

## ANEXO 1 – PLANO DE TRABALHO

### 1. DADOS DOS PARTICÍPES

**Partícipe I** – Universidade Federal da Integração Latino-Americana – **UNILA**, doravante denominada simplesmente UNILA, neste ato representada pelo seu Reitor, o Sr. Gleisson Alisson Pereira de Brito, devidamente qualificado no Acordo de Cooperação Técnica pactuado entre a UNILA e Klabin S/A.

**Partícipe II** – Klabin S/A, doravante denominada simplesmente Klabin, neste ato representada pelo seu líder de equipe técnica o Sr. Arnaldo Satoru Gunzi, já devidamente qualificado no Acordo de Cooperação Técnica pactuado entre a UNILA e Klabin S/A.

### 2. DISCRIMINAÇÃO DO OBJETO

**a) Identificação do objeto:** Trata-se do projeto de colaboração e pesquisa intitulado **Estudo de Algoritmos Quânticos Orientados a Ferramentas de Otimização e Aplicados ao Planejamento Florestal**. O projeto trata da utilização de dispositivos de Computação Quântica de escala intermediária, do inglês *Noisy Intermediate-Scale Quantum* (NISQ), para uso híbrido com dispositivos de computação clássicos e aplicação em problemas de otimização combinatória. Este é um tema de grande interesse na atualidade e foco primário do presente projeto. A proposta consiste em estudar, analisar e aplicar estes conceitos para a resolução de um problema de otimização relacionado ao planejamento florestal com vista a redução de custos e, conseqüentemente, minimização dos impactos ambientais da atividade de construção de embalagens.

**b) Período de Execução:** Doze meses a partir da data de publicação do convênio no Diário Oficial da União (DOU).

**c) Contrapartidas:**

*By Brito*

*Datum*



**Ministério da Educação**  
**Universidade Federal da Integração Latino-Americana**  
**Pró-Reitoria de Relações Institucionais e Internacionais**  
**Divisão de Convênios Nacionais e Internacionais**

**I – UNILA:** Contribuição com tempo de pesquisa e recursos humanos representados por dois pesquisadores doutores (com respectivas especializações nas áreas de Matemática Aplicada e Computação Quântica), um aluno de iniciação científica e um consultor externo. A carga horária atribuída será de 8h semanais para cada docente inserido no projeto e 12 horas semanais (em regime de dedicação exclusiva) para o estudante. A UNILA também vai dispor de tempo de uso para a pesquisa em seu supercomputador HPC-Lattes\* para as aplicações e utilizações clássicas que forem eventualmente demandadas, assim como as simulações quânticas. Dada a natureza do projeto, nenhuma estrutura física da UNILA será demandada por tratar-se de desenvolvimento de algoritmos e rotinas computacionais.

\*Link HPC-Lattes

<https://portal.unila.edu.br/lcad/hpc-lattes>

**II – PARCEIRO:** Demanda de recursos para a pesquisa referentes às bolsas de pesquisador e iniciação científica para os respectivos membros da equipe:

Pesquisador 1:

Rodrigo Bloor (Doutor em Matemática Aplicada – Algoritmos e Modelagem)

Instituição: UNILA

CPF: █████592359█████

Bolsa pesquisa: R\$1.200,00

Período: 12 meses

Horas de dedicação por semana: 8h

Pesquisador 2:

Raphael Fortes Infante Gomes (Doutor em Física - Informação Quântica)

Instituição: UNILA

CPF: █████312.716-█████

Bolsa pesquisa: R\$1.200,00

Período: 12 meses

Horas de dedicação por semana: 8h

Estudante:

Gabriel Krzyzanowski De Almeida (Acadêmico de Engenharia Física)

Instituição: UNILA

*Bozo*  
*Actun*



**Ministério da Educação**  
**Universidade Federal da Integração Latino-Americana**  
**Pró-Reitoria de Relações Institucionais e Internacionais**  
**Divisão de Convênios Nacionais e Internacionais**

CPF: [REDACTED] 437.669-[REDACTED]

Bolsa Iniciação Científica: R\$500,00

Período: 12 meses

Horas de dedicação por semana: 12h

Demanda de recursos para a pesquisa referentes à consultoria externa a ser realizada pelo engenheiro Anton Simen Albino com 40h anuais de dedicação:

Consultor externo:

Anton Simen Albino (Engenheiro Físico)

CPF: [REDACTED] 853.697-[REDACTED]

Consultoria: R\$8.000,00 (Incluindo encargos) em uma única parcela anual.

