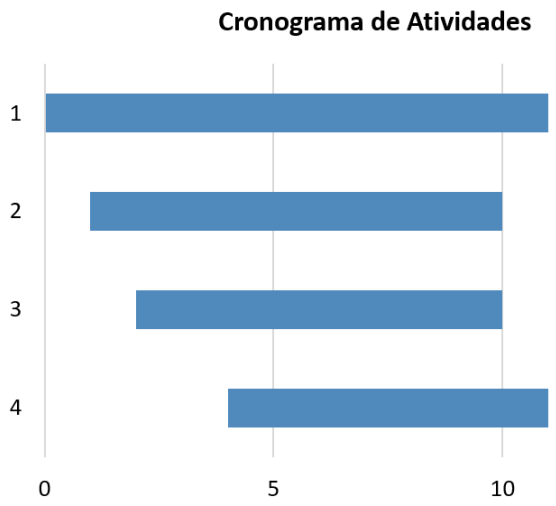


Figura 6. Cronograma de atividades

VI. RESULTADOS ESPERADOS

Visto que esta área de estudo ainda é pouco explorada quando comparada ao número de publicações de outros temas relativos à área de Informação Quântica e que não há consenso sobre as teorias que descrevem os modelos mencionados, faz-se necessário o surgimento de propostas que introduzam novas ideias e esclareçam os aspectos mais fundamentais da natureza de forma mais clara e cada vez mais detalhada. Nesse contexto, o grupo de pesquisa criado e liderado pelo requerente em sua instituição de origem tem colaborado com outras instituições e empresas (como a *Xanadu*), cujo trabalho e planejamento permitiram que dois estudantes ingressassem como membros das iniciativas *Qiskit Advocates* e *Quantum Open Source Foundation*. Visando atender aos propósitos supracitados, o projeto pretende contribuir para o desenvolvimento das linguagens de programação e *softwares* quânticos, aliando o conhecimento de algoritmos quânticos e técnicas de *Quantum Machine Learning* nas plataformas disponibilizadas pelos respectivos desenvolvedores desses sistemas. Ademais, os resultados obtidos podem ajudar a desenvolver o trabalho de outros grupos de pesquisa residentes no Brasil e no exterior.

Referências Bibliográficas

[1] A. Zeilinger, "Fundamentals of quantum information", Phys. World 11, 35 (1998).

[2] B. Lounis and M. Orrit, "Single-photon sources", Rep. Prog. Phys. 68, 1129 - 1179 (2005).

[3] A. Furusawa and P. van Loock, "Quantum Teleportation and Entanglement: A Hybrid Approach to Optical Quantum Information Processing" Wiley-VCH, Verlag (2011).

[4] C.H. Bennett, G. Brassard, C. Crepeau, R. Jozsa, A. Peres and W. K. Wootters, "Teleporting an unknown quantum state via dual classical and Einstein-Podolsky-Rosen channels", Phys. Rev. Lett. 70, 1895 (1993);

[5] G. Rigolin, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 42, 235504 (2009).

[6] R. Fortes and G. Rigolin, "Improving the efficiency of single and multiple teleportation protocols based on the direct use of partially entangled states", Annals of Physics 336, 517-539 (2013).

[7] R. Fortes and G. Rigolin, "Fighting noise with noise in realistic quantum teleportation", Phys. Rev. A 92, 012338 (2015).

[8] R. Fortes and G. Rigolin, "Probabilistic quantum teleportation in the presence of noise", Physical Review A 93 (6), 062330 (2016).

[9] R. Fortes and G. Rigolin, "Probabilistic quantum teleportation via thermal entanglement", Physical Review A 96 (2), 022315 (2017).

[10] C. H. Bennett and G. Brassard, "Quantum cryptography: Public key distribution and coin tossing", in Proceedings of IEEE International Conference on Computers, Systems and Signal Processing, pp. 175-179, (1984).

[11] A. K. Ekert, "Quantum cryptography based on Bell's Theorem", Phys. Rev. Lett. 67, 661 (1991).

[12] N. Gisin, G. Ribordy, W. Tittel and H. Zbinden, "Quantum cryptography", Rev. Mod. Phys. 74, 145 (2002).

[13] C. H. Bennett and S. J. Wiesner, "Communication via one- and two-particle operators on Einstein-Podolsky-Rosen state", Phys. Rev. Lett. 69, 2881 (1992).

[14] S. L. Braunstein and H. J. Kimble, "Dense coding for continuous variables", Phys. Rev. A 61, 042302 (2000).

[15] A. Barenco, C. H. Bennett, R. Cleve, D. P. DiVincenzo, N. Margolus, P. Shor, T. Sleator, J. A. Smolin, and H. Weinfurter, Phys. Rev. A 52, "Elementary gates for quantum computation ", 2493 - 2496 (1995).

[16] P. W. Shor, "Fault-tolerant quantum computation", in Proceedings of the 37th Annual Symposium on the Foundations of Computer Science, 56-65 (1996).

[17] L. K. Grover, "A fast quantum mechanical algorithm for database search", in Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on the Theory of Computing (STOC), 212 (1996).

[18] A. Einstein, B. Podolsky and N. Rosen,"Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?", Phys. Rev. 47, 777 (1935).

[19] R. P. Feynman, “There’s Plenty of Room at the Bottom”, In Gilbert, Horace D., Miniaturization, Reinhold, 282 - 296 (1961).

[20] J. S. Bell, “On the Einstein Podolsky Rosen Paradox”, Physics 1, 3 (1964).

[21] G. Benenti, G. Casati and G. Strini, “Principles of Quantum Computation And Information: Basic Tools And Special Topic””, World Scientific Publishing Co., Inc., River Edge (2007).

[22] K. Kraus, A. Böhm, J. Dollard and W. Wootters, “States, effects, and operations: fundamental notions of quantum theory: lectures in mathematical physics at the University of Texas at Austin”, Lecture notes in physics, Springer-Verlag (1983).

[23] A. Peres, “Separability Criterion for Density Matrices”, Phys. Rev. Lett. 77, 1413 - 1415 (1996).

[24] R. Horodecki, P. Horodecki, M. Horodecki, and K. Horodecki, “Quantum entanglement”, Rev. Mod. Phys. 81, 865 (2009).

[25] V. Vedral, “Introduction to Quantum Information Science”, Oxford University Press, New York, (2006).

