

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CAMPUS FREDERICO WESTPHALEN  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA:  
AGRICULTURA E AMBIENTE**

Claiton Nardini

**DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA USO EM INVENTÁRIO  
FLORESTAL BASEADO EM LINGUAGEM JULIA**

Frederico Westphalen, RS  
2023

**Claiton Nardini**

**DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA USO EM INVENTÁRIO  
FLORESTAL BASEADO EM LINGUAGEM JULIA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia.**

Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup>. Bráulio Otomar Caron

Coorientador: Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup>. Cristiano Bertolini

Frederico Westphalen, RS  
2023

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Nardini, Claiton  
Desenvolvimento de software para uso em inventário florestal baseado em linguagem Julia / Claiton Nardini.- 2023.  
99 p.; 30 cm

Orientador: Braulio Otomar Caron  
Coorientador: Cristiano Bertolini  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen, Programa de Pós Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, RS, 2023

1. Processamento de dados 2. Programação 3. Ciência florestal 4. Processos de amostragem I. Caron, Braulio Otomar II. Bertolini, Cristiano III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, CLAITON NARDINI, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

**Claiton Nardini**

**DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA USO EM INVENTÁRIO  
FLORESTAL BASEADO EM LINGUAGEM JULIA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia.**

**Aprovado em 15 de fevereiro de 2023:**

---

**Braulio Otomar Caron, Dr.º. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Cristiano Bertolini, Dr.º. (UFSM)**  
(Co-orientador)

---

**Alexandre Behling, Dr.º. (UFPR)**  
(Membro externo)

---

**Paulo Roberto dos Santos Salbego, Dr.º (UFSM)**  
(Membro interno)

Frederico Westphalen, RS  
2023

## **DEDICATÓRIA**

A Deus pelo dom da vida e pela proteção. A toda minha família, por serem minha inspiração de força e luta diária para que este sonho se tornasse realidade, dedico-lhes esse trabalho.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por estar ao meu lado em todos os momentos da minha vida, por me proporcionar, saúde, força e sabedoria.

Universidade Federal de Santa Maria, campus Frederico Westphalen e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, pela a oportunidade da realização do mestrado.

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelo auxílio financeiro através da concessão da bolsa de mestrado.

Todas as pessoas que conhecemos têm um papel importante em nossas vidas, e elas cruzam nosso caminho não é por acaso. Tem umas que estabelecem uma ligação tão forte que passam a ser como se fossem da família. Meu orientador, professor, amigo Braulio Otomar Caron, você é uma dessas pessoas. Obrigado pela oportunidade, confiança, pela orientação, por todas as conversas, conselhos e ensinamentos, pela amizade e pelo estímulo em ser uma pessoa cada dia melhor. Vou sentir saudades das nossas conversas e do nosso chimarrão todas as manhãs no Biometria. A você todo meu carinho e gratidão.

Aos professores Elder Eloy, Denise Schmidt e Gizelli Moiano de Paula, por sempre se colocarem a disposição para tirar inúmeras dúvidas que surgiram ao longo desses anos, pelos ensinamentos, conversas, risadas e pela grande amizade construída.

Ao professor Cristiano Bertolini, por se colocar à disposição de coorientar, pelos ensinamentos, amizade, que foram fundamentais na realização desse trabalho.

Ao professor Alexandre Behling, pela coorientação, ensinamentos, pelas oportunidades que me proporcionou ao longo de toda a graduação e mestrado e por demonstrar que até as situações mais difíceis podem se tornar simples ao longo do tempo.

A todos os amigos dos Laboratórios de Agroclimatologia, Biometria de Plantas e Extrativos Aromáticos e da Pós-Graduação. Obrigado pela amizade, companheirismo ao longo desses anos.

A minha família, principalmente minha mãe Margarete Nardini pelo apoio, incentivo, confiança e suporte depositado em mim. Pela compreensão nos momentos de ausência e pelos conselhos valiosos.

Sou grato chegar nesse momento e ver a quantidade de pessoas que me ajudaram e apoiaram para realização dessa conquista. Por fim, muito obrigado de coração por todos que estiveram ao meu lado.

Os mestres ensinam aos discípulos, estes tornam  
mestres; os ensinamentos se ampliam e se  
perpetuam; a ciência se consolida; a humanidade  
se beneficia e agradece a Deus por existirem os  
mestres.

(PÉLLICO NETTO, 1997)

## RESUMO

### DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA USO EM INVENTÁRIO FLORESTAL BASEADO EM LINGUAGEM JULIA

AUTOR: Claiton Nardini  
ORIENTADOR: Braulio Otomar Caron  
COORIENTADOR: Cristiano Bertolini

O inventário florestal é uma técnica responsável por avaliar as características e mudanças em uma floresta em determinado tempo como o crescimento, desenvolvimento e volume total e comercial de uma população florestal. No curso da engenharia florestal é uma importante disciplina na formação do acadêmico. Para o processamento dos dados coletados no inventário florestal o uso de *softwares* já é bastante difundido. No entanto, é sempre importante a busca de tecnologias alternativas para realização desse processamento. Pouca conhecida na ciência florestal a linguagem de programação Julia pode se tornar uma nova opção para o processamento desses dados oriundos do inventário florestal. Julia foi desenvolvida na última década por estudantes do Instituto de Tecnologia de Massachusetts. A linguagem em relação a outras linguagens apresenta um grande avanço no processamento de dados, como o Just-In-Time, chamando assim a atenção dos pesquisadores. Desta forma, o trabalho teve por objetivo escrever e avaliar as funções dos 10 processos de amostragens existentes no livro de Inventário Florestal de Péllico Netto e Brena (1997), usando a linguagem de programação Julia. Ao longo do trabalho, está descrito o passo a passo que foi realizado na estruturação, para que fosse possível escrever as funções e como os usuários possam usá-las para o processamento de dados do inventário florestal. O trabalho buscou demonstrar a aplicação de uma nova linguagem no inventário florestal, além de demonstrar a dificuldade da inserção de uma nova linguagem e os desafios que o usuário pode vir enfrentar. Porém, o trabalho mostrou o potencial no uso de Julia, tornando uma linguagem acessível aos acadêmicos, pesquisadores e profissionais da ciência florestal, sem exigir alto grau de conhecimento em programação, o que torna potencialmente atraente para os mesmos.

**Palavras-chaves:** Processamento de dados. Programação. Ciência florestal. Processos de amostragem.

## **ABSTRACT**

### **SOFTWARE'S DEVELOPMENT FOR USE IN FOREST INVENTORY BASED ON JULIA LANGUAGE**

AUTHOR: Claiton Nardini  
ADVISOR: Braulio Otomar Caron  
CO-SUPERVISOR: Cristiano Bertolini

The forest inventory is a technique responsible for evaluating the characteristics and changes in a forest at a certain period, such as the growth, development along with total and commercial volume of a forest population. In the course of forestry engineering, it is an important discipline in academic training. For the processing of collected data in the forest inventory, the use of software is already widespread. However, it is always important to search for alternative technologies to carry out this processing. Recondite in forest science, the Julia programming language can become a new option for processing these data from the forest inventory. The Julia programming language was developed over the past decade by students at the Massachusetts Institute of Technology. The language in relation to other languages presents a prominent advance in processing data, such as Just-In-Time, thus drawing the attention of researchers. As far as this, the objective of this work was to write and evaluate the functions of the 10 sampling processes existing in the book Forest Inventory by Pellico Netto and Brena (1997), using the Julia programming language. Throughout the study, the step by step that was performed in the structuring is described, so that it was possible to write the functions and how users can use them to process forest inventory data. The research attempts to demonstrate the application of a new language in the forest inventory, in addition to demonstrating the difficulty of inserting a new language and the challenges that the user may face. However, the work showed the potential of using The Julia programming for making a language accessible to academics, researchers and forest science professionals, without requiring a high degree of programming knowledge, which makes it potentially attractive to them.

**Keywords:** Data processing. Programming. Forest science. Sampling processes.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Fluxograma da apresentação do trabalho. ....  | 17 |
| Figura 2 – Demonstração de como selecionar diretório onde será instalado e armazenado documentos de instalação da linguagem de programação Julia. .... | 34 |
| Figura 3 – Demonstração da tela inicial da linguagem de programação Julia utilizando o prompt de comando. ....   | 35 |
| Figura 4 – Demonstração da página inicial do Visual Studio Code para instalar a extensão da linguagem de programação Julia. ....                       | 36 |
| Figura 5 – Demonstração de um comando em Julia REPL utilizando o editor de texto Visual Studio Code. ....  | 37 |
| Figura 6 – Demonstração de como selecionar a pasta que será usada para salvar as funções e projetos. ....  | 38 |
| Figura 7 – Demonstração de como abrir a função, criar novos arquivos, novas pastas, atualizar e recolher. ....   | 39 |
| Figura 8 – Diagrama de classes para a função de amostragem aleatória simples. ....   | 40 |
| Figura 9 – Diagrama de classes para a função de amostragem estratificada. ....   | 42 |
| Figura 10 – Diagrama de classes para a função de amostragem sistemática. ....  | 43 |
| Figura 11 – Diagrama de classes para a função de amostragem em dois estágios. ....   | 44 |
| Figura 12 – Diagrama de classes para a função de amostragem em conglomerados. ....   | 46 |
| Figura 13 – Diagrama de classes para a função de amostragem sistemática com múltiplos inícios aleatórios. ....   | 47 |
| Figura 14 – Diagrama de classes para a função de amostragem em múltiplas ocasiões: amostragem independente. ....                                       | 48 |
| Figura 15 – Diagrama de classes para a função de amostragem em múltiplas ocasiões: amostragem com repetição total. ....                                | 50 |
| Figura 16 – Diagrama de classes para a função de amostragem em múltiplas ocasiões: amostragem com repetição dupla. ....                                | 51 |
| Figura 17 – Diagrama de classes para a função de amostragem em múltiplas ocasiões: amostragem com repetição parcial. ....                              | 52 |
| Figura 18 – Instalação e habilitação para o uso do pacote BenchmarkTools. ....   | 53 |
| Figura 19 – Divisão da função da amostragem aleatória simples em três partes para demonstração. ....   | 55 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 20 – Primeira parte da função para a amostragem aleatória simples. ....  | 56 |
| Figura 21 – Segunda parte da função para amostragem aleatória simples. ....   | 57 |
| Figura 22 – Terceira parte da função para amostragem aleatória simples. ....  | 57 |
| Figura 23 – Função para executar o cálculo da amostragem aleatória simples.....   | 58 |
| Figura 24 – Planilha gerada com os resultados para a amostragem aleatória simples. ....   | 60 |
| Figura 25 – Código para criar e indicar o local em que deseja salvar o resultado da amostragem<br>aleatória simples em Excel.xlsx.....                            | 60 |
| Figura 26 – Função para executar o cálculo de amostragem estratificada. ....  | 62 |
| Figura 27 – Planilha gerada com os resultados para a amostragem estratificada.....  | 63 |
| Figura 28 – Código para criar e indicar o local em que deseja salvar o resultado da amostragem<br>estratificada em Excel.xlsx. ....                               | 64 |
| Figura 29 – Função para executar o cálculo de amostragem sistemática. ....  | 65 |
| Figura 30 – Planilha gerada com os resultados para a amostragem sistemática. ....   | 66 |
| Figura 31 – Código para criar e indicar o local em que deseja salvar o resultado da amostragem<br>sistemática em Excel.xlsx. ....                                 | 67 |
| Figura 32 – Função para executar o cálculo de amostragem em dois estágios. ....   | 68 |
| Figura 33 – Planilha gerada com os resultados para a amostragem em dois estágios.....   | 69 |
| Figura 34 – Código para criar e indicar o local em que deseja salvar o resultado da amostragem<br>em dois estágios em Excel.xlsx. ....                            | 70 |
| Figura 35 – Função para executar o cálculo de amostragem em conglomerados. ....   | 71 |
| Figura 36 – Planilha gerada com os resultados para a amostragem em conglomerados.....   | 72 |
| Figura 37 – Código para criar e indicar o local em que deseja salvar o resultado da amostragem<br>em conglomerados em Excel.xlsx. ....                            | 73 |
| Figura 38 – Função para executar o cálculo de amostragem sistemática com múltiplos inícios<br>aleatórios.....   | 74 |
| Figura 39 – Planilha gerada com os resultados para a amostragem sistemática com múltiplos<br>inícios aleatórios.....  | 75 |
| Figura 40 – Código para criar e indicar o local em que deseja salvar o resultado da amostragem<br>sistemática com múltiplos inícios aleatórios em Excel.xlsx..... | 76 |
| Figura 41 – Função para executar o cálculo de amostragem múltiplas ocasiões: amostragem<br>independente.....  | 77 |
| Figura 42 – Planilha gerada com os resultados para a amostragem múltiplas ocasiões:<br>amostragem independente.....   | 78 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 43 – Código para criar e indicar o local em que deseja salvar o resultado da amostragem independente em Excel.xlsx. ....                                      | 79 |
| Figura 44 – Função para executar o cálculo de amostragem múltiplas ocasiões: amostragem com repetição total. ....  | 80 |
| Figura 45 – Planilha gerada com os resultados para a amostragem múltiplas ocasiões: amostragem com repetição total. ....   | 81 |
| Figura 46 – Código para criar e indicar o local em que deseja salvar o resultado da amostragem com repetição total em Excel.xlsx. ....                               | 82 |
| Figura 47 – Função para executar o cálculo de amostragem múltiplas ocasiões: amostragem com repetição dupla. ....  | 83 |
| Figura 48 – Planilha gerada com os resultados para a amostragem múltiplas ocasiões: amostragem com repetição dupla. ....   | 84 |
| Figura 49 – Função para executar o cálculo de amostragem múltiplas ocasiões: amostragem com repetição dupla. ....  | 85 |
| Figura 50 – Função para executar o cálculo de amostragem múltiplas ocasiões: amostragem com repetição parcial. ....  | 86 |
| Figura 51 – Planilha gerada com os resultados para a amostragem múltiplas ocasiões: amostragem com repetição parcial. ....   | 87 |
| Figura 52 – Função para executar o cálculo de amostragem múltiplas ocasiões: amostragem com repetição parcial. ....  | 88 |
| Figura 53 – Tempo de processamento médio em segundos pelo teste de benchmarks para linguagem R e linguagem Julia com diferentes tamanhos de conjuntos de dados. .... | 89 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Sintaxe de operações básicas que podem ser utilizadas na linguagem de programação Julia. .... | 21 |
| Tabela 2 – Sistema de gerenciamento de pacotes na linguagem de programação Julia.....                    | 22 |