Dedicação: 40h para o período de 12 meses.

Natureza da Consultoria: Fornecimento e auxílio na preparação de dois cursos, de 20h cada, para treinamento em programação de algoritmos quânticos sendo que um deles será fornecido na forma de extensão universitária para a comunidade externa e interna e o outro será um workshop fornecido em conjunto com os patrocinadores (Klabin) para membros do departamento de pesquisa da empresa e para uso interno dos membros do projeto.

Total de recursos fornecidos para bolsas de pesquisa: R\$ 34.800,00 pelo período de 12 meses de duração do projeto.

Total de recursos para consultoria externa: R\$ 8.000,00 bruto a serem pagos em uma única parcela incluindo encargos de prestação de serviço autônomo e sem vínculo trabalhista seguindo a legislação.

Fundação de Apoio FEESC: Será pago o valor de R\$ 4.760,00 (quatro mil setecentos e sessenta reais), que corresponde a uma taxa de administração da fundação de apoio.

Investimento Total Bruto: R\$ 47.560,00 (Quarenta e sete mil quinhentos e sessenta reais) por 12 meses.

**d) Obrigações dos partícipes:**

**I – UNILA:** Executar a pesquisa com dedicação de 8h por pesquisadores. Entregar relatórios, sobre o andamento da pesquisa, quando solicitado pelo patrocinador. Garantir a

*Anton*



**Ministério da Educação**  
**Universidade Federal da Integração Latino-Americana**  
**Pró-Reitoria de Relações Institucionais e Internacionais**  
**Divisão de Convênios Nacionais e Internacionais**

confidencialidade de dados sensíveis e de interesse do patrocinador. Compartilhamento de rotinas implementadas e com tutoriais, a partir dos algoritmos desenvolvidos, para o patrocinador.

**II – Klabin S/A:** Patrocinar a pesquisa com recursos estabelecidos nas contrapartidas.

**h) Unidade responsável:** Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza (ILACVN) com execução no Centro interdisciplinar de Ciências da Natureza (CICN).

**i) Coordenadores pela UNILA:**

**Titular:** Doutor Rodrigo Bloot

**Auxiliar:** Doutor Raphael Fortes Infante Gomes

**j) Coordenadores pelo(a) Klabin S/A:**

**Titular:** Arnaldo Satoru Gunzi

**Auxiliar (opcional):**

### 3. JUSTIFICATIVA DO INTERESSE PÚBLICO ENVOLVIDO NA PARCERIA

O investimento nas áreas de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) é uma das peças-chave necessárias para que o Brasil e os demais países da América-Latina possam finalmente atingir o visado *status* de autonomia tecnológica. Em especial, no contexto brasileiro, parcerias público-privadas são de grande importância para o alcance de tal propósito, como as Leis 10.973/04 e 11.196/05 (que criam incentivos fiscais para pessoas jurídicas que atuam com pesquisa). Nesse sentido, os legisladores nacionais estabeleceram na Lei 13.243/16 as bases legais para que as Universidades Federais e os Institutos de Pesquisa pudessem realizar sem entraves burocráticos tais tipos de colaboração. Logo,



**Ministério da Educação**  
**Universidade Federal da Integração Latino-Americana**  
**Pró-Reitoria de Relações Institucionais e Internacionais**  
**Divisão de Convênios Nacionais e Internacionais**

uma vez que a Lei que possui o crivo do Congresso Nacional e foi sancionada pela Presidência da República, acreditamos que o interesse público em tal tipo de atividade é tácito e muito bem justificado pela própria existência de tal conjunto de Leis, assim como os efeitos positivos para toda a sociedade; especialmente para a comunidade da UNILA e o departamento de Pesquisa e Inovação da Klabin S/A. Por tais motivos, e devidamente estabelecidos os aspectos legais, a presente parceria com o departamento de Pesquisa e Inovação da empresa Klabin S/A propõe o estudo de algoritmos que podem ser aplicados diretamente nos dispositivos de computação modernos, os quais utilizam princípios e métodos intrínsecos da Física Quântica e da Teoria da Informação Quântica.