[26] L. Amico, R. Fazio, A. Osterloh and V. Vedral, “Entanglement in many-body systems”, Rev. Mod. Phys. 80, 517 - 576 (2008).

[27] V. Vedral, “Entanglement hits the big time”, Nature 425, 28 - 29 (2003).

[28] D. Markham, J. Anders, V. Vedral, M. Murao and A. Miyake, “Survival of entanglement in thermal states”, Eur. Phys. Lett. 81, 40006 (2008).

[29] N. D. Mermin, “Quantum Computer Science: An Introduction”, Cambridge University Press, New York (2007).

[30] M. A. Nielsen and I. L. Chuang, “Quantum Computation and Quantum Information”, Cambridge University Press, Cambridge (2000).

[31] D. G. Cory, M. D. Price, W. Maas, E. Knill, R. Laflamme, W. H. Zurek, T. F. Havel and S. S. Somaroo, “Experimental Quantum Error Correction”, Phys. Rev. Lett. 81, 2152 - 2155 (1998).

[32] R. Rivest, A. Shamir and L. Adleman, “A Method for Obtaining Digital Signatures and Public-Key Cryptosystems”, Communications of the ACM 21 (2), 120 - 126 (1978).

[33] A. Bisio, G. Chiribella, G. M. D’Ariano, S. Facchini and P. Perinotti, “Optimal quantum learning of a unitary transformation”, Phys. Rev. A 81, 032324 (2010).

[34] A. Bisio, G. M. D’Ariano, P. Perinotti and M. Sedl’ak, “Quantum learning algorithms for quantum measurements”, Phys. Lett. A 375 (39), 3425 - 3434, (2011).

[35] J. Ren, P. Xu, H. Yong, L.Zhang, S. Liao, J. Yin, W. Liu, W. Cai, M. Yang, L. Li, K. Yang, X. Han, Y. Yao, J. Li, H. Wu, S. Wan, L. Liu, D. Liu, Y. Kuang, Z. He, P. Shang, C. Guo, R. Zheng, K. Tian, Z. Zhu, N. Liu, C. Lu, R. Shu, Y. Chen, C. Peng, J. Wang and J. Pan, “Ground-to-satellite quantum teleportation”, Nature 549, 70-73 (2017).

[36] A. Albino, R. Fortes and R. Bloot, “Programação na Plataforma IBMQ e Análise Comparativa da Performance de Computadores Quânticos”, Anais do I Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia (COBICET) (2020).

[37] V. Dunjko, N. Friis and H. J. Briegel, “Quantum-enhanced deliberation of learning agents using trapped ions”, New J. Phys., 17 (2), 023006 (2015).

[38] G. D. Paparo, V. Dunjko, A. Makmal, M. A. Martin-Delgado, and H. J. Briegel, "Quantum speedup for active learning agents", Phys. Rev. X 4, 031002 (2014).

[39] Vedran Dunjko, Jacob M. Taylor, and Hans J. Briegel, "Quantum-enhanced machine learning", Phys. Rev. Lett., 117 (13) (2016).

[40] M. Rupp, "Machine learning for quantum mechanics in a nutshell", Int. J. Quantum Chem. 115 (16), 1058 - 1073 (2015).

[41] S. Lloyd, M. Mohseni and P. Rebentrost, "Quantum algorithms for supervised and unsupervised machine learning", arXiv: 1307.0411 (2013).

[42] P. Rebentrost, M. Mohseni and S. Lloyd, "Quantum support vector machine for big data classification", Phys. Rev. Lett. 113, 130503 (2014).

[43] H. Lau, R. Pooser, G. Siopsis and C. Weedbrook, "Quantum machine learning over infinite dimensions", arXiv: 1603.06222 (2016).

[44] J. Biamonte, P. Wittek, N. Pancotti, P. Rebentrost, N. Wiebe and S. Lloyd, "Quantum Machine Learning", Nature 549, 195 - 202 (2017).

[45] http://en.wikipedia.org/wiki - "Quantum Programming".

[46] J. Carrasquilla and R.G. Melko, "Machine learning phases of matter", Nature Physics 13 (5), 431 (2017).

[47] S. Brito, A. Canabarro, R. Chaves and D. Cavalcanti, "Statistical Properties of the Quantum Internet", Phys. Rev. Lett. 124, 210501 (2020).

[48] http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K4771561Z6.

METODOLOGIA:

A metodologia do trabalho será executada em quatro fases:

1) Analisar os *Kits de Desenvolvimento de Software* (KDS) quânticos disponíveis no mercado e os respectivos hardwares. Construir circuitos quânticos para testar os principais algoritmos nas plataformas, como os modelos de *Deutsch-Jozsa, Bernstein-Vazirani, Simon, Grover* e *Shor*.

2) Explorar as ferramentas e conceitos de Aprendizado de Máquina que possam ser aplicadas no aprimoramento dos algoritmos analisados na etapa (1), bem como em outras classes de problemas que podem ser otimizadas em computadores quânticos.

3) Investigar a viabilidade de aplicar conceitos de *Quantum Machine Learning* em dispositivos computacionais quânticos; visando otimizar as soluções de problemas com elevado grau de complexidade abordados em sistemas computacionais clássicos.

4) Determinar quais são os *softwares* e as linguagens de programação que otimizam a transcrição, compilação, execução e o desempenho dos algoritmos quânticos, classificando-os em quesitos como o grau de complexidade na interface e nas ferramentas disponíveis no sistema, o tempo de execução gasto nas simulações, a precisão dos resultados e a quantificação das incertezas referentes aos dados obtidos.

CRONOGRAMA:

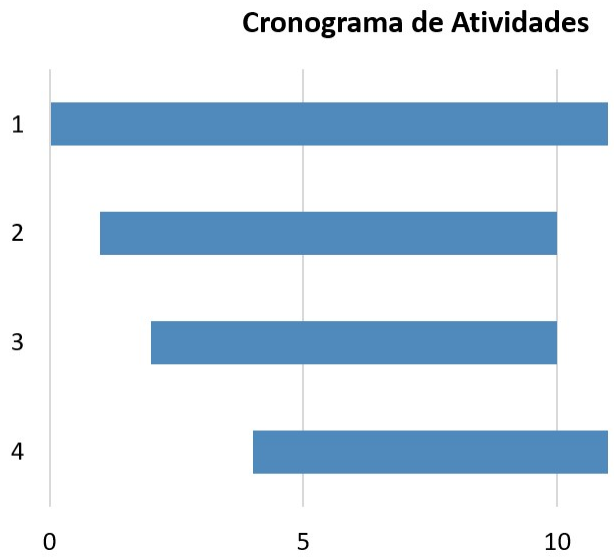
O cronograma de atividades foi dividido em quatro etapas:

1) Revisão Bibliográfica e discussão de tópicos: 11 meses. Início em julho de 2021.