## SUMÁRIO

|          |  |    |
|----------|--|----|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b> .....  | 14 |
| 1.1      | OBJETIVOS.....   | 15 |
| 1.1.1    | <b>Objetivo geral</b> .....  | 15 |
| 1.1.2    | <b>Objetivos específicos</b> .....                                   | 15 |
| 1.2      | ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....  | 16 |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....                                   | 18 |
| 2.1      | LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO JULIA .....                                 | 18 |
| 2.1.1    | <b>História</b> .....  | 18 |
| 2.1.2    | <b>Por que Julia?</b> .....  | 19 |
| 2.1.3    | <b>Aplicação</b> .....   | 20 |
| 2.1.4    | <b>Guia de estilo em Julia</b> .....                                 | 20 |
| 2.2      | ALGUNS ASPECTOS DA EVOLUÇÃO COMPUTACIONAL NA CIÊNCIA FLORESTAL<br>22 |    |
| 2.3      | JULIA NA CIÊNCIA FLORESTAL .....                                     | 24 |
| 2.4      | PROCESSOS DE AMOSTRAGEM EM INVENTÁRIO FLORESTAL.....                 | 25 |
| 2.4.1    | <b>Amostragem aleatória simples</b> .....                            | 26 |
| 2.4.2    | <b>Amostragem estratificada</b> .....                                | 27 |
| 2.4.3    | <b>Amostragem sistemática</b> .....                                  | 27 |
| 2.4.4    | <b>Amostragem em dois estágios</b> .....                             | 28 |
| 2.4.5    | <b>Amostragem em conglomerados</b> .....                             | 29 |
| 2.4.6    | <b>Amostragem sistemática com múltiplos inícios aleatórios</b> ..... | 30 |
| 2.4.7    | <b>Amostragem em múltiplos inícios</b> .....                         | 30 |
| 2.4.7.1  | Amostragem independente .....  | 30 |
| 2.4.7.2  | Amostragem com repetição total.....                                  | 31 |
| 2.4.7.3  | Amostragem com repetição dupla.....                                  | 31 |
| 2.4.7.4  | Amostragem com repetição parcial .....                               | 32 |
| <b>3</b> | <b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....                                      | 33 |
| 3.1      | OBJETO DE TRABALHO .....   | 33 |
| 3.2      | DOWNLOAD E INSTALAÇÃO DE FERRAMENTA PARA DESENVOLVIMENTO .....       | 33 |
| 3.2.1    | <b>Download e instalação da linguagem Julia</b> .....                | 33 |
| 3.2.2    | <b>Download e instalação do ambiente de programação</b> .....        | 35 |

|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| 3.3          | USO DAS FUNÇÕES NO AMBIENTE DE PROGRAMAÇÃO .....   | 37        |
| 3.4          | DESENVOLVIMENTO DAS FUNÇÕES .....  | 39        |
| <b>3.4.1</b> | <b>Amostragem aleatória simples .....</b>  | <b>40</b> |
| <b>3.4.2</b> | <b>Amostragem estratificada.....</b>   | <b>41</b> |
| <b>3.4.3</b> | <b>Amostragem sistemática .....</b>  | <b>43</b> |
| <b>3.4.4</b> | <b>Amostragem em dois estágios.....</b>  | <b>44</b> |
| <b>3.4.5</b> | <b>Amostragem em conglomerados .....</b>   | <b>45</b> |
| <b>3.4.6</b> | <b>Amostragem sistemática com múltiplos inícios aleatórios.....</b>                            | <b>46</b> |
| <b>3.4.7</b> | <b>Amostragem em múltiplas ocasiões .....</b>  | <b>47</b> |
| 3.4.7.1      | Amostragem independente .....  | 47        |
| 3.4.7.2      | Amostragem com repetição total.....  | 49        |
| 3.4.7.3      | Amostragem com repetição dupla.....  | 50        |
| 3.4.7.4      | Amostragem com repetição parcial.....  | 52        |
| 3.5          | TESTE POR <i>BENCHMARK</i> .....   | 53        |
| <b>4</b>     | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>   | <b>55</b> |
| 4.1          | PROCESSAMENTO DE DADOS .....   | 55        |
| <b>4.1.1</b> | <b>Amostragem aleatória simples .....</b>  | <b>58</b> |
| <b>4.1.2</b> | <b>Amostragem estratificada.....</b>   | <b>61</b> |
| <b>4.1.3</b> | <b>Amostragem sistemática .....</b>  | <b>64</b> |
| <b>4.1.4</b> | <b>Amostragem em dois estágios.....</b>  | <b>67</b> |
| <b>4.1.5</b> | <b>Amostragem em conglomerados .....</b>   | <b>70</b> |
| <b>4.1.6</b> | <b>Amostragem sistemática com múltiplos inícios aleatórios.....</b>                            | <b>73</b> |
| <b>4.1.7</b> | <b>Amostragem em múltiplas ocasiões .....</b>  | <b>76</b> |
| 4.1.7.1      | Amostragem independente .....  | 76        |
| 4.1.7.2      | Amostragem com repetição total.....  | 79        |
| 4.1.7.3      | Amostragem com repetição dupla.....  | 82        |
| 4.1.7.4      | Amostragem com repetição parcial.....  | 85        |
| 4.2          | TESTE POR <i>BENCHMARK</i> .....   | 88        |
| 4.3          | ESTADO-DA-ARTE DE JULIA EM INVENTÁRIO, DESAFIOS, OPURTUNIDADES E<br>PERSPECTIVAS FUTURAS ..... | 90        |
| <b>5</b>     | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>  | <b>93</b> |
|              | <b>REFERÊNCIAS .....</b>   | <b>94</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O inventário florestal é o nome atribuído a administração das florestas. Segundo Péllico Netto e Brena (1997), é por meio do inventário florestal que se pode avaliar as características e as mudanças ocorridas em determinado tempo como o crescimento, desenvolvimento e quantificar o volume total e comercial da população. Essas variáveis, obtidas pelo inventário florestal possibilitam o manejo racional das florestas, permitindo a sua exploração de forma sustentável.

No curso de engenharia florestal o inventário florestal é uma importante disciplina para a formação do profissional, a mesma se faz presente na grade curricular de todos os cursos existentes no Brasil. Na diretriz curricular nacional para o curso de engenharia florestal a Resolução n° 3, de 2 fevereiro de 2006, do Conselho Nacional de Educação (BRASIL, 2006), classifica a disciplina de inventário florestal no núcleo de conteúdos essenciais para formação do engenheiro florestal.

A realização do inventário florestal sempre tem por objetivo obter o valor de algum atributo relacionado ao povoamento florestal seja ele o volume, área basal, entre outros. Visto que, na maioria das vezes, é impossível realizar o inventário a partir de censos, eles são realizados por diferentes processos de amostragens que podem ser vistos no livro de Inventário Florestal de Péllico Netto e Brena, (1997). Independente do processo de amostragem a ser usado sempre são selecionadas parcelas denominadas de unidades amostrais, que tem a estimativas dos atributos de toda a floresta, essas unidades amostras vão implicar na precisão do inventário (Liang et al., 2016). Para Queiroz, (2012) é o ramo da ciência florestal que visa analisar as variáveis qualitativas e quantitativas de uma floresta e suas inter-relações, assim como a dinâmica de crescimento e sucessão florestal.

Para o processamento de dados dos atributos coletados por meio do inventário florestal o uso de *softwares* já é difundido, tanto no meio acadêmico como nas empresas. Esses *softwares* são utilizados normalmente visando otimizar tempo e diminuir custo do inventário florestal. Alguns dos *softwares* utilizados no processamento do inventário florestal são: o Mata Nativa (CINTEC, 2022), FlorExcel, Família SIS da Embrapa e a linguagem R (R Core Team, 2022), uma das mais utilizadas atualmente. Geralmente os *softwares* utilizados no processamento do inventário florestal o usuário somente carrega um pacote contendo as funções, os dados e seleciona uma função e tem o resultado final do processamento.

Pouca conhecida ainda na área da engenharia florestal, a linguagem de programação Julia (JULIA, 2022) pode se tornar uma nova opção no processamento de dados em toda área de atuação da engenharia florestal ou mais específico na área do inventário florestal a qual é o objetivo deste trabalho. Julia foi desenvolvida na última década pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), um dos maiores institutos de tecnologia do mundo. Essa linguagem, em relação as outras, traz um grande avanço no processamento de dados. Julia foi projetada com a finalidade de ser dinâmica, eficiente e de livre acesso com desempenho comparável a linguagens estáticas tradicionalmente utilizadas (BEZANSON et al., 2012a).

Na engenharia florestal, é sempre necessário novas opções de metodologias para o uso de processamento de dados. O uso de tecnologias alternativas visa encontrar ferramentas de trabalho mais dinâmica, eficiente e que pode se tornar aplicável para todo meio acadêmico e profissional, tendo em vista a importância do uso de linguagens de programação nos dias atuais na ciência florestal. Levando o pressuposto que a criação de novas estratégias de desenvolvimento para aprimorar habilidades de profissionais e futuros, visando resolver problemas. Para isso, é necessário novas metodologias que proporcionam a autonomia e aumentam a habilidade do profissional (Uzun, 2019).

Para o presente trabalho foram estudados os processos de amostragem do inventário florestal descritos no livro de Péllico Netto e Brena, (1997), esses processos foram escritos em formas de função usando a linguagem de programação Julia, para disponibilizar uma nova opção que pode vir ser utilizada no processamento de dados de volume dos inventários florestais.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho teve por objetivo desenvolver um software para aplicação no processamento de dados de amostragem do inventário florestal baseado na linguagem de programação Julia.

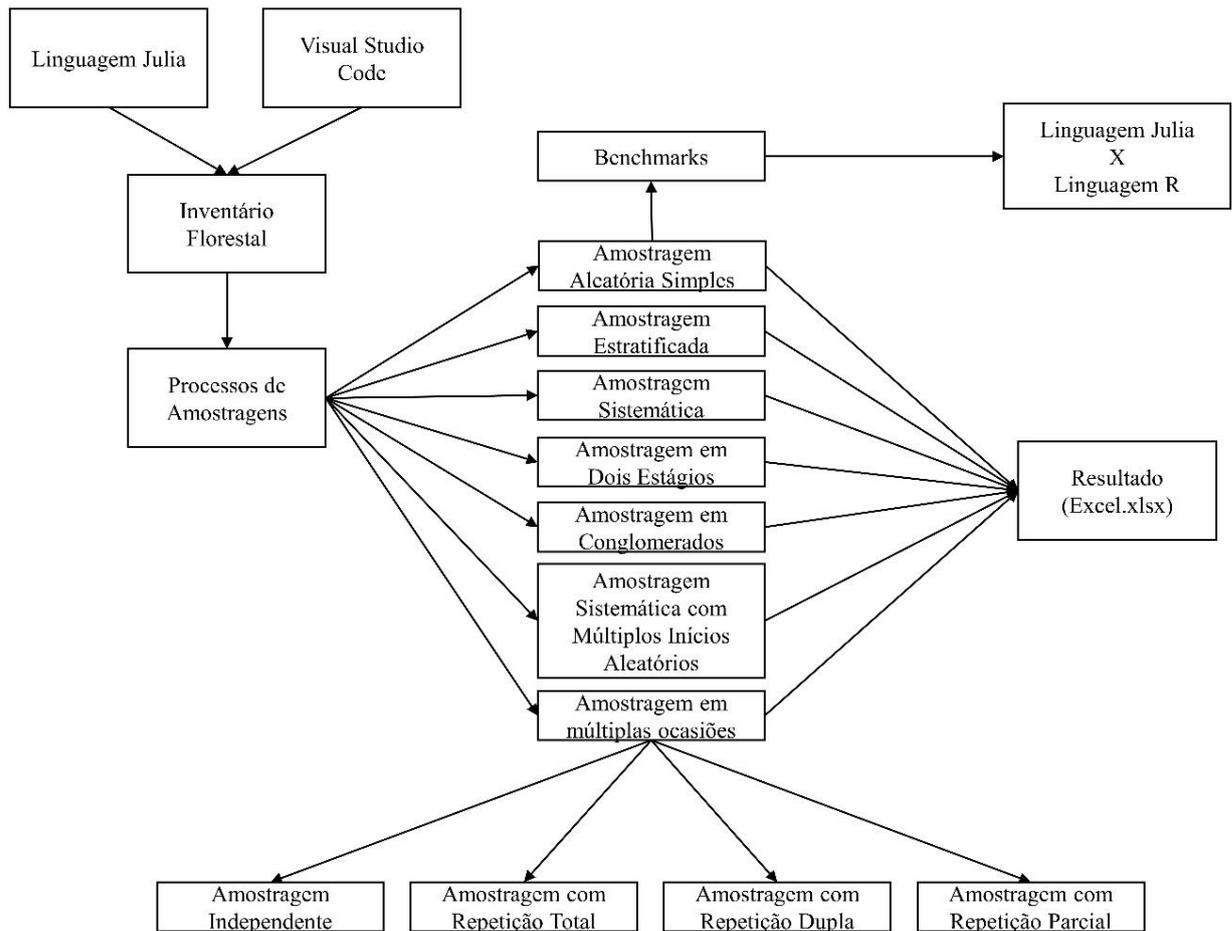
### 1.1.2 Objetivos específicos

- i. Programar os processos de amostragem descritos no livro de Inventário Florestal de Péllico Neto e Brena (1997) em linguagem Julia;
- ii. Aplicar a programação desenvolvida no processamento de dados do inventário florestal.
- iii. Realizar teste por Benchmark no processo de amostragem aleatória simples;
- iv. Disponibilizar as funções desenvolvidas em uma plataforma de livre acesso;
- v. Mostrar a importância do trabalho e o que é necessário ainda ser feito.

## 1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está organizado em diferentes etapas como demonstrado no fluxograma da Figura 1. Primeiramente será abordado a instalação e uso da linguagem Julia juntamente com a interface Visual Studio Code. Usando esses dois *softwares* será realizado a programação na área do inventário florestal voltado aos processos de amostragens descritos no livro de Inventário Florestal de Péllico Netto e Brena (1997) equivalente a segunda etapa do trabalho. Cada processo de amostragem foi criado uma função individual que ao executar terá seu resultado com saída no formato de Excel.xlsx. Na terceira e última etapa do trabalho foi realizado a avaliação por *Benchmarks* da função do processo de amostragem aleatória simples para as linguagens Julia e R.

Figura 1 – Fluxograma da apresentação do trabalho.



Fonte: Autor.

As etapas estão divididas em três secções. A secção um item 3. Material e métodos estão subdivididos nos itens: 3.1. Objeto de trabalho, 3.2. Download e instalação da ferramenta para desenvolvimento, 3.3. Uso das funções no ambiente de programação, 3.4. Desenvolvimento das funções e 3.5. Teste por *Benchmark*. Na secção dois, item 4. Resultados e Discussões estão subdivididos nos itens: 4.1. Processamentos de dados e 4.2. Teste por *Benchmark*.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO JULIA

#### 2.1.1 História

Julia é uma linguagem de programação desenvolvida no ano de 2009 com a finalidade de ser moderna, expressiva e de alto desempenho para computação científica. Foi lançada oficialmente somente em 2012 por uma equipe de quatro estudantes (Jeff Bezanson, Stefan Arpinski, Viral B. Shah e Alan Edelman) do Massachusetts Institute of Technology (MIT). No entanto, somente teve sua primeira versão v1.0 ou versão estável no ano de 2018 (XIAO et al., 2021). Atualmente a versão estável dela é a v1.8.5 (janeiro de 2023). Embora o número de versões seja baixo e a mesma sendo nova em comparação a outras linguagens existentes, Julia está se desenvolvendo rapidamente e, é estável o que a torna suficiente para permitir a criação e uso de códigos de pesquisa (GAO et al., 2020).

O motivo pelo desenvolvimento de Julia veio do anseio de Bezanson et al. (2012b) e seus colaboradores em ter uma linguagem de código aberto, com velocidade de C com a ação de Ruby. Eles queriam uma linguagem que criasse o código e processava nela mesma. Também queriam uma linguagem tão usual para programação como Python e tão fácil como estatística em R. Também queriam uma linguagem que fosse simples de aprender, mas que satisfizesse os programadores mais antigos. Por fim, que fosse interativo e compilado.

Julia mesmo sendo desenvolvida por quatro estudantes do MIT, ela consiste em uma comunidade de pessoas que nela trabalham. Em 2019 o número de pessoas que tinham acesso ao JuliaLang da organização GitHub era de 67, sendo 36 ativos e 31 inativos. Esse número segundo Karpinski (2019), não define o real número de pessoas envolvidas no desenvolvimento da linguagem, pois tem muitas pessoas que contribuem no ambiente de Julia que não têm “compromisso”. Isso, se deve pela linguagem ser de natureza de código aberto, dificultando encontrar o término do projeto Julia, o que torna a comunidade ainda maior.

Atualmente Julia conta com mais de 34,8 milhões de download, mais de 7 mil pacotes registrados, incluindo várias bibliotecas voltadas a matemática, manipulação de dados e computação de uso geral. Além disso, tem a possibilidade de usar bibliotecas de outras linguagens (JULIA, 2022).

### 2.1.2 Por que Julia?

A Linguagem Julia já existe há alguns anos e, ao longo desse período, está atraindo cada vez mais novos usuários. Julia utiliza conceitos de linguagens de programação que são bem estabelecidas para possibilitar a criação de códigos de alto desempenho e fácil uso. No entanto, ainda se tem a dúvida de por que se começou a utilizar mais uma ferramenta com tantas outras linguagens de programações existentes. Desta forma, surgem perguntas como, não seria mais fácil otimizar linguagens de programações já utilizadas e que apresentam grande número de bibliotecas estabelecidas, em vez de criar novas bibliotecas em uma nova linguagem de programação como Julia?

Pode-se dizer que não, a maioria das linguagens existentes no mercado foram desenvolvidas anteriormente de compiladores Just-In-Time (JIT) que é um código específico do hardware o qual é executado automaticamente. Essa tecnologia permite extrair o máximo de processamento sem fazer a necessidade de realizar a programação diretamente (ERMANTRAUT et al., 2020). Julia por sua vez, foi projetada desde o início para funcionar com compiladores JIT, além de seus recursos e implementações serem cuidadosamente consideradas com o intuito de fornecer ao usuário uma eficiência que é esperada em linguagens de programação modernas, produzindo o código compilado compatível com Julia altamente otimizado (LOBIANCO, 2019).