R. 9.01

Os estudos sobre o funcionamento de dispositivos físicos para o cálculo de rotinas e algoritmos que obedecem a estes princípios surgiram na década de 80, com destaque para os trabalhos de Charles Bennet e David Deutsch (o qual apresenta uma proposta para a construção de um computador que realizaria cálculos seguindo a lógica e os princípios da Mecânica Quântica). Desde então, diversos avanços foram obtidos na construção de algoritmos que poderiam ser aplicados a tais dispositivos. Os protótipos quânticos iniciais foram construídos em 1999 no M.I.T. (*Massachusetts Institute of Technology*), e em 2007 a empresa canadense D-Wave apresentou para o mundo o primeiro computador quântico projetado para fins de uso comercial. Nos últimos cinco anos, a comunidade científica internacional acompanhou o surgimento de plataformas que permitem o acesso a tais dispositivos pela nuvem, dentre os quais se destacam os sistemas disponibilizados pela IBM - inseridos no programa *IBMQ Experience* - e a empresa canadense Xanadu, através da integração entre a plataforma *Pennylane*, *plug-ins* e *hardwares* de máquinas quânticas reais (como o *Strawberryfields*).

D. 10

Ainda incipiente, esta tecnologia encontra-se nos primeiros estágios de seu desenvolvimento e tem sido dominada por empresas majoritariamente anglo-saxônicas, que controlam o ciclo de construção de *hardwares* para esta classe de sistemas. Ademais, a construção dos dispositivos práticos

deve ser baseada em princípios físicos pré-estabelecidos, como os sistemas de cavidades óticas (Fig. 1.a) e armadilhas de íons (Fig. 1.b) desenvolvidos respectivamente pela Xanadu e IBM. Estes sistemas foram projetados para funcionar de acordo com a natureza específica de cada aplicação, o que implica em condições de manutenção e armazenagem completamente distintas. Segundo os engenheiros da Xanadu, enquanto o respectivo processador pode ser operado em temperatura ambiente, o dispositivo da IBM demanda um armazenamento com temperaturas próximas ao zero absoluto. Desta forma, existem impactos diretos quanto ao uso futuro e as aquisições de tais sistemas e, portanto, torna-se imperioso no processo de escolha entender a performance dos algoritmos adaptados a cada dispositivo. Embora a discussão e o subsequente detalhamento das etapas que envolvem a construção de tais dispositivos não pertençam ao escopo do presente projeto, o entendimento das condições de funcionamento de ambos (bem como a implementação de algoritmos nestas plataformas) está diretamente alinhada aos interesses do presente grupo de pesquisa.

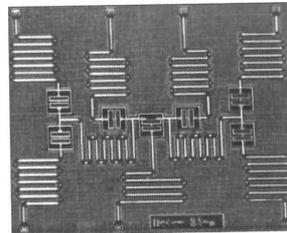
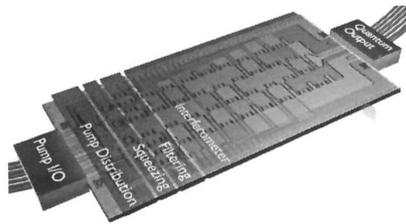


Figura 1.a (à esquerda): processador quântico fotônico da empresa Xanadu. Fonte:

<https://strawberryfields.ai/photronics/hardware/index.html>

Figura 1.a (à direita): processador quântico baseado em supercondutores da empresa IBM. Fonte:

<https://newsroom.ibm.com/2017-09-13-IBM-Pioneers-New-Approach-to-Simulate-Chemistry-with-Quantum-Computing>

Sob o ponto de vista da UNILA, estes problemas se apresentam como uma grande oportunidade para que os envolvidos possam aprofundar seu conhecimento e o respectivo *background* na área e, por