2) Desenvolvimento da pesquisa e implementação numérica: 9 meses. Início em agosto de 2021.

3) Análise dos resultados: 8 meses. Início em setembro de 2021.

4) Revisão dos resultados e submissão de artigos: 7 meses. Início em novembro de 2021.



INSTITUIÇÃO ONDE SERÁ REALIZADO O PROGRAMA DE PÓS-DOUTORADO:

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA (UFJF) - MG:

Nos últimos anos, o grupo de Simulação Computacional e de Física Aplicada da UFJF vem desenvolvendo algoritmos computacionais e soluções de problemas teóricos e práticos em parcerias com empresas, comprovando que a utilização de técnicas de Inteligência Artificial (I.A.) para facilitar a análise e a automatização de problemas tem influenciado diretamente o modo de vida contemporâneo. Em 2017, O Prof. Dr. Rodrigo Alves Dias concluiu o mini-curso intitulado *Machine Learning for Many-Body Physics,* o qual foi realizado no *International Centre for Theoretical Physics (SAIFR, ICTP SAIFR, Brasil)* e ministrado por *Juan Felipe Carrasquilla (D-Wave Systems Inc., Canadá)* e *Roger Melko (University of Waterloo and Perimeter Institute*, Canadá). Desde então, o pesquisador investiga e desenvolve códigos de aplicações de I.A. em problemas que envolvem sistemas magnéticos e dinâmicas de cenários clássicos e quânticos.

Por sua vez, o grupo de pesquisa da UFJF atua em linhas que englobam uma vasta gama de áreas e aplicações. Os trabalhos incluem pesquisas de naturezas distintas, como a formação de imagens em experimentos de espalhamento de elétrons, o estudo de forças de atrito e o desenvolvimento de projetos de P&D em parcerias com empresas. Acreditamos que a integração entre as técnicas de Aprendizado de Máquina e a área de Informação Quântica possam vir a contribuir de forma significativa para a solução de problemas de entidades parceiras, cujo interesse reside em soluções que envolvam o que existe de mais moderno do ponto de vista de técnicas processamento de informação, sejam essas clássicas ou quânticas. Em paralelo, trabalharemos para expandir as parcerias com instituições acadêmicas, empresas e organizações nacionais e estrangeiras, colaborando com o aprimoramento dos *softwares* e linguagens de programação adotados nas plataformas dos respectivos desenvolvedores.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
REITORIA - ICE - COORDENAÇÃO DO CURSO DE FÍSICA NOTURNO

OFÍCIO/SEI Nº 14/2020/COORD-CURSO-FÍSICA-NOTURNO

Juiz de Fora, 04 de dezembro de 2020.

Ao Senhor(a) Prof. Dr. Raphael Fortes Infante Gomes
Universidade Federal da Integração Latino-Americana

TERMO DE ANUÊNCIA

Declaro para os devidos fins que estou de acordo com a execução do projeto de pesquisa intitulado "Anáalise de Computadores e Algoritmos Quânticos com Aplicações de Aprendizado de Máquina Quântico.", sob a coordenação e a responsabilidade do(a) pesquisador(a) Prof. Dr. Rodrigo Alves Dias, e assumo o compromisso de apoiar o desenvolvimento da referida pesquisa a ser realizada nessa instituição, no período de junho de 2021 a junho de 2022.

Atenciosamente,

PROF. DR. RODRIGO ALVES DIAS

COORDENADOR DO CURSO DE LICENCIATURA NOTURNA EM FÍSICA

Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Alves Dias**, **Coordenador(a)**, em 04/12/2020, às 14:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **0218839** e o código CRC **E4C6B4E1**.

Prezado(a)s;

Declaro, para os devidos fins, que a área de Física concorda que o afastamento de doze meses para a realização de pós-doutorado solicitado pelo Prof. Dr. Raphael Fortes Infante Gomes seja iniciado a partir da data de 05/07/2021.

Atenciosamente,

Foz do Iguaçu, 05 de fevereiro de 2021.

DECLARAÇÃO

Eu, Prof. Dr. Raphael Fortes Infante Gomes, não me encontro afastado para exercício de mandato eletivo ou para servir em organismo internacional de que o Brasil participe ou com o qual coopere. É o que declaro para fins de afastamento para realizar o pós-doutorado na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) – MG.

Att,

PROF. DR. RAPHAEL FORTES INFANTE GOMES

Foz do Iguaçu, 05 de novembro de 2021.

JUSTIFICATIVA PARA A REALIZAÇÃO DE PÓS-DOUTORADO

Eu, Prof. Dr. Raphael Fortes Infante Gomes, exponho aqui alguns motivos que justificam a necessidade de se realizar o pós-doutorado na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) – MG:

O afastamento possui como finalidade aprimorar a capacitação profissional do requerente - que ocupa o cargo de Coordenador de curso desde o ano de 2017 - e os conhecimentos sobre gestão educativa docente, ao permitir que o mesmo se aprofunde na área de pesquisa que conduz na Instituição e introduza novas ferramentas metodológicas nas disciplinas que ministra na UNILA. O tema abordado no projeto de pós-doutorado possui aplicações nas áreas de Computação Quântica, Inteligência Artificial e *Machine Learning*, cujas descobertas têm influência direta no meio científico e na tomada de decisões do mercado financeiro no cenário contemporâneo.

Att,

Raphael Fortes I. Gomes

PROF. DR. RAPHAEL FORTES INFANTE GOMES

Foz do Iguaçu, 05 de novembro de 2021.

D E C L A R A Ç Ã O

Declaramos que RAPHAEL FORTES INFANTE GOMES, matrícula SIAPE 2349089, ocupante do cargo de PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR, classe C - Adjunto, nível 001, do quadro de pessoal do(a) UNILA, foi admitido(a) a partir de 05/12/2016, sendo lotado(a) no(a) INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS DA VIDA E DA NATUREZA, em regime de Dedicação exclusiva.

Foz do Iguaçu/PR, 05 de Fevereiro de 2021.