Com sua sintaxe e estilo semelhante as linguagens como R e Python e ter desempenhos semelhantes a C++ e Fortran, Julia vem com o propósito dos códigos serem totalmente feitos na mesma linguagem, ou seja, as bibliotecas padrões e base de código em Julia são escritas em Julia (LAUWENS; DOWNEY, 2019). Além disso, Julia traz avanços importantes no design de linguagens de programação, apresentando um excelente suporte de paralelismo de programação funcional na prática que não são observados em outras linguagens desenvolvidas em períodos anteriores a Julia.

Os argumentos relacionados com a velocidade e o tempo de execução em Julia tem como destaque permitir que o programador escreva códigos de alto nível que se assemelham com as fórmulas matemáticas, mas é capaz de produzir códigos de máquina rápido que normalmente é gerado em linguagens estáticas (BEZANSON et al., 2017). Nesse contexto, segundo Nazarathy e Klok (2021), se concentra em aprender a usar a linguagem Julia juntamente com a aprendizagem de estatística, ciência de dados e inteligência artificial.

### 2.1.3 Aplicação

A linguagem de programação Julia pode ser aplicada para vários ecossistemas. De acordo com seu site oficial (<https://julialang.org/>), as principais aplicações dentre as existentes são:

- i. **Visualização e plotagem de dados:** o *software* de plotagem faz trocas entre recursos de simplicidade, velocidade e beleza com uma interface estática e dinâmica.
- ii. **Criação, implante ou incorporação de código:** a linguagem Julia torna possível construir aplicativos completos, extração de dados em diferentes bancos de dados, criação de bibliotecas compartilhadas e executáveis.
- iii. **Interação com dados:** o ecossistema de Julia fornece uma ampla opção de bibliotecas para trabalhar e manipular dados podendo ler e criar arquivos em CSV, XLSX e TXT entre outros. Além disso, apresenta pacotes que facilitam o trabalho com dados combinatórios.
- iv. **Aprendizado de máquina:** em Julia o aprendizado de máquina é facilitado com a existência de pacotes que fornecem interface unificada para algoritmos, entre outros pacotes eficientes para Deep Learning (ramos de aprendizado de máquina).
- v. **Computação científica:** a linguagem desde seu início foi projetada para ser boa para a computação científica bem como numérica. O usuário pode perceber pela abundância de ferramentas científicas escritas em Julia nessa área.
- vi. **Computação paralela e heterogênea:** fornece primitivas integradas para computação paralela em níveis do paralelismo de nível de instrução, computação distribuída e computação de unidade de processamento gráfico (GPU). Também fornece gerador de código nativo para GPUs.

### 2.1.4 Guia de estilo em Julia

O aprendizado de qualquer linguagem de programação depende do conhecimento básico de sua sintaxe. Para a maior parte dos programas desenvolvidos deve-se saber alguns comandos como algumas estruturas. Já o uso mais avançado da linguagem se baseia na sintaxe básica para aproveitar o que já tem existente. Julia por sua vez apresenta a disposição dos usuários um guia

de estilo (<https://docs.julialang.org/en/v1/manual/style-guide/>) para variáveis, funções e pacotes. Os principais que se tem o uso mais frequente estão demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Sintaxe de operações básicas que podem ser utilizadas na linguagem de programação Julia.

| Operação   | Em Julia   |
|--|--|
| Aritmética Básica                                    | $+$ , $-$ , $*$ , $/$                                  |
| Exponencial  | $2^3 == 8$   |
| Divisão  | $3/12 == 0.25$   |
| Divisão Inversa                                      | $7\backslash 3 == 3/7$                                 |
| Resto da Divisão                                     | $x \% y$ ou $\text{rem}(x,y)$                          |
| Menor e Maior  | $< e >$  |
| Menor ou igual                                       | $<=$ ou $\leq$   |
| Maior ou igual                                       | $>=$ ou $\geq$   |
| Operações elemento a elemento                        | $[1, 2, 3] .+ [1, 2, 3] == [2, 4, 6]$                  |
|  | $[1, 2, 3] .* [1, 2, 3] == [1, 4, 9]$                  |
| Define uma variável X com valor de 5                 | $x = 5$  |
| Linha da matriz atribuída a y                        | $y = [9\ 3\ 8\ 2\ 5\ 6\ 7\ 1]$                         |
| Atribuindo uma matriz 4 x 4 a B                      | $B = [9\ 3\ 8\ 2; 5\ 5\ 6\ 7; 1\ 4\ 1\ 2; 7\ 5\ 3\ 6]$ |
| Calcule o cosseno de $(2\pi / 6)$                    | $\text{cos}(2\pi/6)$                                   |
| $e^{18}$   | $\text{exp}(18)$                                       |
| Gráfico de pontos de x e y por meio do pacote PyPlot | <code>using Pyplot; plot(x,y)</code>                   |

Fonte: JULIA, (2022) adaptado pelo autor.

A linguagem Julia também permite que possamos definir, construir e manipular facilmente variáveis como vetores e possibilita a geração de gráficos versáteis e sofisticados. No entanto, como existe em outras linguagens de programação como Python e R, Julia também integra um sistema flexível para gerenciamentos de pacotes (Pkg) para realização dessas tarefas por meio de instruções intuitivas. Na Tabela 2 algumas dessas instruções e suas funções são apresentadas.

Tabela 2 – Sistema de gerenciamento de pacotes na linguagem de programação Julia.

| Instrução  | Resultado  |
|--|--|
| Usando Pkg em uma sessão Julia   |  |
| Listar pacotes instalados  | <code>Pkg.status()</code>  |
| Atualizar todos os pacotes   | <code>Pkg.update()</code>  |
| Instalar   | <code>Pkg.add("NomedoPacote")</code>                                     |
| Reconstruir  | <code>Pkg.build("NomedoPacote")</code>                                   |
| Usar (depois de instalação)  | <code>using NomedoPacote</code>  |
| Remover  | <code>Pkg.rm("NomedoPacote")</code>                                      |
| No modo de gerenciamento de pacotes interativo                         |  |
| Instalar   | <code>add NomedoPacote</code>  |
| Remover  | <code>rm NomedoPacote</code>   |
| Atualizar  | <code>update NomedoPacote</code>   |
| Usar uma versão de desenvolvimento                                     | <code>dev NomedoPacote</code> or<br><code>dev URLdoRepositórioGit</code> |
| Parar de usar versão de desenvolvimento e reverter para versão pública | <code>free NomedoPacote</code>   |

Fonte: JULIA, (2022) adaptado pelo autor.

Os pacotes devem ser registrados antes de serem visíveis ao Pkg. Atualmente se utiliza duas formas de gerenciador de pacotes com “using Pkg” e usando as funções Pkg, ou digitando “]” no RELP, para entrar no modo gerenciador de pacotes interativo. Para voltar o RELP normal basta pressionar BACKSPACE em uma linha vazia no modo interativo, primeiro e depois se tornam disponíveis em sessões Julia normais por meio do modulo Pkg.

## 2.2 ALGUNS ASPECTOS DA EVOLUÇÃO COMPUTACIONAL NA CIÊNCIA FLORESTAL

O desenvolvimento de ferramentas computacionais usadas em diversos países facilitou o processamento e interpretação de dados e expandiu a diversidade de métodos e *softwares* disponíveis (BUSANELLO et al., 2018). Na área da ciência florestal isso não foi diferente, segundo Loetch et al. (1973) quando surgiu a computação na ciência florestal a mesma foi denominada como uma revolução da silvicultura. Com as poderosas técnicas de análises de dados no trabalho de pesquisas florestais, foram se tornando populares e tornando praticáveis

pela preparação de programas e máquinas padronizados para trabalhar com a quantidade de dados e cálculos. Essa revolução ainda segundo o autor foi responsável pela ampla aplicação nos inventários florestais contínuos, especialmente por grandes empresas detentoras de mais recursos.

Atualmente acadêmicos, pesquisadores e profissionais da ciência florestal contam com uma gama de *softwares* disponíveis. A disponibilidade de vários *softwares* pode vir deixar o usuário em dúvida em qual utilizar, já que existem nos diferentes tipos, seja eles de livre acesso e código aberto ou os que precisam ser adquiridas licenças para uso e, ainda assim, não disponibilizam de todos os métodos para o processamento de dados. No entanto, no início da informatização somente se tinha a existência da linguagem Fortran que foi criada em 1957 e seu custo para uso e a aquisição de computadores eram muito elevados. Assim, os dados das pesquisas foram muitas vezes feitos de forma manual o que gerava um grande trabalho no processamento de dados. O fator custo era uma das barreiras da não utilização de computadores ou linguagens de programações, outro fator era a falta de conhecimento em informática.

Com o passar dos anos começou a surgir outras linguagens e *softwares* como C, C++, Python, SPSS, SOC, SAEG, MATLAB, SAS e Excel entre outras. Porém, o profissional formado em engenharia florestal não era familiarizado com a área de programação o que dificultava o uso das ferramentas disponíveis na época, mesmo assim alguns ainda são bastantes utilizados hoje como:

- i. **SPSS:** *software* criado em 1968, com o objetivo de informatizar o processo de transformar dados em informações. Ele é amplamente utilizado para análises estatísticas descritivas, bivariadas, regressão, análise fatorial e representação gráfica de dados.
- ii. **SAS:** a linguagem de programação SAS foi desenvolvida no início de 1970 como intuito de auxiliar na análise de dados de pesquisas voltada a ciências agrárias. Ele tem capacidade de ler planilhas e banco de dados e gerar resultados de análises estatísticas em tabela, gráficos ou em documentos. Se tornou muito popular no meio científico das ciências agrárias.
- iii. **MATLAB:** criado em 1984 e escrito em linguagem C. O MATLAB é um *software* destinado para cálculos numéricos e otimizado para uso de vetores e matrizes, análise e exploração de dados. Apresenta bons recursos de plotagem, para simulação de sistemas diferenciais. Tem à disposição um ambiente de trabalho que permite a visualização das variáveis, além de ler e gravá-las em discos.

- iv. **Excel:** criado em 1982, e inicialmente conhecido como MS-DOS. O sistema se tornou muito popular no mercado e continua até os dias atuais. O Excel possibilita adicionar banco de dados por meio de uma planilha e com a mesmas funções pode consultar, ordenar, filtrar, calcular e ilustrar graficamente o mesmo banco de dados.

Como mencionado anteriormente os *softwares* ainda utilizados por engenheiros florestais, apresentam ser em sua grande maioria de código fechado. No entanto, recentemente, o uso da linguagem R, desenvolvida em 1993 tem ganhado espaço e destaque na ciência florestal por ter livre acesso e código aberto, apresenta um vasto número de pacotes voltados para análise de dados e gráfica. Além disso, possui muitos materiais disponíveis, voltados para aprendizagem e uso da linguagem. Sendo assim, várias instituições já aderiram o seu uso.

A linguagem R mesmo oferecendo uma vastidão de recursos atraentes, no entanto, apresenta problemas quanto o armazenamento, velocidade e eficiência que são um dos maiores desafios enfrentados pela linguagem (Hussein, 2020). Por outro lado, a linguagem Julia como relatado, apresenta estilo dinâmico, combinado com a alta tipagem e eficiência para o processamento de dados.

### 2.3 JULIA NA CIÊNCIA FLORESTAL

Os *softwares* utilizados para processamento de dados de dados na ciência florestal tradicionalmente são o Excel, SPSS, MATLAB, SAS, SOC, SAEG e Statística e nos últimos anos a linguagem R está ganhando espaço, pois dos citados é a única que é de livre acesso e de código aberto e com uma variedade de pacotes para realizar diferentes tarefas relacionados ao processamento de dados. Outra linguagem bastante utilizada é o Python, principalmente na área de georreferenciamento e geoestatística.

Mesmo existindo outras linguagens para uso na ciência florestal que profissionais já estão familiarizados para realização de suas pesquisas e suas tarefas, se torna necessário a busca de outras linguagens que podem abordar um novo ponto de vista no uso facilitando cada vez mais sua utilização. Assim, a linguagem de programação Julia vem com uma proposta de ser dinâmica, eficiente visando atender as necessidades ainda existentes na ciência florestal.

Ao redor do mundo Julia é utilizada por empresas como Google, Apple, Amazon, IBM, Ford, Nasa, AstraZenica, Pfizer entre outras. Essas empresas utilizam Julia a partir da plataforma JuliaHub criada em 2015 pelos mesmos criadores da linguagem (JULIAHUB 2023). Na maioria dessas empresas citadas a linguagem é utilizada para analisar imagens do universo e pesquisar matéria escura, conduzir computação paralela em supercomputadores, diagnosticar

condições médicas, analisar genomas de câncer, gerenciar impressoras 3D, pilotar carros de corrida autônomos, construir drones, melhorar a segurança aérea, gerenciar a rede elétrica, fornecer análises para comércio de câmbio, comércio de energia, seguros, conformidade regulatória, modelagem macroeconômica, análise esportiva, manufatura (JULIAHUB, 2017).

No Brasil a linguagem é mais utilizada por professores e pesquisadores de institutos e universidades como a Universidade Federal do Paraná, Universidade Federal do Goiás, Universidade Federal de Viçosa, Universidade de São Paulo, Universidade Estadual de Campinas, Universidade Federal de Santa Maria e pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, que utilizou a linguagem Julia para desenvolvimento e manutenção do satélite Amazônia 1.

Na ciência florestal a linguagem Julia ainda é pouca conhecida, porém alguns pesquisadores já estão usando-a. Pode-se destacar os trabalhos de MATOSAK (2019), processamentos de imagens orbitais; Martins (2020) utilizando métodos de aprendizagem de máquina e modelagem de biomassa florestal usando a linguagem Julia; Martins et al. (2021) na modelagem hipsométrica de povoamentos de acácia-negra e o pacote `ForestBiometrics.jl` desenvolvido por Ghilardi (2020), que apresenta algumas funções de mensuração e biometria florestal. Portanto, esse trabalho irá contribuir na inserção de novas tarefas na ciência florestal em uma promissora linguagem como é Julia.

#### 2.4 PROCESSOS DE AMOSTRAGEM EM INVENTÁRIO FLORESTAL

Para obter conhecimento de uma população ou comunidade florestal se faz necessário fazer uma série de medições das árvores que compõem essa comunidade. A precisão desses dados podem ser atributos a variáveis coletadas dependendo do objetivo da floresta, tipologia, dimensões, facilidade de acesso à área florestal que é objeto do inventário florestal (FLORIANO, 2021). Quanto mais crítico o objetivo da floresta, maior a precisão requerida na coleta de dados.

Para grandes áreas florestais é impraticável realizar a medida de todas as árvores para determinar as características da comunidade florestal, no caso do trabalho a variável volume. Desta forma, a maioria dos inventários florestais é realizada por amostragens, que tem o propósito de medir somente alguns indivíduos da população que forma uma amostra (WANDRESEN, 2014). Segundo Péllico Netto e Brena (1997), elas podem ser classificadas em técnicas de amostragem segundo sua periodicidade, estrutura e a abordagem populacional. Os mesmos podem ser abordados em amostragens em uma única ocasião (aleatório, sistemático

ou misto) e múltiplas ocasiões (amostragens independentes, com repetição total, dupla e com repetição parcial).

#### **2.4.1 Amostragem aleatória simples**

Amostragem aleatória simples é amplamente utilizada nos inventários florestais bem como é base para todos os outros métodos de amostragens para obter menos custos ou precisão (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997, KÖHL et al., 2006, KERSHAW et al., 2016). É considerada o método de probabilística básico onde, na seleção de amostra composta de “n” unidades amostrais, todas as possíveis combinações das “n” unidades teriam a mesma chance de ser selecionadas (SOARES et al., 2006). Neste processo, a área florestal a ser inventariada é tida como uma única população (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

De acordo com Husch et al. (1982) e Kershaw et al. (2016) a amostragem aleatória simples ou irrestrita como mencionada pelos autores, no inventário florestal estima uma média imparcial da população e informações necessárias para estimar o erro da amostragem. No entanto, apresenta desvantagens como a dificuldade de localizar as parcelas a campo, uma vez que as unidades de amostragens selecionadas tendem a ficar muito dispersas, tempo improdutivo gasto de deslocamento entre unidades e a possibilidade de uma distribuição irregular das unidades podendo resultar em dados atípicos.