**Ministério da Educação**  
**Universidade Federal da Integração Latino-Americana**  
**Pró-Reitoria de Relações Institucionais e Internacionais**  
**Divisão de Convênios Nacionais e Internacionais**

consequência, aplicá-los na formação de recursos humanos e conhecimento. Para a Klabin, geram a possibilidade de expandir a *network* de seu centro de estudos, elevando o número de parceiros e colaborações nos moldes previstos pela Lei de Inovação. Com isto em mente, pretendemos dedicar uma quantia substancial de nossa carga horária semanal neste projeto, visando aliar pesquisas e a atividade intelectual na prova de conceito e no uso correto e racional destes dispositivos em problemas que sejam de interesse mútuo. Posto isto, faz-se mister ressaltar um dos objetivos em comum de ambas as partes nesta área: a análise e a aplicação de técnicas de problemas de otimização no planejamento florestal. Sob o ponto de vista acadêmico, a relevância do tema reside na análise da complexidade computacional e no uso de ferramentas de otimização envolvidos nos problemas. Na perspectiva da empresa, a solução ótima do problema pode gerar resultados que alterem os impactos ambientais neste cenário de forma significativa, uma vez que as técnicas podem contribuir para aprimorar o gerenciamento de recursos escassos. Neste contexto, os interesses do departamento de pesquisa da Klabin e do Grupo de otimização e Computação Quântica da UNILA encontram-se alinhados sob o mesmo propósito.

*Handwritten signature*

#### **4. VINCULAÇÃO DAS AÇÕES DA PARCERIA COM O PDI DA UNILA**

O Plano de Desenvolvimento Institucional (PDI) da UNILA explicita a missão e as diretrizes de trabalho da Instituição. A parceria, do ponto de vista da pesquisa, aplicará o princípio da interdisciplinaridade, concatenando várias áreas do conhecimento. As áreas envolvidas abrangem Matemática Aplicada, Física, Computação Quântica e Computação Clássica e, sendo a Klabin uma empresa de grande porte responsável pela produção de embalagens, os possíveis resultados obtidos através das pesquisas supramencionadas seguem corretamente o caminho de políticas sustentáveis e ambientalmente saudáveis. Portanto, com relação ao PDI 2019-2023 e especialmente aos itens 6.7 e



**Ministério da Educação**  
**Universidade Federal da Integração Latino-Americana**  
**Pró-Reitoria de Relações Institucionais e Internacionais**  
**Divisão de Convênios Nacionais e Internacionais**

6.10 (que versam sobre pesquisa e a responsabilidade socioambiental dos proponentes), confirmamos a assertiva de estamos perfeitamente alinhados com os respectivos interesses institucionais.

## 5. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste projeto de pesquisa consiste em implementar e validar algoritmos em dispositivos de Computação Quântica de escala intermediária (do inglês *Noisy Intermediate-Scale Quantum* - NISQ) para uso híbrido em sistemas de computação clássicos e aplicações em problemas de otimização, cujo enfoque relaciona-se à área de planejamento florestal. Em paralelo, pretendemos realizar a prova de conceito nos dois tipos distintos de processadores citados para comparar o desempenho e os respectivos resultados destes sistemas. Faz necessário ressaltar que, no presente estágio, a proposta não inclui a comparação de uma análise técnica entre a performance e os resultados obtidos nestes sistemas através de métodos clássicos.

*Rafael Blaut*

### 5.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O planejamento florestal está diretamente relacionado à eficiência do gerenciamento de recursos escassos e reutilizáveis, e uma produção eficiente de embalagens tem se tornado fundamental para a dinâmica das cadeias de comércio.

Um dos problemas envolvidos no planejamento florestal é Planejamento de Silvicultura de Curto Prazo. O objetivo é decidir qual a espécie de material a ser plantada em cada bloco liberado para plantio, ao longo do ano, minimizar custos e maximizar produtividade.

Uma visão geral do problema será descrita abaixo, porém, detalhes específicos serão liberados

*Doutor*

no início do trabalho.