Código de verificação:
5900ce5543

Para verificar a autenticidade deste documento acesse **https://sig.unila.edu.br/sigrh/documentos/**, informando a matrícula siape, data de emissão do documento e o código de verificação.

Órgão	Necessidade	Competência	UORG	UF	quanti-tativo	Macro	Micro	Modalidade_Solicitada	Modalidade_Enap	Curso	Situacao
UNILA	Necessidade de aprimorar os conhecimentos sobre gestão educativa docente na Instituição.	Comunicação efetiva, Comunicação interpessoal, Contribuição técnico-profissional, Gestão do desenvolvimento de pessoas, Melhoria contínua de processos	Várias	PR	10	Administraçao Pública	Gestão de Pessoas no Setor Público	Híbrido	Distância	SCDP - Aprovação e Pagamento	Em oferta
UNILA	Necessidade de aprimorar os conhecimentos sobre gestão educativa docente na Instituição.	Comunicação efetiva, Comunicação interpessoal, Contribuição técnico-profissional, Gestão do desenvolvimento de pessoas, Melhoria contínua de processos	Várias	PR	10	Administraçao Pública	Gestão de Pessoas no Setor Público	Presencial	Distância	SCDP - Aprovação e Pagamento	Em oferta
UNILA	Necessidade de aprimorar os conhecimentos sobre gestão educativa docente na Instituição.	Comunicação efetiva, Comunicação interpessoal, Contribuição técnico-profissional, Gestão do desenvolvimento de pessoas, Melhoria contínua de processos	Várias	PR	10	Administraçao Pública	Gestão de Pessoas no Setor Público	Distância	Distância	SCDP - Solicitação de Afastamento do Servidor	Em oferta
UNILA	Necessidade de aprimorar os conhecimentos sobre gestão educativa docente na Instituição.	Comunicação efetiva, Comunicação interpessoal, Contribuição técnico-profissional, Gestão do desenvolvimento de pessoas, Melhoria contínua de processos	Várias	PR	10	Administraçao Pública	Gestão de Pessoas no Setor Público	Híbrido	Distância	SCDP - Solicitação de Afastamento do Servidor	Em oferta
UNILA	Necessidade de aprimorar os conhecimentos sobre gestão educativa docente na Instituição.	Comunicação efetiva, Comunicação interpessoal, Contribuição técnico-profissional, Gestão do desenvolvimento de pessoas, Melhoria contínua de processos	Várias	PR	10	Administraçao Pública	Gestão de Pessoas no Setor Público	Presencial	Distância	SCDP - Solicitação de Afastamento do Servidor	Em oferta
UNILA	Necessidade de aprimorar os conhecimentos sobre gestão educativa docente na Instituição.	Comunicação efetiva, Comunicação interpessoal, Contribuição técnico-profissional, Gestão do desenvolvimento de pessoas, Melhoria contínua de processos	Várias	PR	10	Administraçao Pública	Gestão de Pessoas no Setor Público	Distância	Distância	Siape Cadastro	Em oferta

Comprovante de Inscrição

Evento
EDITAL DE AFASTAMENTO DOCENTE STRICTO SENSU 2021.1 - (DOCENTE)

Número
210209190302401

Inscrito
Terça, 09 de Fevereiro de 2021, 19:03

Emissão deste Comprovante
Terça, 09 de Fevereiro de 2021, 19:03

Identidade
MG-7.577-002

Nome Completo
RAPHAEL FORTES INFANTE GOMES

E-mail
raphael.gomes@unila.edu.br

ATA DE REUNIÃO ORDINÁRIA DA ÁREA DE FÍSICA, REALIZADA EM ONZE DE DEZEMBRO DE DOIS MIL E VINTE----------

No décimo primeiro dia do mês de dezembro de dois mil e vinte, às quinze horas, reuniram-se de forma remota os docentes da área da Física da UNILA, listados na lista de presença em anexo, para deliberar sobre os seguintes pontos de pauta: 1) Pedido de afastamento para pós-doutorado do professor Raphael Fortes; 2) Redistribuição do professor Abraão (questões pendentes). Após a aprovação da pauta e da forma de organização da reunião, a mesma teve início com o primeiro ponto de pauta. O professor Raphael Fortes apresentou seu pedido para afastamento para realizar pós-doutorado na Universidade Federal de Juiz de Fora, no período de junho de dois mil de vinte e um a junho de dois mil e vinte e dois. O professor Marcelo fez uma observação lembrando que o pedido deveria ser apresentado até abril de dois mil e vinte, mas não se opôs ao afastamento, sugerindo que a área reveja essa resolução. Não houveram mais manifestações e o pedido do professor Raphael, para o período proposto pelo mesmo, foi aprovado por unanimidade. Seguiu-se então para o segundo ponto de pauta, apresentado pelo professor Abraão. O professor Abraão informou que a PROGEPE corrigiu o despacho anterior e no novo despacho não há impedimento para a sua redistribuição. Após várias falas ressaltando que a área já havia deliberado pela redistribuição do professor com a condição de que a vaga venha para a área da Física, foi deliberado por unanimidade que a área acompanhe o processo através do SIPAC. Sem mais nada a tratar, a reunião foi encerrada às dezesseis horas e cinco minutos e eu, professor Daniel Luiz Nedel, lavrei a presente ata.

Lista de presença da reunião da área da Física, realizada dia onze de dezembro de dois mil e vinte.

Abraão Jesse Capistrano de Souza
Dafni Fernando Zenedin Marchioro
Daniel Luiz Nedel
Davi da Silva Monteiro
Eduardo do Carmo
Gustavo de Jesus Lopez Nunez
Kelly Daiane Sossmeier
Marcelo Gonçalves Honnicke
Raphael Fortes
Rodrigo Basso
Yunier Garcia Basabe

Emitido em 11/12/2020

ATA Nº 34/2020 - null

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 05/02/2021 08:38)
ABRAAO JESSE CAPISTRANO DE SOUZA
PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR
Matrícula: 1727223

(Assinado digitalmente em 03/02/2021 14:06)
DAFNI FERNANDA ZENEDIN MARCHIORO
PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR
Matrícula: 1545571

(Assinado digitalmente em 05/02/2021 15:16)
DANIEL LUIZ NEDEL
PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR
Matrícula: 1379112

(Assinado digitalmente em 09/02/2021 10:13)
DAVI DA SILVA MONTEIRO
PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR
Matrícula: 2897938