A seleção das unidades da amostragem aleatória simples pode ser feita com ou sem reposição. A amostragem com reposição significa que cada unidade selecionada tem a possibilidade de ser escolhida mais de uma vez podendo tornar a população infinita (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997, KANGAS; MALTAMO, 2006). Segundo Kangas e Maltamo, (2006), esse processo não é muito importante na prática, mas é de grande importância na teoria, visto que muitas das equações do processo são de simples execução. Já para amostragem sem reposição o mesmo autor cita que a unidade somente pode ser selecionada apenas uma vez, tornando essa inclusão da probabilidade de seleção o cálculo difícil.

A aplicação da amostragem aleatória simples segundo Péllico Netto e Brena, (1997), é recomendada somente para inventários que apresentam apenas áreas que vai proporcionar maior proximidade entre as unidades, diminuindo o tempo de deslocamento e grande homogeneidade da variável de interesse dentro da população. Isso possibilita menor intensidade de amostragem que áreas heterogêneas e que seja de fácil acesso reduzindo o custo de deslocamento, conseqüentemente tornando a amostragem mais eficiente. Geralmente esse método é estabelecido em florestas plantadas.

### **2.4.2 Amostragem estratificada**

Na amostragem estratificada a área de realização do inventário é dividida horizontalmente em razão da idade, sítio, espécie ou fisionomia de cada subdivisão, denominada de estrato horizontal da vegetação (FLORIANO, 2021). Isso, torna uma população heterogênea em subpopulações homogêneas. Trazendo como objetivo da estratificação, reduzir a variação dentro das subdivisões e aumentar a precisão das estimativas populacionais (KERSHAW et al., 2016).

Além de aumentar a precisão e reduzir a variação das estimativas populacionais outras razões para escolher a amostragem estratificada são as estimativas para cada subpopulação. A precisão desejada não é a mesma para todas as subpopulações, o custo e variáveis de interesse não são os mesmos para todas as subpopulações e diferentes métodos de amostragem podem ser aplicados a diferentes subpopulações (KÖHL et al., 2006). No entanto, a estratificação apresenta como desvantagens o tamanho de cada subpopulação deve ser conhecido ou pelo menos uma estimativa razoável deve estar disponível e as unidades de amostragem devem ser tomadas em cada subpopulação se uma estimativa para a subpopulação for necessária obter (KERSHAW et al., 2016).

A estratificação quando é realizada corretamente de acordo com Cochran, (1953), quase sempre resulta em menor variância para valores médios e totais estimados quando obtidos pela amostragem aleatória simples, usando a mesma intensidade de amostragem. Por outro lado, não deve levar em consideração que qualquer amostragem estratificada resulta em valores de variância menores que a aleatória simples.

Em florestas nativas, que a população é constituinte de diferentes espécies, idades, distribuídas nas mais diversas condições de locais a estratificação se torna mais complexa, tendo em vista que, além das características já citadas, outras a exemplo da área basal, volume e número de árvores por hectares devem ser consideradas nesse conjunto (SOARES et al. 2006).

### **2.4.3 Amostragem sistemática**

Amostragem sistemática é um processo probabilístico e não aleatório, pois a probabilidade se instaura por meio da aleatorização da primeira unidade amostral (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997). Pode ser considerado um processo sistematizado, onde as unidades

amostrais são selecionadas a partir de um esquema rígido e preestabelecido de sistematização que é capaz de cobrir toda a área a ser inventariada obtendo um modelo simples e homogênea (LOETSCH et al., 1973). Além disso, pode ser realizada de parcelas de área fixa, em faixas, variável ou em linhas, podendo ser classificada em dois estágios ou único (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

Na amostragem sistemática, a população é frequentemente subdividida em grandes números de unidades e “n” unidades somente são selecionadas das existentes. A primeira unidade é realizada de forma aleatória e, em seguida partir da posição inicial aleatória ocorre a seleção das unidades de forma sistemática (KÖHL et al., 2006), de forma que todas ficam na mesma posição relativo ao bloco (COCHRAN, 1953). Para populações pequenas, segundo Laar e Akça (2007), a amostragem sistemática tende ser mais representativa do que amostragens aleatórias, pois irá implicar na subdivisão da população em blocos, levando em consideração que cada bloco é representado por uma única unidade amostral.

Como a amostragem sistemática é espaçada em intervalos fixos em toda a população ela é amplamente usada. De acordo com Kershaw et al. (2016), ela apresenta vantagens como fornecimento de estimativas confiáveis, é uma amostragem mais rápida e barata de usar quando comparada com amostragens aleatórias, o deslocamento entre unidades de amostragem é mais fácil, uma vez que são direcionais fixos, tornando o tempo de deslocamento menor do que localizar unidades selecionadas de forma aleatória e o tamanho da população não precisa ser conhecido, uma vez que as unidades são selecionadas em um intervalo fixo após a primeira unidade ter sido selecionado.

No entanto, Péllico Netto e Brena (1997) e Soares et al. (2006) apresentam como desvantagem da amostragem sistemática o problema estatístico. A desvantagem seria a impossibilidade de se deduzir um estimador para a variância da média, por meio de apenas uma única amostra, visto que a escolha de unidades amostrais não é um processo independente. Dificilmente os indivíduos são arranjados completamente independentes e podem vir apresentar variações sistemáticas que vai depender do ambiente. Desta forma, a variação não pode ser totalmente atribuída ao acaso, se o intervalo entre as unidades coincidir com o padrão de variação da mesma população.

#### **2.4.4 Amostragem em dois estágios**

A amostragem em dois estágios é o processo mais simples de amostragem em múltiplos estágios, onde a amostra é obtida por meio de diferentes etapas na avaliação da população

(PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997). Nesta amostragem, unidades primárias são retiradas de uma população. Cada unidade primária é subdividida em unidades secundárias essas por sua vez podem ser subdivididas novamente em unidades de terceiro estágio e assim sucessivamente. As unidades secundárias são sorteadas aleatoriamente dentro das unidades primárias e consecutivamente para os demais estágios (LAAR; AKÇA, 2007).

Além disso, Soares et al. (2006) ressaltam que a amostragem em dois estágios pode ser usada como alternativa que deve ser seguida somente para fornecer boas estimativas em inventários com áreas extensas ou que sejam de difícil acesso, não podendo realizar o inventário florestal com uma intensidade amostral apropriada e que atende a precisão requerida, assim pode ser somente utilizada na substituição de amostragens de baixas intensidades amostrais.

Outros pesquisadores como Cochran, (1953) e Husch et al. (1982) trazem como vantagem da amostragem em dois estágios a redução de custo, principalmente pela concentração das unidades amostrais dentro das unidades primárias e tem uma maior flexibilidade na comparação a estágios únicos, onde se transforma quando todas as unidades secundárias são amostradas e ajudam a diminuir o erro não amostral.

#### **2.4.5 Amostragem em conglomerados**

Amostragem em conglomerado é a variação de amostragem, sendo o segundo estágio sistematizado e planejado dentro do primeiro estágio. O mesmo pode ser classificado como amostragem mista quanto a sua estrutura na população (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997). Desta forma, ela pode ser usada quando a população for dividida em grupos. Normalmente esses grupos são parcelas de amostragem localizadas próximas umas das outras (KANGAS; MALTAMO, 2006). Esses podem ter várias formas: quadrados, retângulos ou outras formas mais complexas (KÖHL et al., 2006).

A amostragem por conglomerados normalmente não é tão eficiente quanto outros métodos de seleção, dado o tamanho fixo do número de amostra. De acordo com Kangas e Maltamo, (2006), isso ocorre porque as unidades amostrais do povoamento podem ser correlacionadas, pois a análise realizada de uma nova unidade é menor do que seria se unidades fossem independentes. Além de ser um processo que pode proporcionar a vantagem considerável em precisão e custos quando comparada a amostragem aleatória simples, quando a área inventariada for extensa e a variável de interesse apresentar homogeneidade.

#### **2.4.6 Amostragem sistemática com múltiplos inícios aleatórios**

A amostragem sistemática com múltiplos inícios aleatórios segundo Péllico Netto e Brena, (1997) foi retratada pela primeira vez por SHIUE (1960), que declara que todas as faixas ou linhas das unidades devem ser selecionadas de forma aleatória, o que caracteriza a denominação de múltiplos inícios aleatórios.

De acordo com Floriano, (2021), nesse processo de amostragem a posição da faixa ou linha é sorteada de formas independentes, fazendo que a estrutura seja uma amostragem em conglomerados, o que fornece estimativas precisas da variância e sem tendência a média da população. Porém Péllico Netto e Brena (1997), afirmam que nem um método conhecido pode obter a estimativa exata da variância de uma amostragem sistemática com um único início aleatório.

#### **2.4.7 Amostragem em múltiplos inícios**

O procedimento de amostragem em múltiplas ocasiões visa realizar o acompanhamento e evolução da população florestal por meio do tempo. Desta forma, se faz necessário a realização de sucessivas abordagens na área em intervalos de tempo previamente definidos (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997). Segundo Laar e Akça, (2007), a amostragem em múltiplas ocasiões somente é eficiente se as variáveis auxiliares e a variável dependente estiverem estreitamente correlacionadas.

A amostragem em múltiplas ocasiões ou sucessivas, tem três principais objetivos segundo Hush et al. (1982) estimar a quantidade e características da floresta presente no primeiro e segundo inventário e estimar as mudanças ocorridas na floresta entre os dois inventários.

Segundo Péllico Netto e Brena, (1997), amostragens em múltiplas ocasiões podem ser conduzidas em uma população em quatro processos (independente, repetição total, repetição dupla e repetição parcial). Esses diferentes processos de inventário segundo o mesmo autor envolvem três diferentes unidades amostrais distintos sendo as unidades permanentes (m) medidas em todas as ocasiões, unidades temporárias (u) medidas somente na primeira ocasião e novas temporárias (n) medidas somente na segunda ocasião.

##### **2.4.7.1 Amostragem independente**

Os processos de amostragem independente, nas duas ocasiões, são realizadas independente uma da outra, ou seja, na primeira ocasião a amostra necessária para estimar as variáveis da população, com precisão desejada e uma probabilidade de confiança fixada é constituída de unidades do grupo ( $u$ ). Já na segunda ocasião toma-se uma nova amostra de população, totalmente independente da primeira, constituída de unidades do grupo ( $n$ ) (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

#### 2.4.7.2 Amostragem com repetição total

Neste processo, as unidades amostrais da primeira ocasião são remeidas na segunda ocasião e em todas as ocasiões sucessivamente. Desta forma, todas as unidades amostrais são permanentes e pertencem ao grupo ( $m$ ), que são remeidas nas demais ocasiões. Esse processo é conhecido como inventário florestal contínuo (IFC) (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997). Ele é ideal para análise de crescimento, porém, nem sempre é utilizado devido apresentar alto custo (FLORIANO, 2021).

#### 2.4.7.3 Amostragem com repetição dupla

Esse processo de amostragem foi empregado com os métodos de blocos e transectos que constitui uma medição total de elementos amostrais na primeira ocasião e a remedição de parte destes elementos na segunda ocasião (GIOTTO, 1986).

O procedimento geral da amostragem dupla segundo Kershaw et al. (2016), é que, na primeira ocasião uma grande amostra aleatória é obtida da covariável  $X$  que produzirá uma estimativa precisa de sua média populacional ou total. Na segunda ocasião uma subamostra aleatória é selecionada da amostra anterior, e nessas unidades de amostragem as medições são feitas da variável principal  $Y$ .

É um processo considerado importante, para as situações em que a obtenção da variável principal do estudo gera alto custo ou muito trabalho, ao passo que uma variável auxiliar, correlacionada com a principal, pode ser obtida com mais facilidade (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997). Assim, pode ser mais viável economicamente tomar uma amostra grande da variável auxiliar, obtendo-se estimativas precisas do total da população ou da média da variável auxiliar.

#### 2.4.7.4 Amostragem com repetição parcial

Segundo Péllico Netto e Brena, (1997), o processo de amostragem em repetição parcial foi o último processo cronologicamente de amostragem a ser desenvolvido. O mesmo, tende a compreender a soma de todos os outros métodos de amostragens mencionados anteriormente. Ele especificadamente se baseia nas quatro subamostras, onde na primeira ocasião se tem uma unidade permanente e outra temporária, já na segunda ocasião se tem uma nova unidade temporária.

Esse processo de amostragem baseia-se no princípio da amostragem repetida com substituição parcial de unidades amostrais. Na amostragem com repetição parcial, a cada remedição do inventário, parte do número de unidades medidas no inventário anterior é remediada no novo inventário e novas unidades são adicionadas na população para completar a intensidade de amostragem requerida (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

Entre as vantagens da amostragem com repetição parcial é a maior precisão das estimativas atuais da variável alvo e a flexibilidade no desenho amostral. Ela é geralmente tão eficiente quanto a amostragem baseada em parcelas fixas de amostras remensuradas (LAAR; AKÇA, 2007). No entanto, tem com desvantagem, estimadores que são facilmente complexos e os cálculos são sensíveis a erros (KANGAS; MALTAMO, 2006).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 OBJETO DE TRABALHO

Este trabalho apresenta funções de processos de amostragem existentes no inventário florestal, sendo baseado no livro de Inventário Florestal de (Péllico Netto e Brena, 1997). Cada processo de amostragem foi criado de forma individual sendo elas a amostragem aleatória simples, amostragem estratificada, amostragem sistemática, amostragem em dois estágios, amostragem em conglomerados, amostragem sistemática com múltiplos inícios aleatórios e amostragem em múltiplas ocasiões como a amostragem independente, amostragem com repetição total, amostragem dupla e amostragem com repetição parcial.

Para escrever as funções dos processos de amostragem foi utilizado a linguagem de programação Julia que foi usada juntamente com a interface de editor código-fonte Visual Studio Code (VSCode).

As funções depois de prontas juntamente com os dados, testes e licença, foram depositadas no repositório do GitHub, ferramenta utilizada como hospedeiro de código-fonte e arquivos com controle de versão usando o GitHub. Elas estão no formato público, possibilitando que qualquer pessoa veja, utilize e contribua com o trabalho.

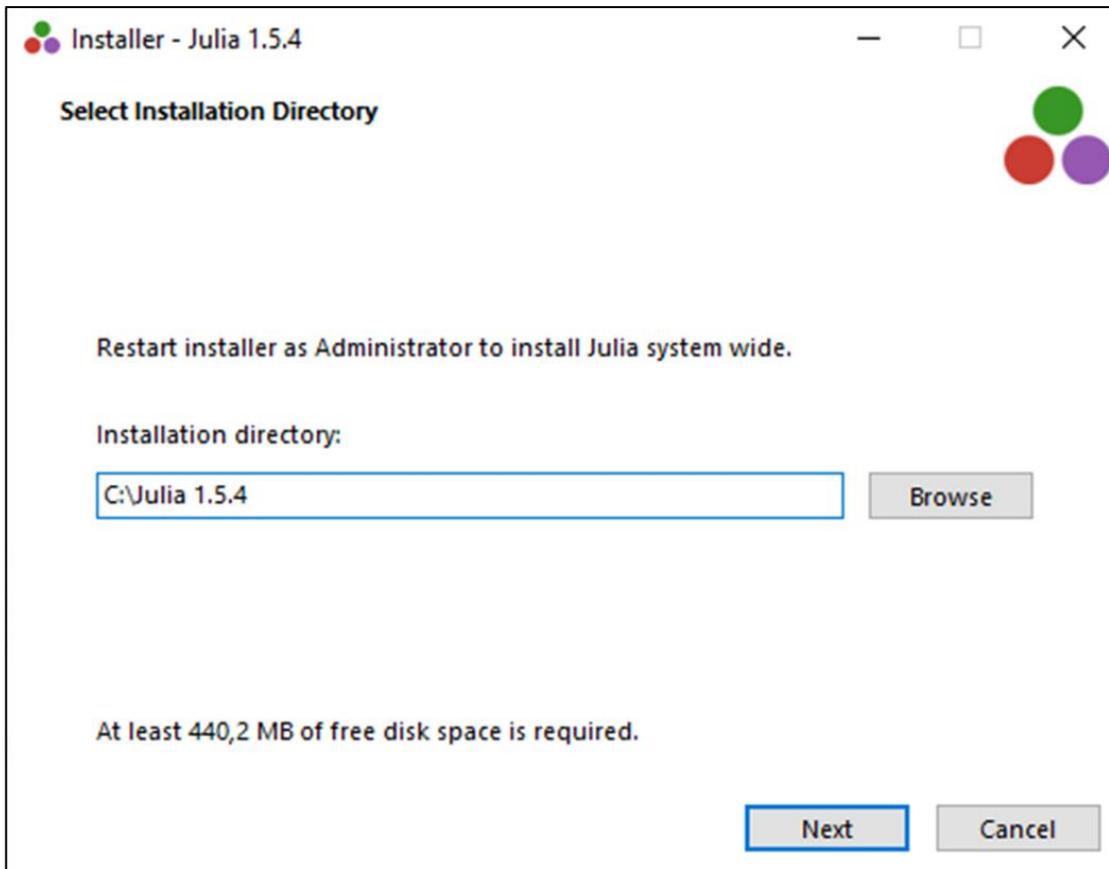
#### 3.2 DOWNLOAD E INSTALAÇÃO DE FERRAMENTA PARA DESENVOLVIMENTO

##### 3.2.1 Download e instalação da linguagem Julia

Julia pode ser instalada em diferentes ambientes (Linux, MacOS e Windows). Para o trabalho foi usado o sistema Windows 10 Pró. Como já mencionado, Julia é uma linguagem de código-fonte aberta e está disponível para downloads em <http://julialang.org/downloads/> e, assim é possível obter o arquivo de acordo com o formato do sistema (32 bits / 64 bits). Esse formato pode ser encontrado nas configurações de propriedades do computador. No trabalho foi usado a versão estável de Julia v.1.5.4.