**Inputs:**

- Lista de blocos e mês que estes serão liberados
- Características gerais dos blocos: área, distância à fabricas
- Informações de produtividade por espécie por bloco
- Informações de planejamento médio prazo de silvicultura
- Capacidades máximas de plantio por espécie e por mês

**Variável de decisão:**

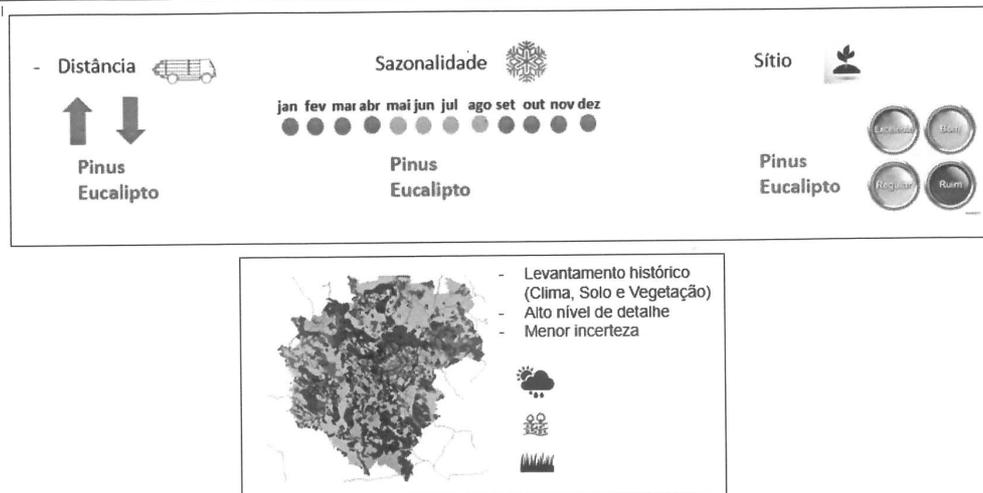
- Qual espécie plantar em qual época do ano

**Restrições e objetivos:**

- Cumprir programa de plantio do longo prazo
- Plantar gênero eucalipto próximo às fábricas e pinus longe, por conta da diferença de ciclo de colheitas
- Respeitar janela de plantio de inverno (não plantar eucalipto no inverno)
- Alocar a espécie com maior produtividade possível para o bloco
- Respeitar capacidades mensais de plantio por espécie e por região

*Handwritten signature*

*Handwritten signature*



Há diversas outras restrições mais operacionais, porém, para a finalidade deste trabalho, não são importantes.

Atualmente, o processo roda uma rotina de programação linear inteira escrita em Python, utilizando a biblioteca Pyomo. O objetivo deste trabalho não é superar a formulação atual, mas sim, verificar como este problema pode ser resolvido utilizando métodos de computação quântica, e entender vantagens e desvantagens da tecnologia atual. Sendo assim, adotaremos como *benchmark* um problema linear sobre planejamento florestal bem estruturado, cuja solução através de ferramentas clássicas já seja conhecida. Em seguida, considerando que o problema possui restrições específicas e esteja bem definido, elaboraremos modelos para investigar o problema através de um Hamiltoniano que representa um sistema físico compatível o cenário em questão, com o intuito de usar os algoritmos variacionais mais conhecidos - como o *Variational Quantum Eigensolver* (VQE) e o *Quantum Approximate Optimization Algorithm* (QAOA) - na busca pela solução ótima. Em paralelo,

*Lygia*  
*Adm*



**Ministério da Educação**  
**Universidade Federal da Integração Latino-Americana**  
**Pró-Reitoria de Relações Institucionais e Internacionais**  
**Divisão de Convênios Nacionais e Internacionais**

investigaremos técnicas, algoritmos e modelos alternativos que possam ser aplicados na solução do referido problema durante a vigência do projeto de pesquisa.

## 6. BENEFICIÁRIOS

Um projeto de pesquisa que alie a área de Computação Quântica e métodos híbridos prevê benefícios tanto para a UNILA como para o departamento de pesquisa da Klabin, bem como para os contribuintes da sociedade como um todo. A primeira seria contemplada com o propósito de consolidar parcerias, além de fomentar a pesquisa e a sinergia com o setor privado produtivo (que gera empregos e renda). Por sua vez, a Klabin poderia estender os laços de seu laboratório de pesquisa com uma nova instituição, permitindo ampliar a troca de informações que circulam nesta densa rede de pesquisa. Por fim, por visto que se trata de uma tecnologia inovadora, é importante para os pagadores de impostos que entes públicos estejam no enalço de tais temas, visando evitar uma alienação por parte da sociedade brasileira neste cenário e a subsequente defasagem tecnológica do país em um futuro próximo.