(Assinado digitalmente em 10/02/2021 17:36)
EDUARDO DO CARMO
PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR
Matrícula: 1925956

(Assinado digitalmente em 09/02/2021 16:19)
GUSTAVO DE JESUS LOPEZ NUNEZ
PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR
Matrícula: 2902688

(Assinado digitalmente em 03/02/2021 10:10)
KELLY DAIANE SOSSMEIER
PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR
Matrícula: 1937391

(Assinado digitalmente em 03/02/2021 09:39)
MARCELO GONCALVES HONNICKE
PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR
Matrícula: 1571891

(Assinado digitalmente em 02/02/2021 17:44)
RAPHAEL FORTES INFANTE GOMES
COORDENADOR DE CURSO - TITULAR
CHEFE DE UNIDADE
CENGFIS (10.01.06.03.04.04.02)
Matrícula: 2349089

(Assinado digitalmente em 10/02/2021 11:55)
RODRIGO LEONARDO DE OLIVEIRA BASSO
PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR
Matrícula: 1937394

(Assinado digitalmente em 12/02/2021 14:59)
YUNIER GARCIA BASABE
PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR
Matrícula: 2220474

Para verificar a autenticidade deste documento entre em https://sig.unila.edu.br/documentos/ informando seu número: **34**, ano: **2020**, tipo: **ATA**, data de emissão: **02/02/2021** e o código de verificação: **9c68bda216**

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
REITORIA - ICE - COORDENAÇÃO DO CURSO DE FÍSICA NOTURNO

OFÍCIO/SEI Nº 3/2021/COORD-CURSO-FÍSICA-NOTURNO

Juiz de Fora, 12 de fevereiro de 2021.

Ao Senhor(a) Prof. Dr. Raphael Fortes Infante Gomes
Universidade Federal da Integração Latino-Americana

Assunto: TERMO DE ANUÊNCIA

Declaro para os devidos fins que estou de acordo com a execução do projeto de pesquisa intitulado "Análise de Computadores e Algoritmos Quânticos
com Aplicações de Aprendizado de Máquina Quântico.", sob a coordenação e a responsabilidade do(a) pesquisador(a) Prof. Dr. Rodrigo Alves Dias, e assumo o
compromisso de apoiar o desenvolvimento da referida pesquisa a ser realizada no Programa de Pós-Graduação em Física Strictu Sensu da Universidade Federal de Juiz de Fora, no período de junho de 2021 a junho de 2022.

Atenciosamente,

PROF. DR. RODRIGO ALVES DIAS

COORDENADOR DO CURSO DE LICENCIATURA NOTURNA EM FÍSICA

Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Alves Dias**, **Coordenador(a)**, em 12/02/2021, às 13:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **0273316** e o código CRC **93DEF013**.