Após ter completado o download o usuário deve executar o compilador. Quando for perguntado sobre o local para instalação do compilador, seleciona-se o diretório de preferência, como demonstrado na Figura 2 a partir disso, vai seguindo as instruções do instalador (basicamente, ir clicando em “Next”).

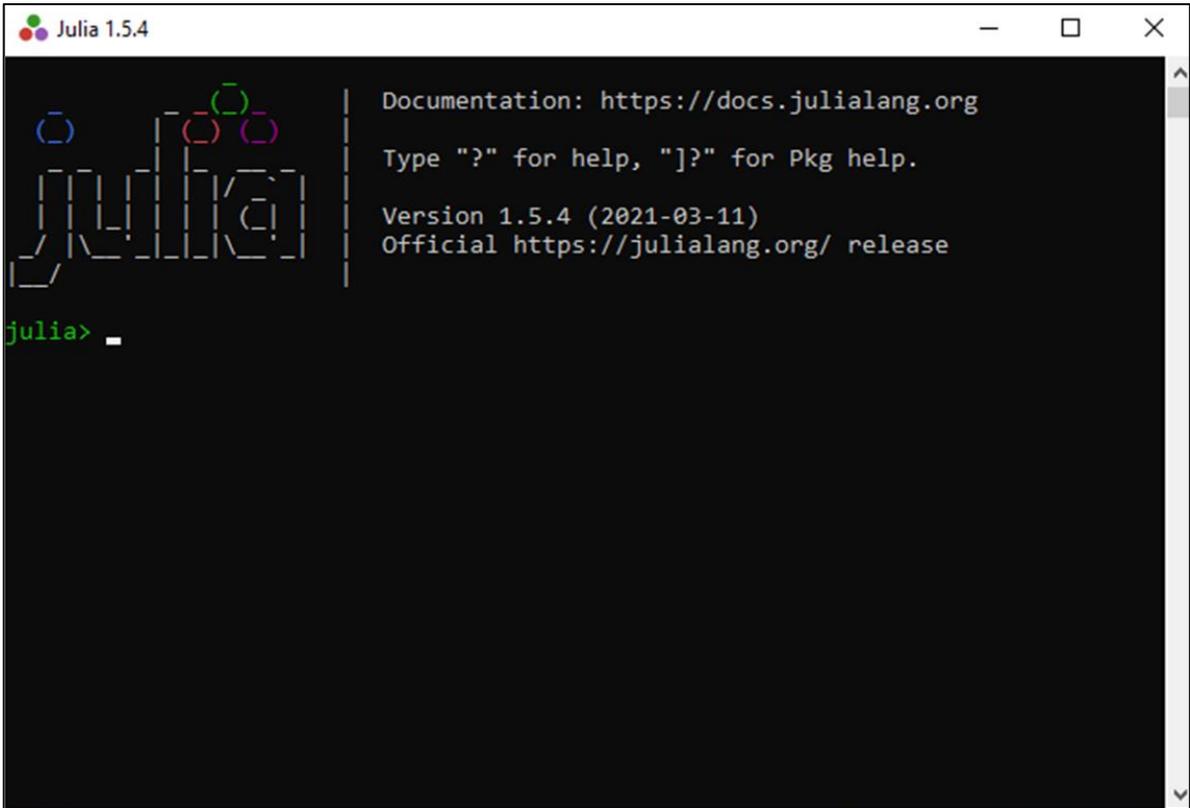
Figura 2 – Demonstração de como seleccionar diretório onde será instalado e armazenado documentos de instalação da linguagem de programação Julia.



Fonte: Autor.

Quando o processo de instalação estiver concluído, uma pasta será criada, se não for criada antes. Nela estará uma pasta renomeada “bin” e, em bin se encontra o compilador **Julia.exe**, que abre o executor de Julia REPL (Figura 3). Este o lugar onde se pode digitar comandos no prompt **julia >** e executá-los imediatamente por meio da tecla **Enter**.

Figura 3 – Demonstração da tela inicial da linguagem de programação Julia utilizando o prompt de comando.



```
Julia 1.5.4

Documentation: https://docs.julialang.org
Type "?" for help, "?]" for Pkg help.
Version 1.5.4 (2021-03-11)
Official https://julialang.org/ release

julia> _
```

Fonte: Autor.

### 3.2.2 Download e instalação do ambiente de programação

Para melhorar o ambiente de trabalho com Julia pode-se utilizar o auto complementar a integração dinâmica, resultados embutidos, painel de plotagem, REPL integrado, visualização variável, navegação de código e muitos outros recursos avançados de linguagem usando-se o trabalho do *software* VSCode. Ele é um *software* gratuito disponibilizado pela Microsoft usado para desenvolver código em várias linguagens de programação.

O VSCode pode ser instalado em diferentes ambientes (Linux, MacOS e Windows). Para o trabalho foi usado o sistema Windows 10 Pró. Seu download pode ser realizado em <https://code.visualstudio.com/#alt-downloads>, obtendo-se o arquivo de acordo com a formato do sistema (32 bits / 64 bits). Depois de realizado o download, executa-se o instalador seguindo as instruções (basicamente, ir clicando em “Next”).

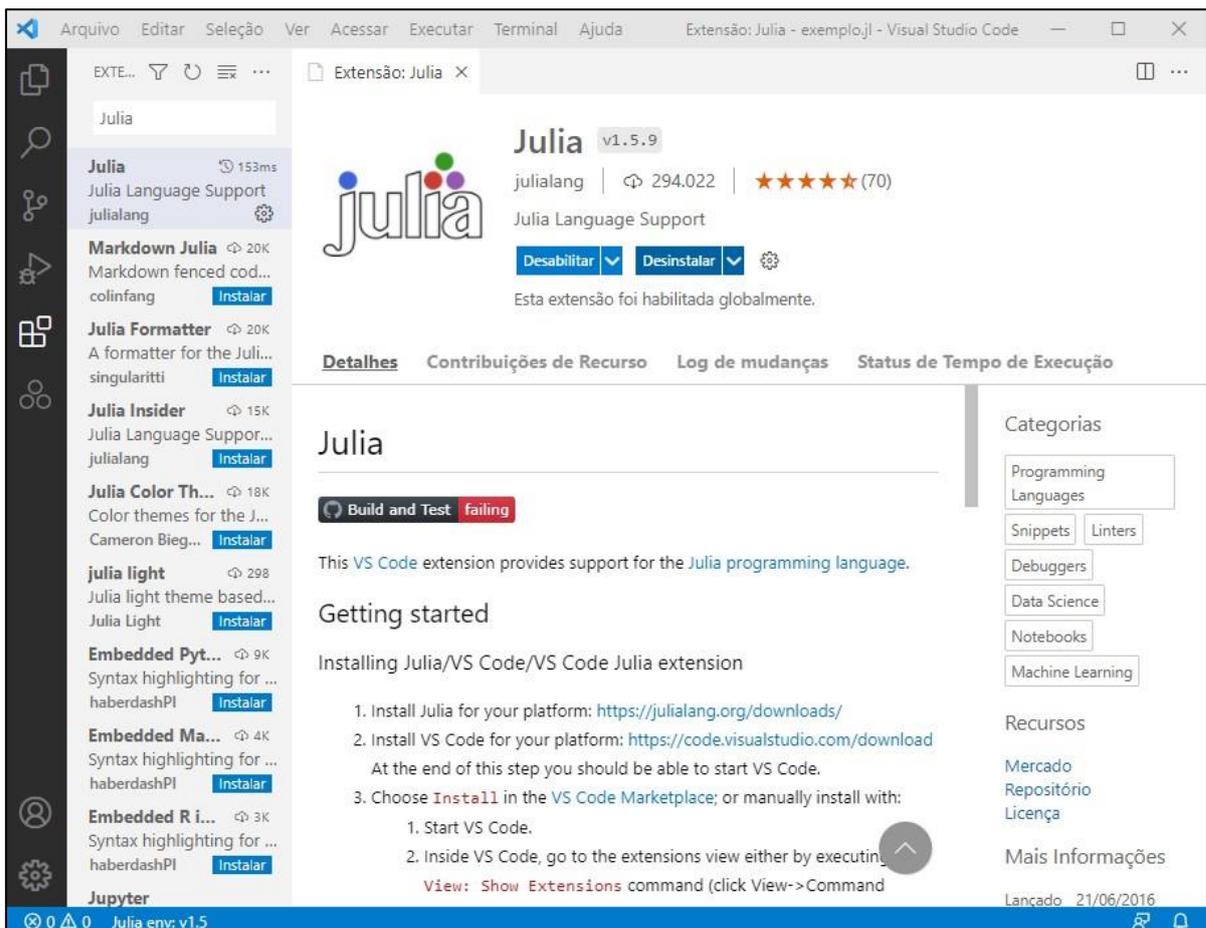
Para habilitação da extensão de Julia no VSCode deve-se seguir os seguintes passos:

- i. Inicie o VSCode;
- ii. Dentro do VSCode, ir em ver extensões clicando **Ver → Extensões**;

- iii. Na visualização extensões, pesquisar o termo “Julia” na caixa de pesquisa do Marketplace, selecionar a extensão Julia (julialang.julia-language) e selecionar o botão instalar;
- iv. Reinicializar o VSCode.

A maioria desse passo a passo pode ser visualizado de uma forma geral na Figura 4.

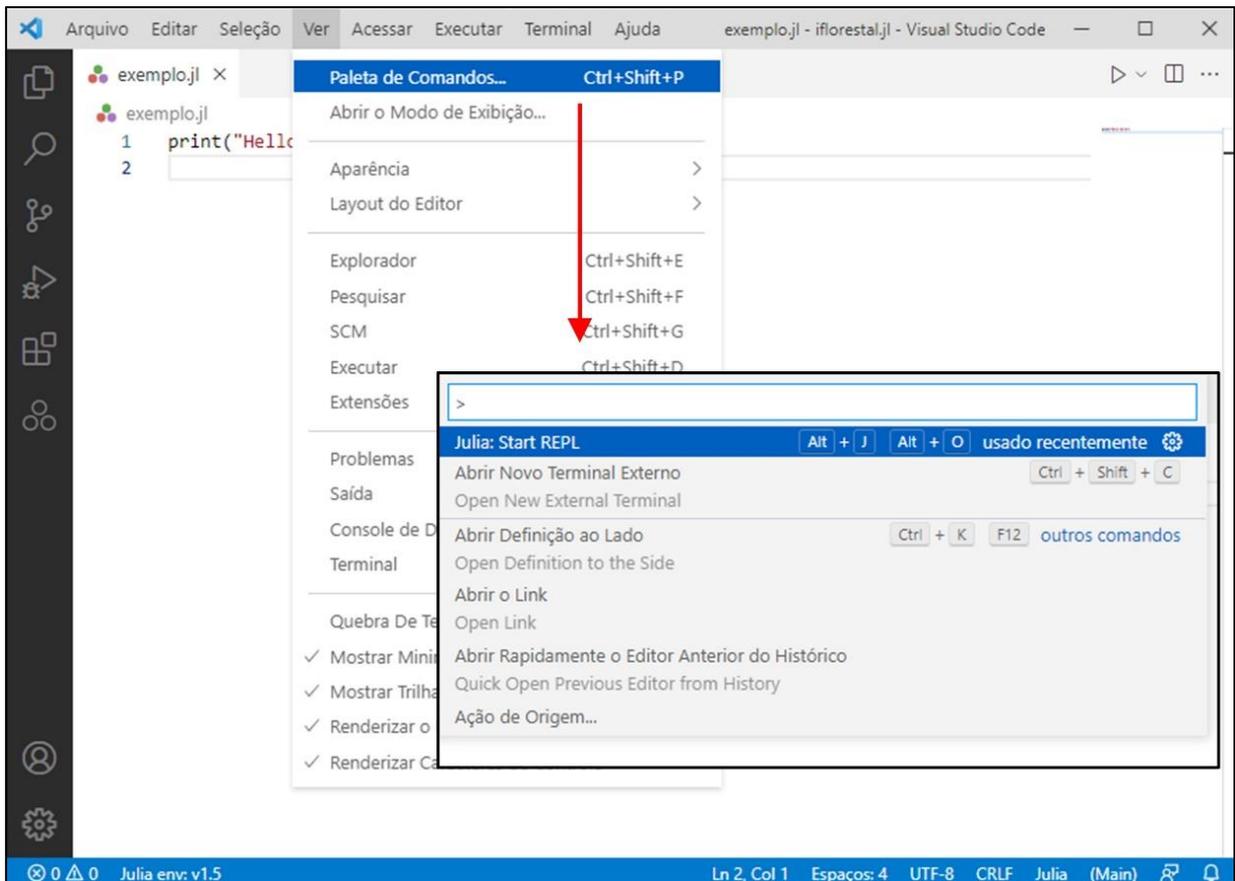
Figura 4 – Demonstração da página inicial do Visual Studio Code para instalar a extensão da linguagem de programação Julia.



Fonte: Autor.

Para a inicialização de Julia RELP dentro do VScode o usuário deverá selecionar **Terminal** → **Ver** → **Paleta de comandos** ou **Ctrl + Shift + P**, que abrirá a paleta de comandos, nesse local se faz necessário digitar “Julia: Start RELP” e executar. Com a execução, o comando irá mostrar um prompt interativo a baixo do editor de texto, no qual se encontra disponível para executar algum código Julia (Figura 5).

Figura 5 – Demonstração de um comando em Julia REPL utilizando o editor de texto Visual Studio Code.