## 7. RESULTADOS ESPERADOS

A presente parceria visa obter resultados em três frentes distintas:

- Modelar e obter a solução ótima do problema de planejamento florestal comparável a *benchmark* clássico. Os resultados obtidos serão publicados em um relatório interno para o patrocinador e, na ausência de dados sensíveis, os mesmos serão discutidos e inseridos em trabalhos que podem ser posteriormente submetidos para revistas científicas de circulação internacional.
- Descrever metodologicamente o funcionamento das plataformas disponíveis por meio de manuais de fácil uso. Construir rotinas para uso integrado com as plataformas.



**Ministério da Educação**  
**Universidade Federal da Integração Latino-Americana**  
Pró-Reitoria de Relações Institucionais e Internacionais  
Divisão de Convênios Nacionais e Internacionais

- Consolidar a parceria com o departamento de pesquisa da Klabin para um relacionamento duradouro.

### 8. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

O cronograma de execução é pautado em algumas metas as quais abaixo listo:

Meta 1: Avaliar o estado da arte referente aos algoritmos adaptados ao uso para *NISQ* por meio de uma revisão de artigos e trabalhos publicados.

Meta 2: Desenvolvimento intelectual de um algoritmo apropriado ao problema descrito nos objetivos específicos. Realização de simulações e estudo de complexidade computacional.

Meta 3: Realização da prova de conceito e comparação entre dois tipos distintos de processadores. Determinar métricas adequadas de comparação de desempenho.

Meta 4: Compilação dos resultados e rotinas criadas. Elaboração de um relatório técnico a ser apresentado aos pesquisadores da Klabin S/A. Transferência ao Departamento de Pesquisa e Inovação da Klabin de todas as rotinas implementadas. Elaboração de um manual de uso da plataforma da *Xanadu*.

| Etapa | Atividade                                                                                                                            | Meta | Período de Execução    |               |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------------------|---------------|
|       |                                                                                                                                      |      | Início                 | Término       |
| 1     | Pesquisa e revisão bibliográfica.                                                                                                    | 1    | Publicação DOU: Mês um | Em 1 Mês      |
| 2     | Modelagem e formulação do problema híbrido (Quântico-Clássico) aplicado ao planejamento florestal: Estudo e simulação de resultados. | 2    | Mês dois               | Em três meses |



**Ministério da Educação**  
**Universidade Federal da Integração Latino-Americana**  
**Pró-Reitoria de Relações Institucionais e Internacionais**  
**Divisão de Convênios Nacionais e Internacionais**

|   |                                                                                                                                     |   |           |                                          |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----------|------------------------------------------|
| 3 | Implementação dos algoritmos obtidos nos dispositivos disponíveis na <i>IBMQ Experience</i> e <i>Xanadu</i> para prova de conceito. | 3 | Mês cinco | Em Cinco Meses                           |
| 4 | Produção do relatório final.                                                                                                        | 4 | Mês 10    | 90 dias após a data de publicação no DOU |

O presente Plano de Trabalho se remete às todas as regras, condições e informações constantes no Acordo de Cooperação Técnica pactuado entre a UNILA e a Klabin S/A, em a ser publicado no Diário Oficial da União após a celebração do convênio entre as partes.

Foz do Iguaçu, (PR), 13 de junho de 2022.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO  
LATINO-AMERICANA**

**Klabin S/A**

**Rodrigo Bloot**  
Coordenador(a) do Plano  
Professor  
SIAPE:1836489

**Arnaldo Satoru Gunzi**  
Coordenador(a) do Plano  
Gerente de projetos



---

*Emitido em 20/10/2022*

**PLANO DE TRABALHO Nº 60/2022 - DICONI (10.01.05.26.01.04)**

**(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)**

*(Assinado digitalmente em 20/10/2022 10:08 )*

**LEANDRO JOSE SCHERER**

*CHEFE DE DIVISAO - TITULAR*

*DICONI (10.01.05.26.01.04)*

*Matricula: 1939658*

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sig.unila.edu.br/documentos/> informando seu número: **60**, ano: **2022**, tipo: **PLANO DE TRABALHO**, data de emissão: **20/10/2022** e o código de verificação: **93ae580aaf**