RELATÓRIO DE NECESSIDADES – PDP UNILA 2021

Necessidade	Dados de Embasamento da Necessidade	Consolidado	Temática (Macro)	Subtemática (Micro)	Outras Temáticas ou Subtemáticas não Listadas	Competência Associada	Necessidade Transversal/Não transversal	Público Alvo	Unidade(s) Organizacional(is)	Sistema Estruturante do Poder Executivo Federal	Tipo de Aprendizagem	Subtipo (especificação) de Aprendizagem	Modalidade	Título Previsto da Ação de Desenvolvimento	Carga Horária Total Prevista	Término Previsto	Ação Gratuita	Custo Total Previsto	Necessidade Pode ser Atendida por Escola de Governo Própria	Outras Informações	Estado	Agentes Públicos
Ampliar os conhecimentos a respeito da escrita técnica e formal.	Grande fluxo de processos, despachos e documentos que tramitam e para isso o servidor deverá estar sempre atualizado e em treinamento	Sim	Administração Pública	Modernização Administrativa, Produtividade		Comunicação efetiva, Contribuição técnico-profissional, Gestão da qualidade	Sim	TAES	todas	Comunicação	Curso	-	Distância				Sim	0	Não possui Escola do Governo		PR	10
Otimizar o atendimento ao público	Excelência no Atendimento ao Público	Sim	Administração Pública	Indicador de Desempenho (Setor Público), Capacitação Profissional no Setor Público		Comunicação efetiva	Sim	TAES	Todas	Comunicação	Curso	-	Distância, Híbrido, Presencial				Sim	0	Não possui Escola do Governo		PR	5
Adquirir conhecimento sobre a acessibilidade web para correta atualização dos sites institucionais dos cursos de graduação	necessidade do servidor estar atualização com aplicações web	Sim	Administração Pública	Capacitação Profissional no Setor Público	curso de informática	Gerenciamento digital, Melhoria contínua de processos	Sim	Taes e Docentes	todas	Tecnologia da informação e comunicação	Curso	-	Distância, Híbrido				Sim	0	Não possui Escola do Governo		PR	4
Aprimorar conhecimentos em temas relacionados ao meu setor de trabalho tais como: organização documental e gestão da informação	Organização - rotinas de trabalho	Sim	Administração Pública	Capacitação Profissional no Setor Público, Modernização Administrativa, Produtividade		Melhoria contínua de processos, Organização da rotina	Sim	TAES e Docentes	todas	Documentação e Arquivo	Curso	-	Distância	Gestão da Informação e Documentação - Conceitos			Sim	0	Não possui Escola do Governo		PR	8
Desenvolver capacidades de liderança, ampliando as capacidades de gestão	Desenvolvimento de equipe	Sim	Administração Pública	Controle de Gestão, Indicador de Desempenho (Setor Público), Liderança, Produtividade		Análise de problemas, Contribuição técnico-profissional, Gerenciamento da mudança, Gestão do desenvolvimento de pessoas	Sim	Docentes e TAES	Todas	Gestão de pessoas, Gestão, organização e inovação institucional	Curso, Evento	-	Distância, Híbrido, Presencial				Sim	0	Não possui Escola do Governo		PR	10
Melhorar a relação interpessoal com os colegas por meio da aprendizagem sobre teoria da Comunicação.	Buscar mecanismos de melhorar as relações pessoais dentro do âmbito profissional	Sim	Comunicação	Teoria da Comunicação	Curso de comunicação efetiva, Curso de relacionamento interpessoal	Comunicação efetiva	Sim	docentes e taes	todas	Comunicação	Curso, Experiência Prática	Experiência Prática/Estudo em Grupo	Distância, Híbrido, Presencial				Sim	0	Não possui Escola do Governo		PR	5
Necessidade de qualificação do corpo docente - Aprendizagem continuada em Saúde Coletiva.	Qualificação do corpo docente / Fortalecimento da pesquisa	Sim	Saúde Coletiva	-	Doutorado em Saúde Coletiva	Contribuição técnico-profissional	Sim	docentes	todas	Outra – o tema do desenvolvimento não é atualmente coberto por sistema estruturante da administração	Educação Formal	Educação Formal/Doutorado	Presencial				Sim	0	Não possui Escola do Governo		PR	5
Necessidade de qualificação do corpo docente - Aprendizagem continuada em Ensino-Aprendizagem, Currículo e Educação.	Qualificação do corpo docente / Fortalecimento da pesquisa	Sim	Educação	Currículo, Ensino-Aprendizagem	Doutorado em Medicina e Subáreas	Contribuição técnico-profissional	Sim	docentes	todas	Outra – o tema do desenvolvimento não é atualmente coberto por sistema estruturante da administração	Educação Formal	Educação Formal/Doutorado	Presencial				Sim	0	Não possui Escola do Governo		PR	5
Qualificação do corpo docente - Aprendizagem continuada e Fortalecimento da pesquisa sobre biologia.		Sim	Biologia Geral	Biologia Geral		Contribuição técnico-profissional	Não	docentes	ILACVN.	Outra – o tema do desenvolvimento não é atualmente coberto por sistema estruturante da administração	Educação Formal	Educação Formal/Doutorado	Presencial				Sim	0	Não possui Escola do Governo		PR	3
Continuidade da pós graduação, ampliação da possibilidade de atuação em pesquisas e de orientação de alunos, além de progressão docente	Área da saúde	Sim	Educação	Ensino-Aprendizagem, Currículo	Doutorado na área da Saúde	Contribuição técnico-profissional	Sim	docente	todas	Outra – o tema do desenvolvimento não é atualmente coberto por sistema estruturante da administração	Educação Formal	Educação Formal/Doutorado	Presencial				Sim	0	Não possui Escola do Governo		PR	1
Pós-Doutorado em Física Quântica - A capacitação visa aprimorar a respectiva formação acadêmica e profissional.	Artigos/Aquisição de conhecimento técnico-científico.	Sim	Física	-		Contribuição técnico-profissional	Sim	Docentes	todas	Outra – o tema do desenvolvimento não é atualmente coberto por sistema estruturante da administração	Educação Formal	Educação Formal/Pós-Doutorado	Presencial				Sim	0	Não possui Escola do Governo		PR	1
Necessidade de afastamento para cursar pós-doutorado em Química.	Trazer conhecimentos científicos e tecnológicos na área de produção de energia limpa, especialmente na produção de hidrogênio e em célula a combustível, para o Brasil. Aprender sobre novos materiais para essas tecnologias, suas caracterizações e inovações	Sim	Química	-		Outras não especificadas	Não	Docentes	todas	Outra – o tema do desenvolvimento não é atualmente coberto por sistema estruturante da administração	Educação Formal	Educação Formal/Pós-Doutorado	Presencial				Sim	0	Não possui Escola do Governo		PR	1
Necessidade de afastamento para Pós-doutorado em Física e Subáreas.	Melhoria na formação técnica científica e acadêmica - Qualificação do corpo docente - aprendizagem continuada	Sim	Física	-		Contribuição técnico-profissional	Não	docente	todas	Outra – o tema do desenvolvimento não é atualmente coberto por sistema estruturante da administração	Educação Formal	Educação Formal/Pós-Doutorado	Presencial				Sim	0	Não possui Escola do Governo		PR	1
Necessidade de afastamento para Pós-Graduação Stricto-Sensu - nível Doutorado - Qualificação do corpo técnico - aprendizagem continuada - Doutorado em Neurociências.		Sim	Educação	Currículo, Ensino-Aprendizagem, Tópicos Específicos de Educação		Contribuição técnico-profissional, Inovação	Não	TAE	ILACVN.	Outra – o tema do desenvolvimento não é atualmente coberto por sistema estruturante da administração	-	-	-				Sim	0	Não possui Escola do Governo		PR	1