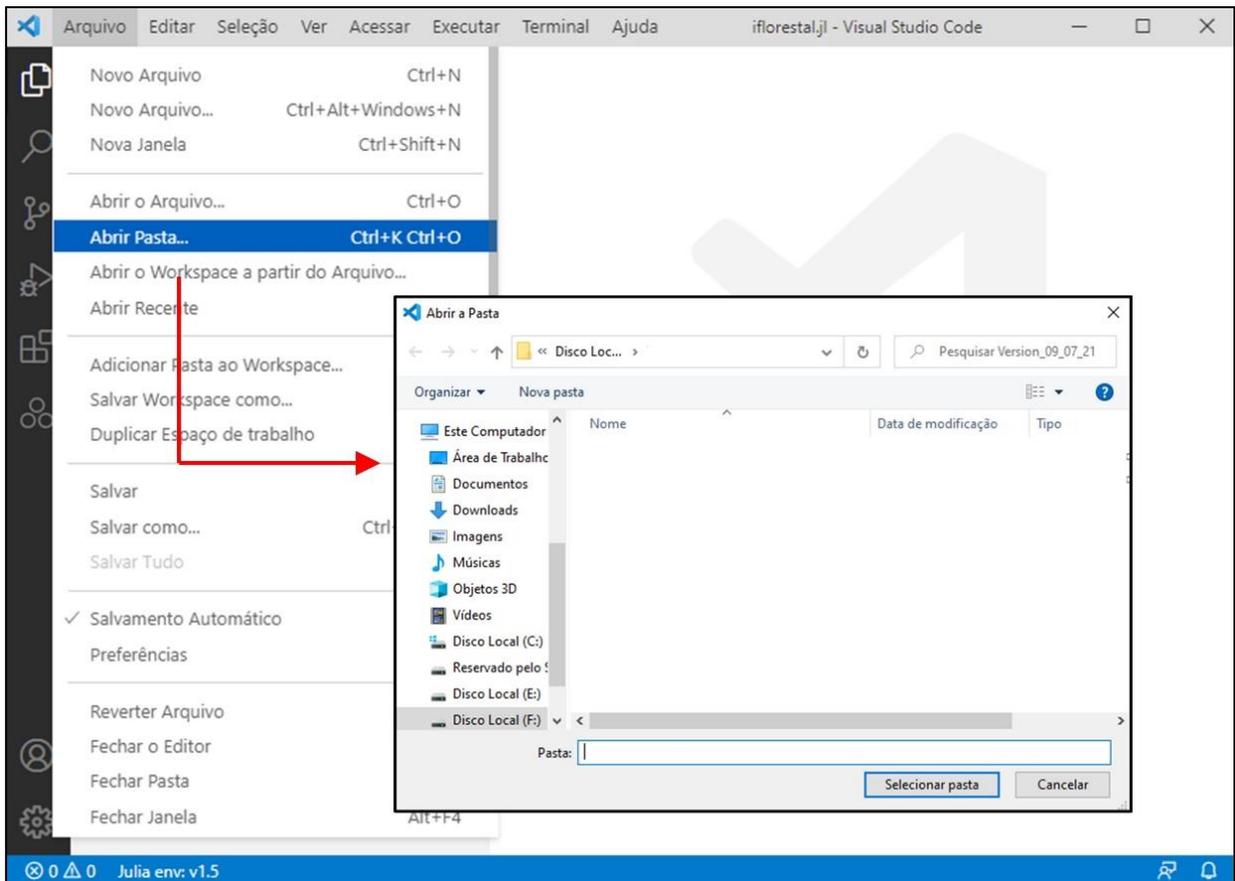


Fonte: Autor.

### 3.3 USO DAS FUNÇÕES NO AMBIENTE DE PROGRAMAÇÃO

Com a instalação de Julia, do VScode e a habilitação da linguagem dentro do ambiente de programação o usuário estará pronto para usar as funções, como demonstrado nos itens anteriores. Primeiramente o usuário terá que selecionar uma pasta em que estão as funções e salvar os novos projetos realizados em Julia. Para isso será necessário ir em **Arquivo** → **Abrir Pasta**. Neste local o usuário seleciona a pasta desejável (Figura 6).

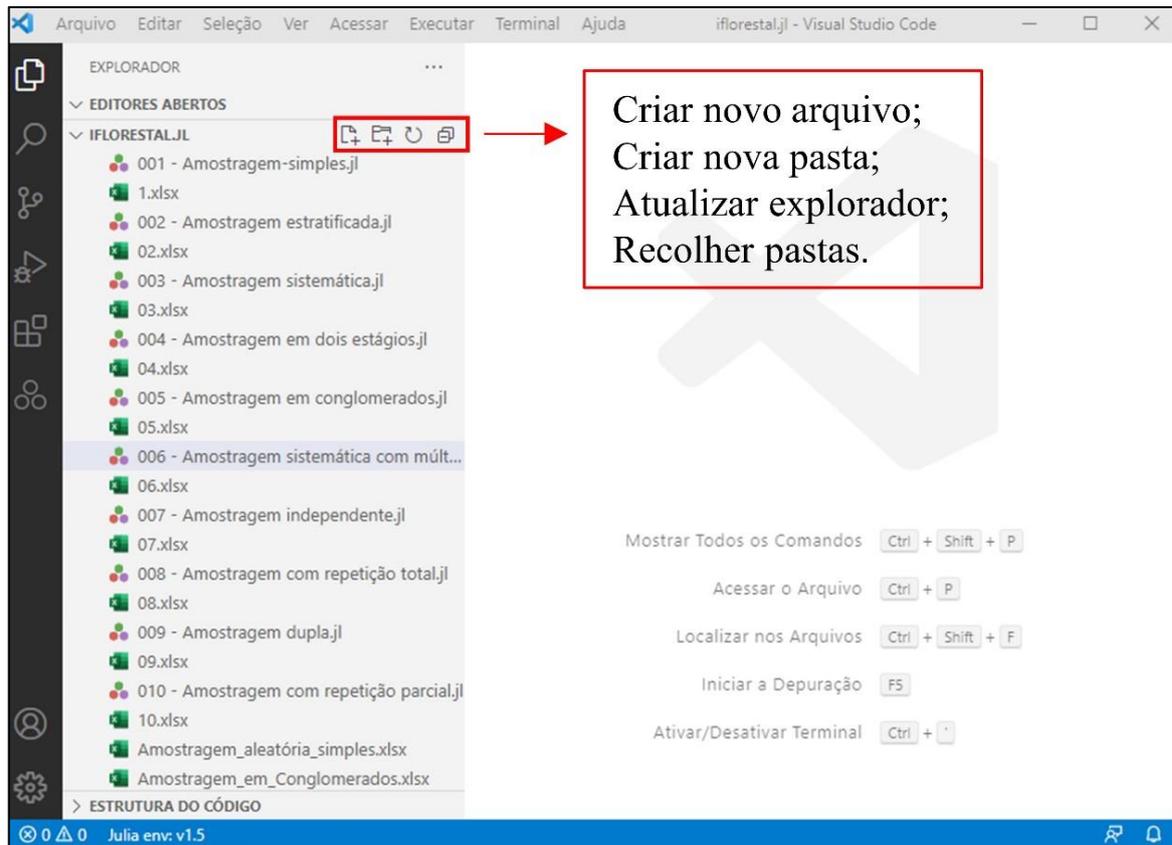
Figura 6 – Demonstração de como selecionar a pasta que será usada para salvar as funções e projetos.



Fonte: Autor.

Com a pasta selecionada e ocorre o carregamento no VScode. O usuário poderá fazer uso das funções existentes na pasta, pressionando duas vezes no arquivo que ele abrirá. Caso o usuário queira criar um novo arquivo ou nova pasta, além de atualizar o ambiente como recolher as pastas, basta selecionar os itens destacados em vermelho na Figura 7.

Figura 7 – Demonstração de como abrir a função, criar novos arquivos, novas pastas, atualizar e recolher.



Fonte: Autor.

### 3.4 DESENVOLVIMENTO DAS FUNÇÕES

Para o desenvolvimento das funções foi utilizado a linguagem Unified Modeling Language (UML). A UML é uma linguagem gráfica de modelagem utilizada para desenvolver sistemas, artefatos e *software*. Neste trabalho foi utilizado o diagrama de classes que representa uma visão estática do que as funções realizam e como foram projetadas.

A UML, por ser uma linguagem, possui uma sintaxe e uma semântica própria. A sintaxe corresponde como os elementos gráficos são apresentados. A semântica por sua vez corresponde ao significado de cada elemento. Tanto a sintaxe quanto a semântica na UML são extensíveis, permitindo a adaptação das características do trabalho desenvolvido (BEZERRA, 2007).

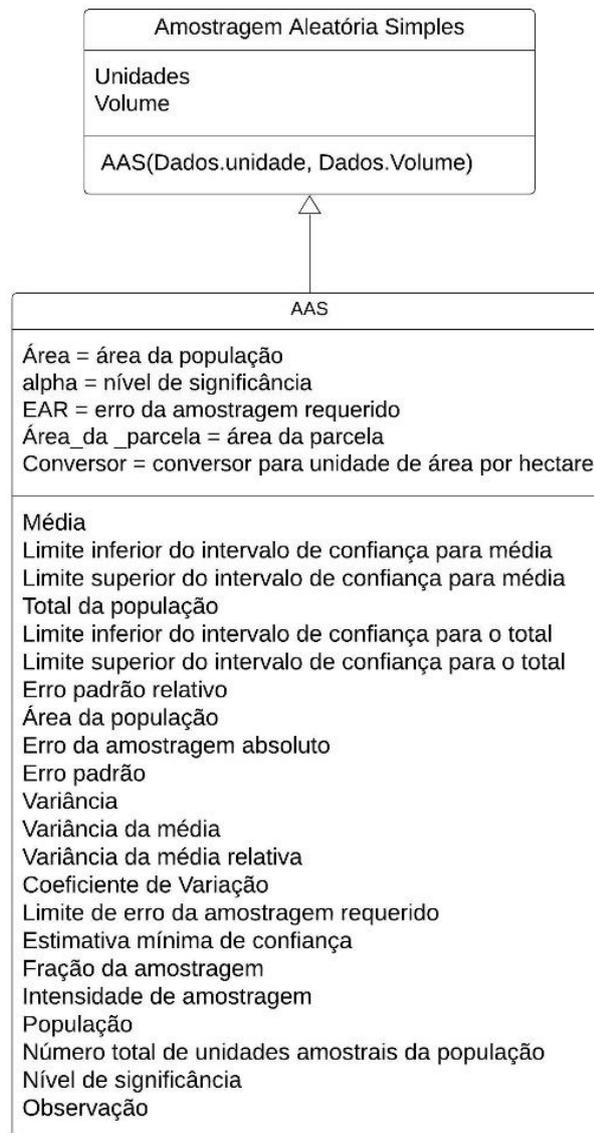
Em cada função dos processos de amostragem em inventário florestal foi desenvolvida uma UML de classes divididas em três compartimentos (nome, atributos e métodos). No primeiro compartimento da classe é referido ao nome de cada processo de amostragem, segundo compartimento os atributos que se refere aos dados do inventário. O terceiro compartimento

estão dispostos dos métodos, ou seja, as variáveis que são calculadas por cada amostragem e gera o resultado do inventário florestal. Todas as UML possuem subclasses consequentemente tem um relacionamento de herança com as classes principais.

### 3.4.1 Amostragem aleatória simples

No diagrama da Figura 8 podemos observar como foi escrito a função do processo de amostragem aleatória simples que se baseia em atributos (dados), operação (função) e informações do inventário.

Figura 8 – Diagrama de classes para a função de amostragem aleatória simples.



Para o primeiro passo o usuário deverá indicar os atributos necessários (unidades e volume), que são os dados de entrada para o processamento.

No segundo passo o usuário terá que informar a função que é denominada de “AAS”.

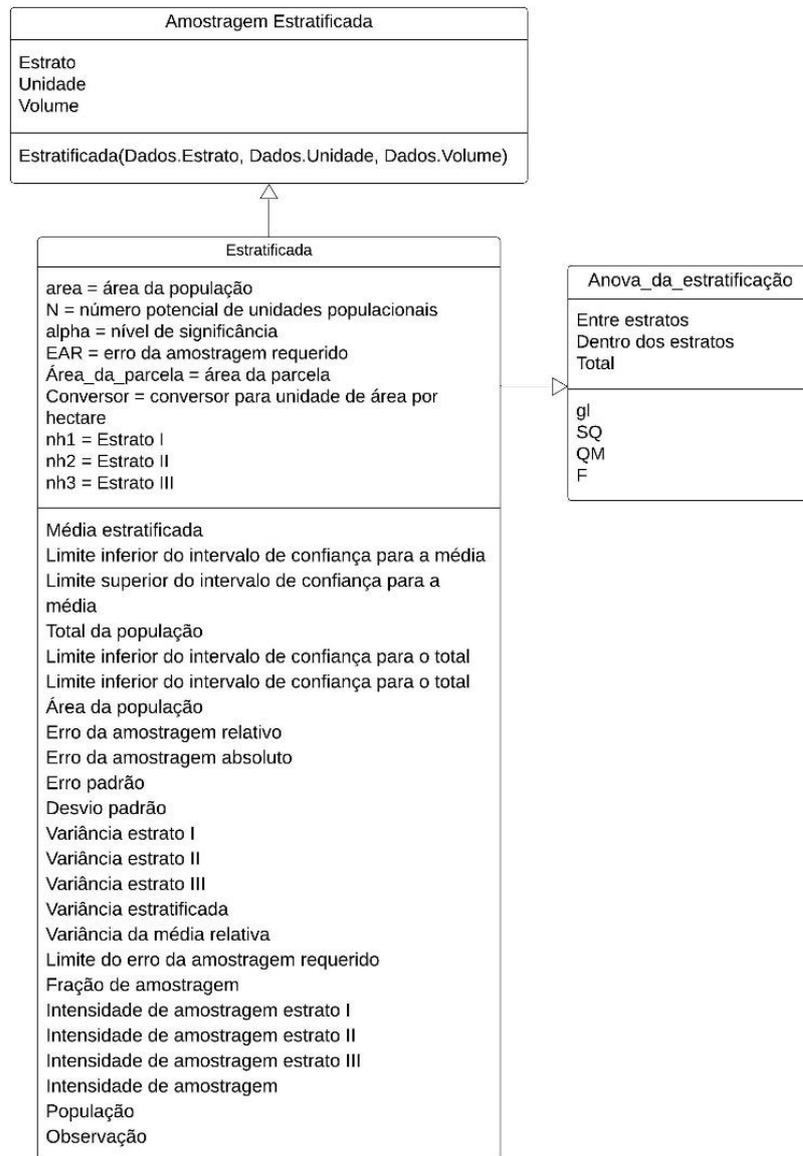
No terceiro passo o usuário fornecerá as informações necessárias para realização do inventário como a área da população, nível de significância, erro de amostragem requerido, área da parcela e o conversor usado para transformar a unidade em m<sup>3</sup>/ha.

No quarto passo o usuário irá executar a função que vai permitir gerar os resultados do inventário florestal.

### **3.4.2 Amostragem estratificada**

O processo de amostragem estratificada se baseia nos mesmos três atributos apresentado no diagrama da amostragem aleatória simples (Figura 8). Na estratificada, no entanto, tem de acréscimo a divisão por estratos e a criação da análise de variância (ANOVA) estratificada (Figura 9).

Figura 9 – Diagrama de classes para a função de amostragem estratificada.



Fonte: Autor.

Na função estratificada o primeiro passo do usuário é indicar os atributos necessário (Estrato, Unidade e Volume) que são dados de entrada para o processamento.

No segundo passo terá que informar a função que é denominada de “Estratificada”.

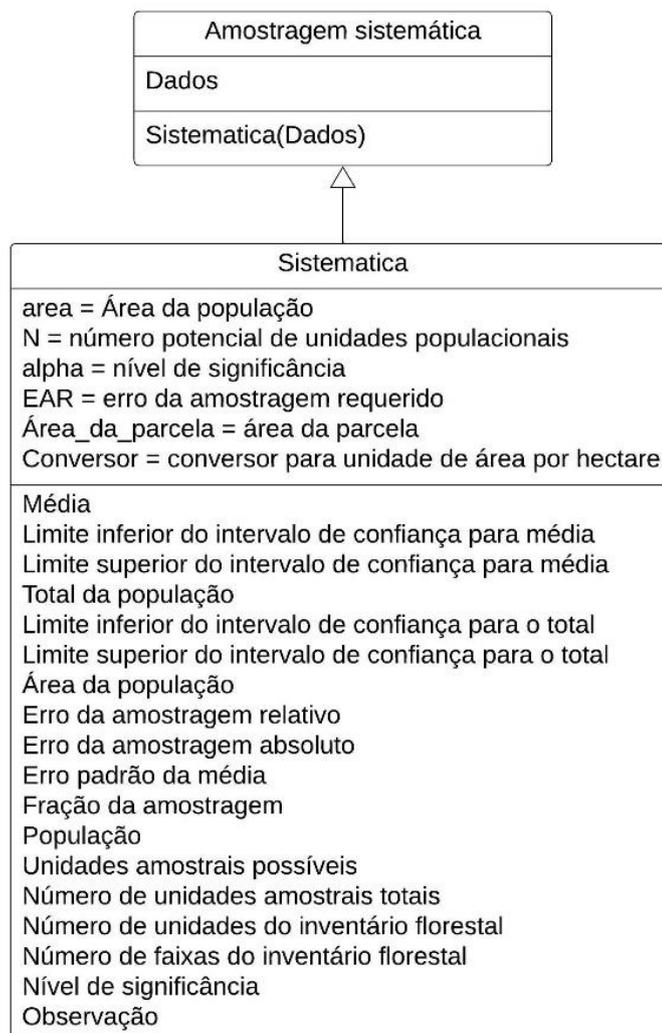
No terceiro passo o usuário fornecerá as informações do inventário como a área da população, número potencial de unidades populacionais, nível de significância, erro de amostragem requerido, área da parcela, conversor, estrato I, estrato II e estrato III.

No quarto passo o usuário irá executar a função que permitir gerar os resultados do inventário florestal. Nesse processo de amostragem o resultado será apresentado de forma estratificada, além de apresentar a ANOVA da estratificação do inventário florestal.

### 3.4.3 Amostragem sistemática

A Figura 10 apresenta o diagrama da função do processo de amostragem sistemática, que é conhecido como um processo realizado pela probabilística não aleatorizado, em que a probabilidade se designa por meio da primeira unidade amostral. A função do processo estratificada se diferencia das demais em relação da indicação dos atributos que devem ser indicados na função. Na amostragem sistemática é somente escrito na função “Dados”. No entanto, na pasta do Excel.csv que é exportada para Julia deve ser denominado os nomes das colunas de I, II, III, IV, V etc. Determinando o primeiro passo dessa função.

Figura 10 – Diagrama de classes para a função de amostragem sistemática.



Fonte: Autor.

No segundo passo terá que informar a função que é denominada de “Sistematica”.

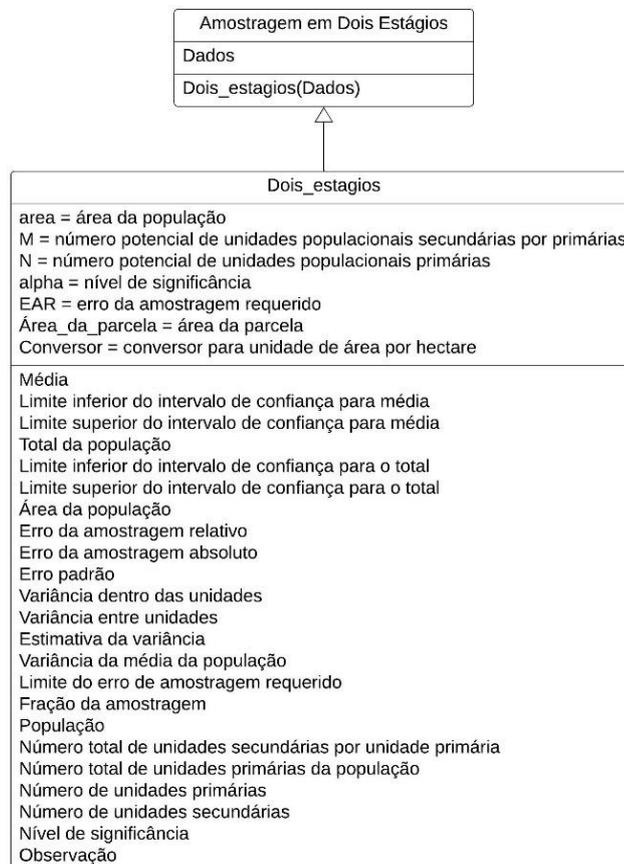
No terceiro passo o usuário fornecerá as informações necessárias para realização do inventário como a área da população, número potencial de unidades populacionais, nível de significância, erro da amostragem requerido, área da parcela e conversor.

No quarto passo o usuário executa a função que vai permitir gerar os resultados do inventário florestal que é semelhante a saída de resultado da amostragem aleatória simples (Figura 8).

### 3.4.4 Amostragem em dois estágios

A amostragem em dois estágios é o processo em que a população é dividida no primeiro estágio denominado de unidade primária e subdividida no segundo estágio denominado de unidade secundária. O diagrama da função da amostragem em dois estágios em Julia pode ser observado na Figura 11.

Figura 11 – Diagrama de classes para a função de amostragem em dois estágios.



Fonte: Autor.

No primeiro passo no processo de execução da função na amostragem em dois estágios é igual a amostragem sistemática no local de indicar os atributos na função só vai descrito a palavra “Dados”. No entanto, na pasta do Excel.csv que é exportada para Julia deve ser denominado os nomes das colunas de I, II, III, IV, V etc. Determinando o primeiro passo dessa função.

No segundo passo o usuário irá informar a função denominada “Dois\_estagios”.

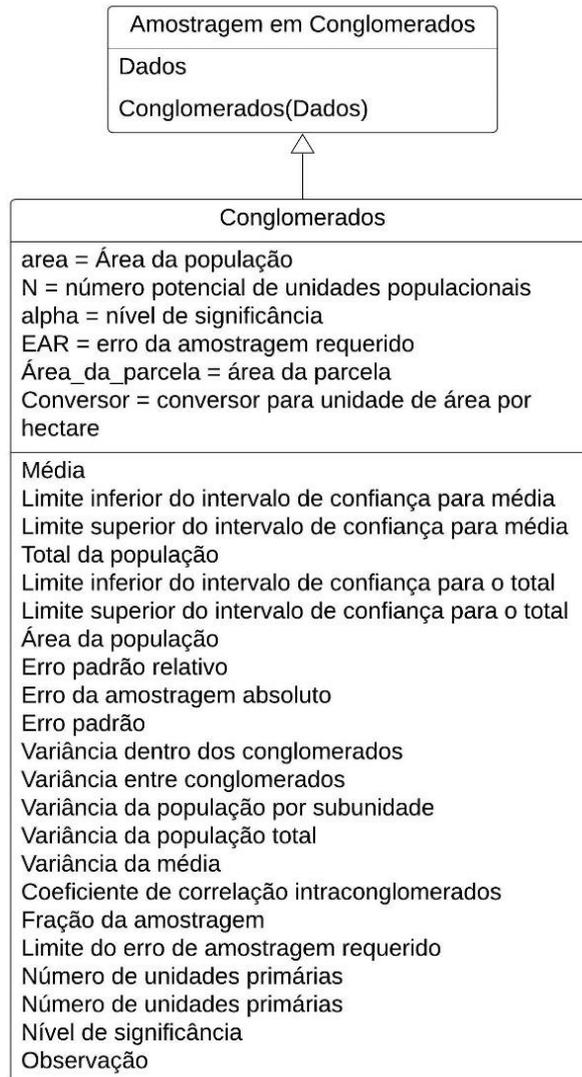
No terceiro passo o usuário fornecerá as informações necessárias para realização do inventário como a área da população, número potencial de unidades secundárias por primárias, número potencial de unidades primárias, nível de significância, erro de amostragem requerido, área da parcela e conversor.

No quarto passo o usuário irá executar a função que vai permitir gerar os resultados do inventário florestal, semelhante a amostragem aleatória simples (Figura 8) e a amostragem sistemática (Figura 10).

### **3.4.5 Amostragem em conglomerados**

O processo de amostragem em conglomerados é um processo de amostragem em dois estágios, porém o segundo estágio é de forma sistemático dentro do primeiro estágio da amostragem. Desta forma, o diagrama da amostragem demonstrado na Figura 12 é muito semelhante com o diagrama da amostragem em dois estágios (Figura 11) e a saída de resultados também se torna semelhante com a amostragem aleatória simples (Figura 8) e amostragem sistemática (Figura 10). Assim, esse processo terá o mesmo passo a passo de execução que as amostragens sistemáticas e em dois estágios. Porém, por ser um processo diferente de cálculo e amostragem a função é diferente das demais e é denominada “Conglomerados”.

Figura 12 – Diagrama de classes para a função de amostragem em conglomerados.

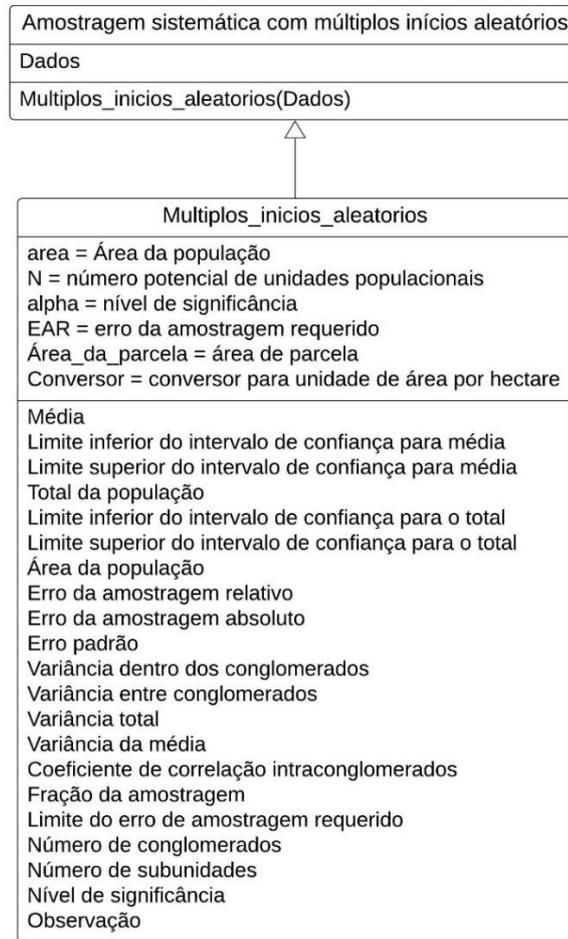


Fonte: Autor.

### 3.4.6 Amostragem sistemática com múltiplos inícios aleatórios

Seguindo a mesmo padrão das amostragens anteriores a amostragem sistemática com múltiplos inícios aleatórios tem seu passo a passo de execução da amostragem como pode ser observado no diagrama da Figura 13. Essa amostragem é o agrupamento sistemático em conglomerados, vários números aleatórios, menores que as unidades populacionais são selecionados. Os conglomerados em questão são correspondentes aos números selecionados que constituem a amostra. No entanto, apresenta forma diferente do cálculo das demais amostragens. A função para execução é denominada “Múltiplos\_inícios\_aleatorios”.

Figura 13 – Diagrama de classes para a função de amostragem sistemática com múltiplos inícios aleatórios.



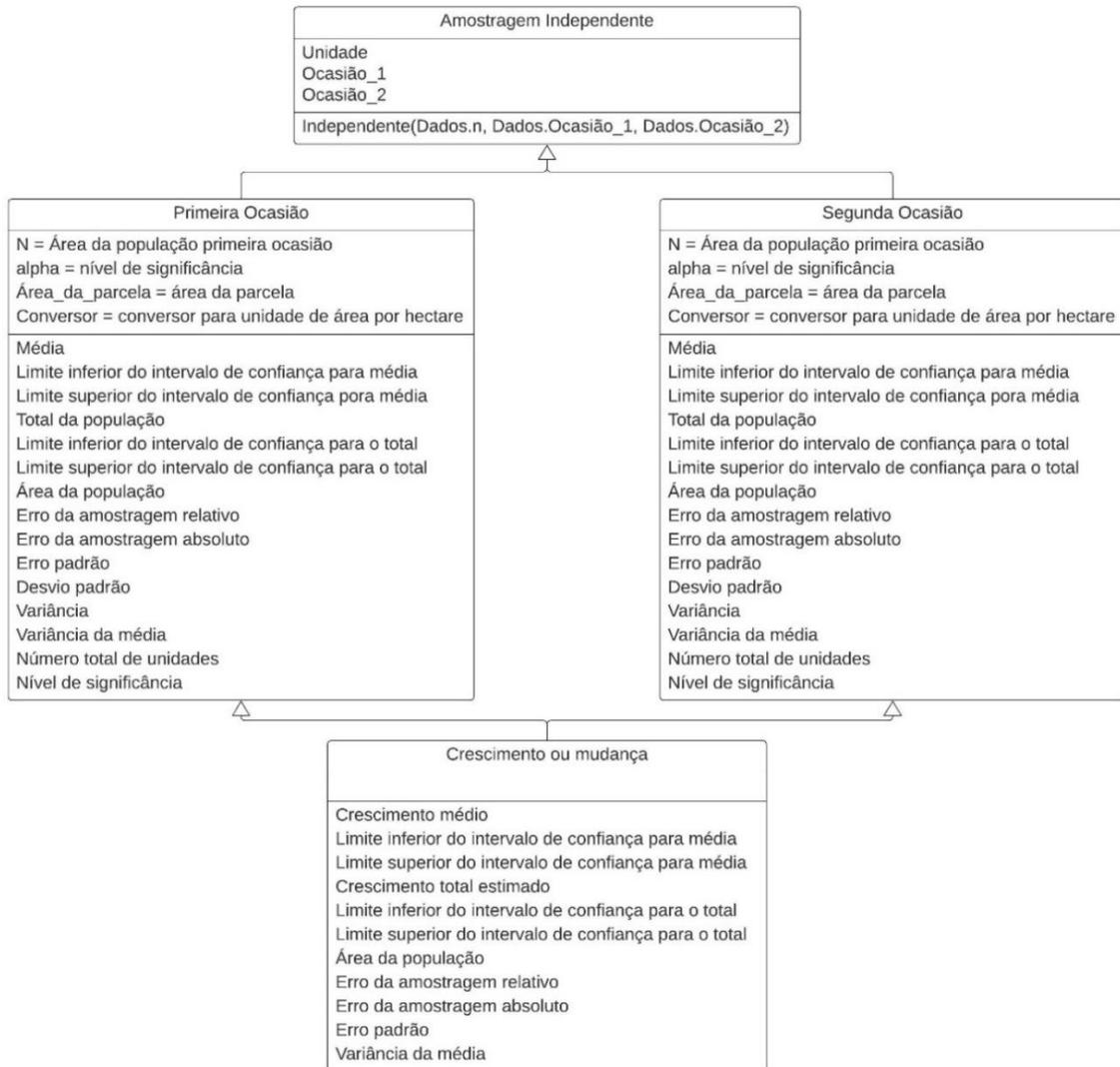
Fonte: Autor.

### 3.4.7 Amostragem em múltiplas ocasiões

#### 3.4.7.1 Amostragem independente

A amostragem independente é realizada em duas ocasiões independentemente do local de amostragem. A função para calcular essa amostragem segue a partir do diagrama da Figura 14.

Figura 14 – Diagrama de classes para a função de amostragem em múltiplas ocasiões: amostragem independente.



Fonte: Autor.

O primeiro passo para execução da amostragem independente o usuário deverá indicar os atributos necessários ( $n$ ,  $Ocasiao_1$  e  $Ocasiao_2$ ) que são dados de entrada para o processamento.

No segundo passo é necessário informar a função que é denominada “Independente”.

No terceiro passo o usuário fornecerá as informações necessárias para realização do inventário como, área da população das duas ocasiões, nível de significância, área da parcela e conversor. Esses dados geralmente são iguais para as duas ocasiões.