Necessidade de afastamento parapós-doutorado em Matemática e Subáreas.	Obtenção de conhecimentos nas pesquisas - Qualificação do corpo docente - aprendizagem continuada	Sim	Matemática	Currículo, Ensino-Aprendizagem		Contribuição técnico-profissional	Não	docentes	todas	Outra – o tema do desenvolvimento não é atualmente coberto por sistema estruturante da administração	Educação Formal	Educação Formal/Pós-Doutorado	Presencial				Sim	0	Não possui Escola do Governo		PR	3
Necessidade de cursar mestrado Interdisciplinar em Estudos Latino-Americanos, buscando o aprimoramento pessoal e a qualificação do corpo técnico - aprendizagem continuada.		Sim	Educação	Ensino-Aprendizagem	Interdisciplinar	Melhoria contínua de processos, Visão estratégica	Sim	TAEs	Todas	Gestão, organização e inovação institucional	Educação Formal	Educação Formal/Mestrado	Presencial				Sim	0	Não possui Escola do Governo		PR	6
Necessidade de afastamento para doutorado em Biociências - Qualificação do corpo docente.	Otimizar o quadro docente da Unila e também contribuir com ensino, pesquisa e extensão de excelência.	Sim	Biologia Geral	Currículo, Ensino-Aprendizagem	biociências e saúde	Outras não especificadas	Não	Docentes	Todas	Outra – o tema do desenvolvimento não é atualmente coberto por sistema estruturante da administração	Educação Formal	Educação Formal/Doutorado	-				Sim	0	Não possui Escola do Governo		PR	3
Necessidade de afastamento para cursar pós-doutorado em Matemática e Subáreas - Capacitação - Qualificação do corpo docente.	Capacitação - Qualificação do corpo docente - aprendizagem continuada	Sim	Matemática	Currículo, Ensino-Aprendizagem		Outras não especificadas	Não	Docentes	Todas	Outra – o tema do desenvolvimento não é atualmente coberto por sistema estruturante da administração	Educação Formal	Educação Formal/Pós-Doutorado	Presencial				Sim	0	Não possui Escola do Governo		PR	3
Necessidade de afastamento para pós-doutorado em Química Analítica - Formação em técnicas avançadas de cromatografia acoplada a espectrômetros de massas, tratamento dos dados e métodos quimométricos. Qualificação do corpo docente - aprendizagem continuada	Auxiliar no estabelecimento da linha de pesquisa no Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade - Tecnologias e Processos Sustentáveis; Estabelecer a cooperação para intercâmbio de discentes de mestrado e doutorado; aprimorar o conhecimento.	Sim	Química	Currículo, Ensino-Aprendizagem		Outras não especificadas	Não	Docentes	Todas	Outra – o tema do desenvolvimento não é atualmente coberto por sistema estruturante da administração	Educação Formal	Educação Formal/Pós-Doutorado	Presencial				Sim	0	Não possui Escola do Governo		PR	10
Necessidade de afastamento para doutorado na área da Saúde e subáreas, com dispensa das atividades docentes conforme normativa. Qualificação do corpo docente - aprendizagem continuada.		Sim	Educação	Currículo, Ensino-Aprendizagem	Saúde e Subáreas	Contribuição técnico-profissional	Não	Docentes	ILACVN, PROGEPE, SACT, PRAE.	Outra – o tema do desenvolvimento não é atualmente coberto por sistema estruturante da administração	Educação Formal	Educação Formal/Doutorado	Híbrido, Presencial				Sim	0	Não possui Escola do Governo		PR	10
Necessidade de aprofundamento sobre a cultura de paz e elementos associados a ela, no âmbito laboral da UNILA	Cultura de paz no ambiente Universitário	Sim	Comunicação	Teoria da Comunicação		Comunicação efetiva, Comunicação interpessoal, Controle emocional, Relacionamento com dirigentes	Sim	Taes e Docentes e comunidade acadêmica em geral	Todas	Comunicação, Ética	Curso, Evento	Evento/Outros Similares, Evento/Palestra	Distância, Híbrido, Presencial	Comunicação não-violenta			Sim	0	Não possui Escola do Governo	Adoção de comportamento ético segundo padrões de empatia e não violência	PR	10
Curso sobre processos no âmbito administrativo - Lei nº 9.784/99 - Processo Administrativo	LPA - Lei 9784/99- de processos no âmbito administrativo - Aperfeiçoar os conhecimentos dos membros da Comissão de Ética a respeito das normas que regem o processo administrativo no âmbito da administração federal.	Sim	Administração Pública	Capacitação Profissional no Setor Público, Código de Conduta, Ética no Setor Público		Gestão da qualidade, Melhoria contínua de processos	Sim	Taes e Docentes	Todas	Controle Interno, Documentação e Arquivo, Gestão, organização e inovação institucional	-	-	Distância				Sim	0	Não possui Escola do Governo		PR	5
Necessidade de aprofundamento sobre ética no serviço público e também de forma geral.	Adoção de comportamento ético e conversa empática - Mitigação de conflitos e prevenção de desvios de conduta como função educativa da Comissão de Ética	Sim	Administração Pública	Ética no Setor Público		Comunicação efetiva, Comunicação interpessoal, Gerenciamento da mudança, Relacionamento com dirigentes, Resolução de problemas	Sim	Taes e Docentes	Todas	Comunicação, Ética	Curso, Evento, Outro Tipo não Especificado	-	Distância, Híbrido, Presencial				Não	5000	Não possui Escola do Governo	Tornar habitual a adoção de comportamentos éticos nas mais diversas rotinas associadas à comunidade universitária, bem como a discussão dessas questões de forma empática e construtiva.	PR	28
Mediação de conflitos - Introdução à mediação de conflitos que sejam motivos de apuração da Comissão de Ética	Mitigação de conflitos e prevenção de desvios de conduta como função educativa da Comissão de Ética	Sim	Administração Pública	Ética no Setor Público, Gestão de Pessoas no Setor Público, Modernização Administrativa		Comunicação efetiva, Comunicação interpessoal, Controle emocional	Sim	TAes e Docentes	Todas	Comunicação, Ética	Curso, Evento	-	Distância, Híbrido, Presencial				Sim	0	Não possui Escola do Governo		PR	5
Curso de Gestão e Apuração da Ética Pública- curso avançado - Formação continuada dos membro da Comissão de Ética, com capacitação específica para trabalhos de prevenção de conflitos	Mitigação de conflitos e prevenção de desvios de conduta como função educativa da Comissão de Ética	Sim	Administração Pública	Ética no Setor Público		Contribuição técnico-profissional, Melhoria contínua de processos, Relações institucionais	Sim	TAES e Docentes	todas	Ética	-	-	-				Não	1408	Não possui Escola do Governo	Mitigação de conflitos e prevenção de desvios de conduta como função educativa da Comissão de Ética	PR	5
Desenvolvimento da comunicação não violenta como ferramenta para gestão de conflitos que sejam motivo de apuração pela Comissão de Ética e Desenvolvimento da comunicação não violenta como ferramenta para gestão de conflitos que sejam motivo de apuração pela Comissão de Ética	Comunicação não violenta dentro da Universidade	Sim	Administração Pública	Ética no Setor Público		Comunicação efetiva, Comunicação interpessoal	Sim	TAES e Docentes	Curso de Comunicação não violenta	Comunicação, Ética	-	-	-				Não	3600	Não possui Escola do Governo		PR	5

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA
CENTRO INTERDISCIPLINAR DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

DESPACHO Nº 332/2021/CICN/ILACVN

Foz Do Iguaçu-PR, 22 de fevereiro de 2021.

Prezado Diretor do ILACVN,

Eu, Profa. Márcia Regina Becker, coordenadora do Centro Interdisciplinar de Ciências da Natureza da Universidade Federal da Integração Latino-Americana - Unila, aprovo *AD REFERENDUM* e encaminho para apreciação do CONSUNI a solicitação do Prof. Raphael Fortes Infante Gomes para afastamento, para pós-doutoramento, na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), no período de 05/07/2021 à 04/07/2022. Informo que ao processo 23422.001557/2021-89 foram anexados, entre outros, os seguintes documentos, conforme determinação da PROGEPE:

- Requerimento de afastamento; documento 1

- Projeto de pesquisa; documento 2

- Plano de Trabalho; documento 3

- Carta de aceite da Instituição; documento 12

- Cópia do trecho do PDP aprovado para o referido ano de afastamento; documento 13

- Extrato de ata da reunião da área com anuência do grupo, para o afastamento; documento 11 .

(Assinado digitalmente em 23/02/2021 10:40)
MARCIA REGINA BECKER
COORDENADOR - TITULAR
CHEFE DE UNIDADE
CICN (10.01.06.03.04.04)
Matrícula: 1585820

Processo Associado: 23422.001557/2021-89

Para verificar a autenticidade deste documento entre em https://sig.unila.edu.br/public/documentos/index.jsp informando seu número: **332**, ano: **2021**, tipo: **DESPACHO**, data de emissão: **22/02/2021** e o código de verificação: **47bc7a7909**

Consultas Acadêmicas > Consultar Planos Individuais de Trabalho Docente

Esta consulta destina-se a disponibilizar os Planos Individuais de Trabalho Docente que já os submeteram à homologação.

Informe os critérios de busca

- [ ] Ano-Período: .
- [x] Unidade de lotação: INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS DA VIDA E DA NATUREZA
- [x] Docente: RAPHAEL FORTES INFANTE GOMES

Buscar | Cancelar

: Visualizar PITD

Resultado da busca (7)

Ano-Período	Docente	Regime Trabalho	Unidade	Situação	
2017.1	RAPHAEL FORTES INFANTE GOMES	DE	ILACVN	HOMOLOGADO	
2017.2	RAPHAEL FORTES INFANTE GOMES	DE	ILACVN	HOMOLOGADO	
2018.1	RAPHAEL FORTES INFANTE GOMES	DE	ILACVN	HOMOLOGADO	
2018.2	RAPHAEL FORTES INFANTE GOMES	DE	ILACVN	HOMOLOGADO	
2019.1	RAPHAEL FORTES INFANTE GOMES	DE	ILACVN	HOMOLOGADO	
2019.2	RAPHAEL FORTES INFANTE GOMES	DE	ILACVN	HOMOLOGADO	
2020.1	RAPHAEL FORTES INFANTE GOMES	DE	ILACVN	HOMOLOGADO	

SIGAA | Coordenadoria de Tecnologia da Informação - | | Copyright © 2006-2021 - UNILA - amarelo2.unila.sigaa2 - v3.53.9

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA
INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS DA VIDA E DA NATUREZA

CHECK-LIST Nº 1/2021/ILACVN

Foz Do Iguaçu-PR, 24 de fevereiro de 2021.

LISTA DE VERIFICAÇÃO

AFASTAMENTO PARA PÓS-DOUTORADO

DOCUMENTOS NECESSÁRIOS PARA ABERTURA DO PROCESSO	Consta	Inst. legal
Requerimento de afastamento para realizar pós-doutorado	SEQ 01	Art. 26, inciso I da Resolução nº 008/2014.
Justificativa da solicitação	SEQ 07	Requerimento
Termo de compromisso de permanência na UNILA na condição de servidor ativo, por período mínimo equivalente ao período do afastamento concedido, contado da data de retorno do afastamento	SEQ 01	Art. 25, inciso II da Resolução nº 008/2014.
Verificação de que o solicitante possui tempo para aposentadoria voluntária SUPERIOR a três anos, a contar da data do início do afastamento	SEQ 01	Art. 25, §2 da Resolução nº 008/2014
Documento de que o solicitante não está afastado para exercício de mandato eletivo ou para servir em organismo internacional de que o Brasil participe ou com o qual coopere	SEQ 06	Art. 25, §2, inciso II da Resolução nº 008/2014
Documento de que o solicitante encontra-se em efetivo exercício na data da solicitação de afastamento	SEQ 08	Art. 25, §2, inciso I da Resolução nº 008/2014
Comprovante Número de servidores afastados para licença capacitação, pós-graduação. Stricto sensu e pós-doutorado do ILACVN não exceda a 20% do número total de servidores da unidade	/	Art. 25, inciso IV da Resolução nº 008/2014.
Documento de que o solicitante não ocupe cargos de: CD, FG ou FCC	SEQ 01	Art. 25, §2, inciso III da Resolução nº 008/2014
Declaração de que tem ciência do disposto no artigo 96 A da lei 8112 de 1990, incluído pela lei 11.907 de 2009	SEQ 01	Art. 26, inciso VIII da Resolução nº 008/2014.

Plano de trabalho, com cronograma de atividades detalhado, apresentado à instituição onde será realizado o programa de pós-doutorado	SEQ 03	Art. 26, inciso IV da Resolução nº 008/2014.
Carta oficial de aceite do Supervisor do pós-doutorado da instituição onde será realizado o estágio	SEQ 04	Art. 26, inciso VI da Resolução nº 008/2014.
PITDs dos dois últimos anos homologados	SEQ 15	Requerimento
Parecer da agência de fomento (facultativo)	/	Art. 16, inciso V da Resolução nº 008/2014.
Ata da área com deliberação sobre a solicitação e indicação de substituto para os encargos acadêmicos	SEQ 11	Requerimento
Ata da reunião do Colegiado do Centro Interdisciplinar onde o servidor se encontra alocado em que foi aprovado o afastamento	SEQ 14	Art. 26, inciso III da Resolução nº 008/2014.
Declaração de anuência da Direção do Instituto constando a informação de quem assumirá os encargos acadêmicos ou administrativos do servidor afastado, indicando a inviabilidade de execução da capacitação concomitante com o período de trabalho	EM ELABORAÇÃO	Art. 26, inciso II da Resolução nº 008/2014.
Que a instituição onde será realizado o estágio de pós-doutorado possua mérito acadêmico reconhecido pelo **Conselho do Instituto**	EM ELABORAÇÃO	Art. 25, inciso I da Resolução nº 008/2014.
Apreciação da concessão do afastamento pelo **Conselho do Instituto**	EM ELABORAÇÃO	Art.25. / Art. 26 parágrafo único da Resolução 08/2014

(Assinado digitalmente em 24/02/2021 09:39)
LIGIA DA FRE WINKERT
CHEFE DE DEPARTAMENTO - TITULAR
CHEFE DE UNIDADE
DAILACVN (10.01.06.03.04.01)
Matrícula: 2150223

Processo Associado: 23422.001557/2021-89

Para verificar a autenticidade deste documento entre em https://sig.unila.edu.br/public/documentos/index.jsp informando seu número: **1**, ano: **2021**, tipo: **CHECK-LIST**, data de emissão: **24/02/2021** e o código de verificação: **a994c1a026**