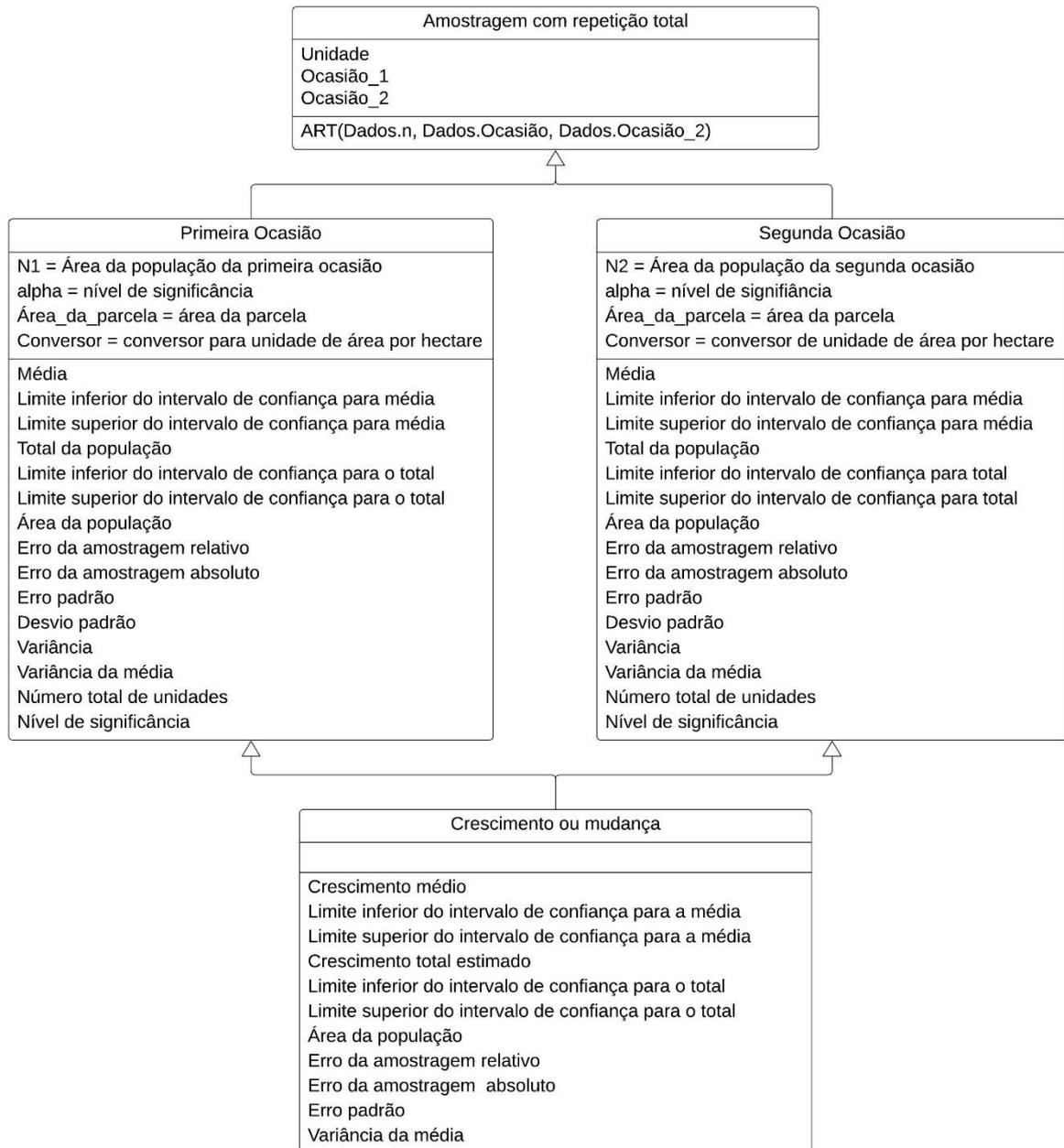
No quarto passo o usuário executa a função que permitirá gerar resultado do inventário florestal.

Na execução das funções das amostragens em múltiplas ocasiões como a independente e as demais amostragens a seguir, elas são divididas em três etapas. A primeira ocasião, segunda ocasião e a última etapa seriam o crescimento ou mudança, etapa que fornece o principal resultado da amostragem em múltiplas ocasiões que fornece o quanto de incremento de volume em média teve da primeira para segunda ocasião.

#### 3.4.7.2 Amostragem com repetição total

Na amostragem com repetição total, podemos observar que o diagrama da função (Figura 15) tem o mesmo padrão da amostragem independente (Figura 14). Porém, na amostragem total a mesma amostragem aleatória realizada na primeira ocasião é remeida na segunda, diferente da amostragem independente. Além disso, na amostragem total a função está denominada “ART”.

Figura 15 – Diagrama de classes para a função de amostragem em múltiplas ocasiões: amostragem com repetição total.



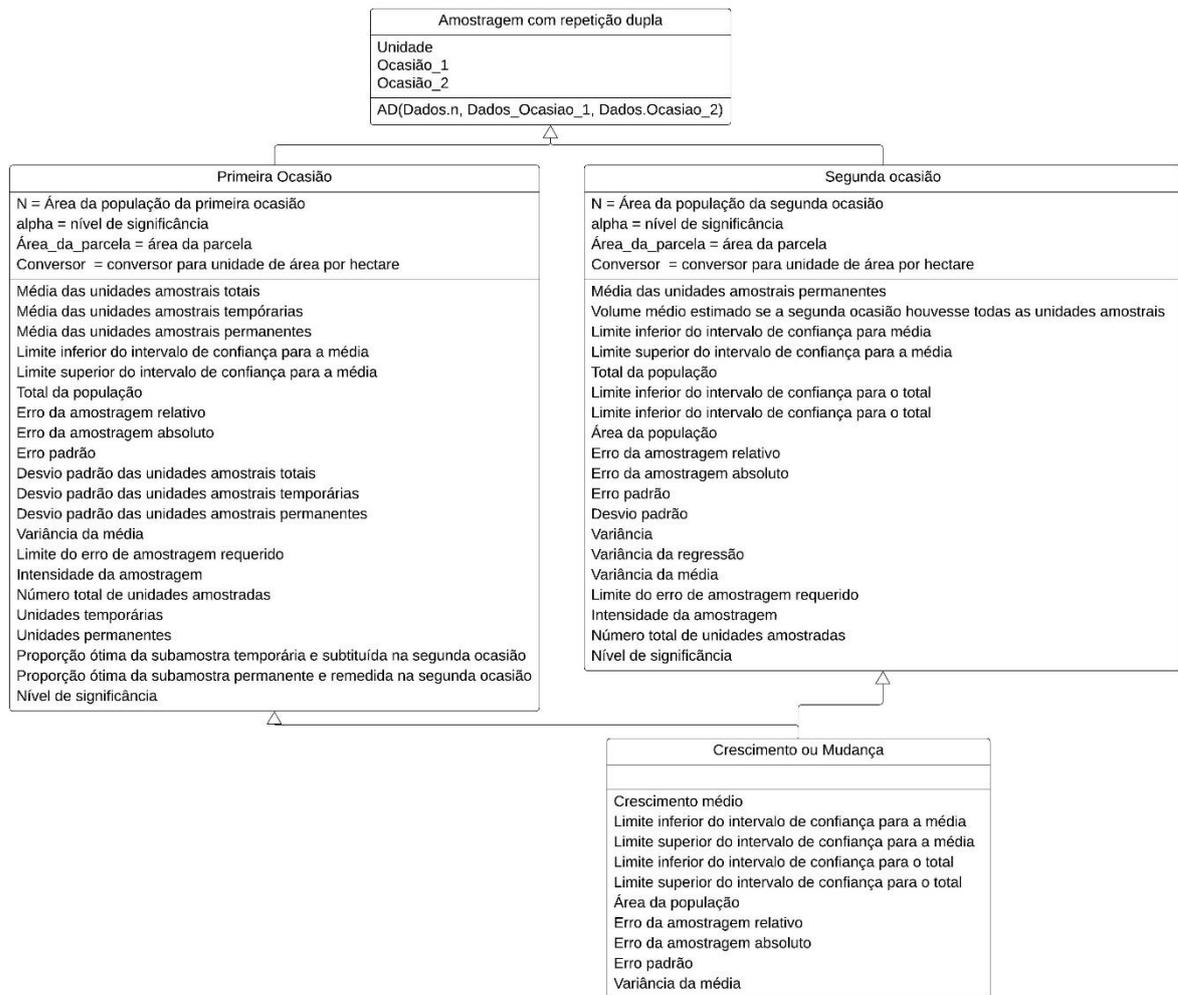
Fonte: Autor.

### 3.4.7.3 Amostragem com repetição dupla

A amostragem com repetição dupla na primeira ocasião é medida em parcelas permanentes e temporárias. Já na segunda ocasião somente é realizado medição nas parcelas permanentes. Como demonstrado no diagrama da Figura 16. As etapas da função para

amostragem com repetição parcial são parecidas com as demais amostragens existentes em múltiplas ocasiões.

Figura 16 – Diagrama de classes para a função de amostragem em múltiplas ocasiões: amostragem com repetição dupla.



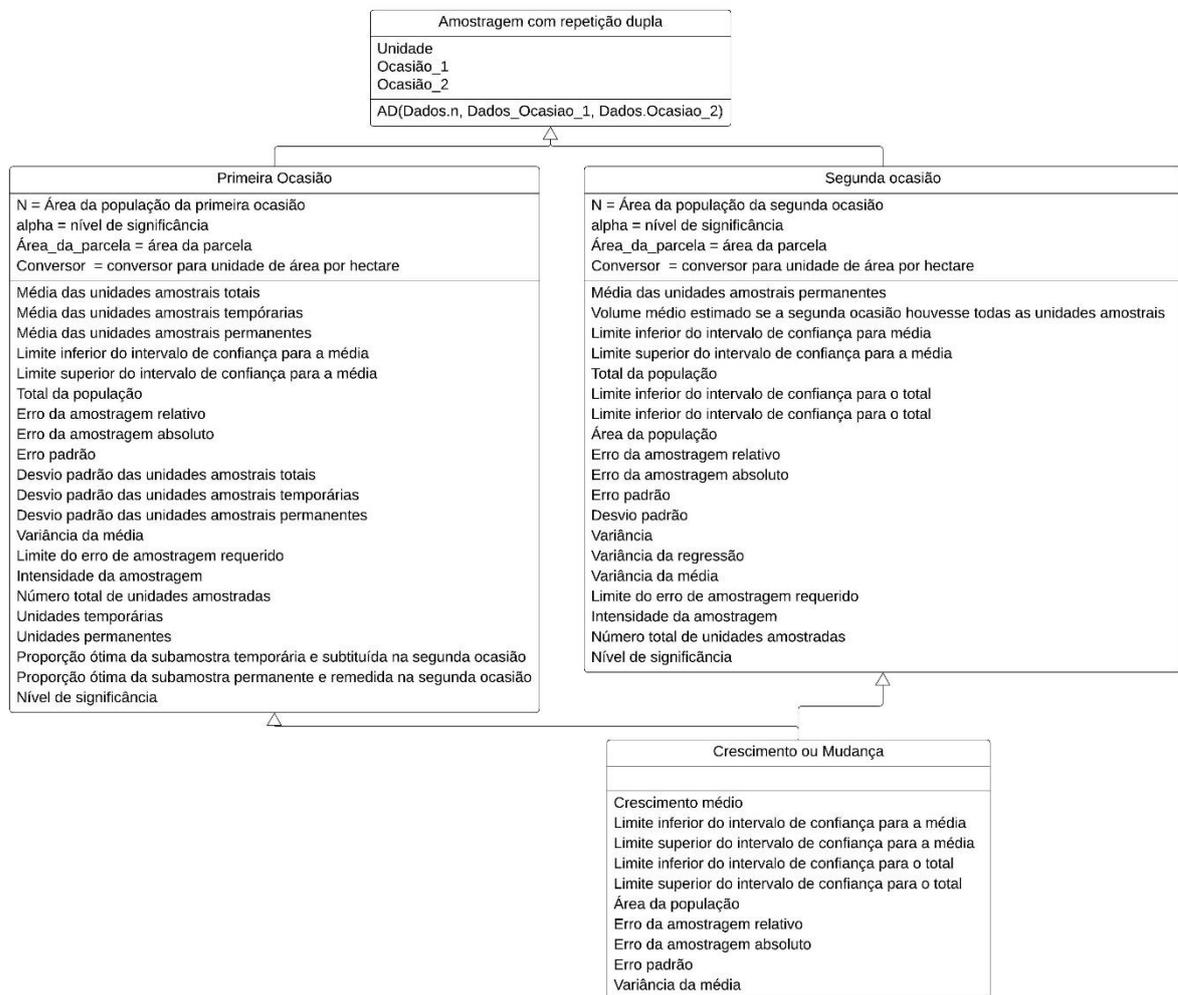
Fonte: Autor.

O que diferencia a amostragem com repetição dupla a função é denominada “AD”. Além disso, na primeira ocasião se tem um acréscimo de resultados por conta das unidades permanentes e temporárias o que torna necessário o cálculo de cada unidade e partir das unidades totais. Já para a segunda ocasião e para o crescimento ou mudança segue o mesmo padrão de cálculos levando em consideração que somente as unidades permanentes são medidas na segunda ocasião.

### 3.4.7.4 Amostragem com repetição parcial

A última amostragem de múltiplas ocasiões, amostragem com repetição parcial é realizada a partir de unidades permanentes que são medidas na primeira e segunda ocasião e unidades temporárias aplicadas também nas duas ocasiões. A função da amostragem pode ser observada no diagrama da Figura 17.

Figura 17 – Diagrama de classes para a função de amostragem em múltiplas ocasiões: amostragem com repetição parcial.



Fonte: Autor.

Na amostragem com repetição parcial como podemos observar, pelo diagrama, sua divisão em cinco diferentes momentos em relação as demais amostragens, sendo eles os atributos (dados), operação (função), dentro da função se encontra um momento destinado a

informações do inventário, para primeira ocasião e para segunda ocasião, além do crescimento ou mudança.

No primeiro passo o usuário indica os atributos necessários (Unidade, Subamostra, Ocasão\_1 e Ocasão\_2) que são os dados de entrada para o processamento da amostragem com repetição parcial.

No segundo passo o usuário informa a função denominada “ARP”.

No terceiro passo o usuário fornecerá os dados necessários para realização do inventário como a área da população, nível de significância, área da parcela e conversor. A partir dessas informações são calculadas demais informações necessárias para obter o resultado do inventário, no entanto, as informações do inventário calculadas na função são executadas somente no passo a seguir.

No quarto passo o usuário executa a função que permitirá gerar resultado do inventário florestal.

### 3.5 TESTE POR *BENCHMARK*

Para teste de desempenho das funções que avalia o tempo de processamento das mesmas utilizando a coleção de *benchmarks* é instalando o pacote “*BenchmarkTools*” como demonstrado na Figura 18. Os *benchmarks* são escritos para testar o desempenho de algoritmos e padrões de código com a mesma saída de resultados em cada linguagem.

Figura 18 – Instalação e habilitação para o uso do pacote *BenchmarkTools*.

```
Pkg.add("BenchmarkTools") #Instalar pacote
using BenchmarkTools #Habilitar pacote
```

Fonte: Autor.

Após a instalação e habilitação do pacote “*BenchmarkTools*” foi testado a velocidade de processamento de dados para a função da amostragem aleatória simples, com conjuntos de dados fictícios. Os dados foram gerados por meio da função **rand()** para linguagem Julia e **rnorm()** para a linguagem R com diferentes tamanhos (500, 1000, 2000, 5000 e 10000). Foi considerado uma população com área de 50 hectares (50.0000 m<sup>2</sup>) e parcelas de 0,7 hectare (700 m<sup>2</sup>). Na realização deste teste é necessário adicionar a função “@**benchmark**” antes do código da saída dos dados e após isso executar.

Para comparação de velocidade foi realizado testes na linguagem R versão 4.1.1 com os mesmos conjuntos de dados utilizados em Julia. A função utilizada em R foi a disponível no livro Introdução ao R: Aplicações Florestais (SOUZA et al., 2018). Para R foi utilizado o pacote “*microbenchmark*”, que disponibiliza dos mesmos recursos do *BenchmarkTools* e para execução do teste em R é adicionado à função “*microbenchmark*” antes do código de saída dos dados, semelhante a Julia.

Todos os *benchmarks* foram executados no Windows 10 Pró de 64 bits, contendo um processador Intel® Core™ i3-4005U 1.70GHz com 8 GB de RAM DDR3 de 1600 MHz. Toda a função executada em Linguagem R e Julia com os ambientes de programação RStudio e VScode, sendo desabilitado qualquer funcionalidade de depuração que poderia afetar o processamento de dados e, conseqüentemente, o desempenho. Foram realizados 10 processamentos de dados de cada conjunto e linguagem de programação. Desse processo foi avaliado os valores médios de processamento e desvios padrões.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item está apresentado os principais resultados obtidos no trabalho. A seção 4.1 apresenta parte da função de cada processo de amostragem e resultados gerados a partir dela, além de apresentar o processo de uso das mesmas. Na seção 4.2 apresenta o resultado de comparação do tempo de processamento de dados de uma das funções criadas em duas diferentes linguagens de programação. A seção 4.3 é demonstrado a importância de desenvolver esses trabalhos e o que é necessário ainda ser feito.

### 4.1 PROCESSAMENTO DE DADOS

As funções de amostragem apresentam em sua maioria várias linhas de código escritos. Essa diferença de códigos escritos varia de acordo com a amostragem e informações que a ela nós fornece. Basicamente todas as amostragens apresentam as mesmas variáveis no final do processamento dos dados, o que pode diferenciar é alguns passos até o resultado final. Desta forma, para o futuro usuário ter um panorama do formato de toda a função foi utilizado como exemplo a amostragem aleatória simples. A função foi dividida em três partes para melhor visualização da função no todo (Figura 19).

Figura 19 – Divisão da função da amostragem aleatória simples em três partes para demonstração.

```

1  #Função AAS: amostragem aleatória simples
2  function AAS(Unidades, Volume) #Determina a função
3
4      Parte_1
5
6      Parte_2
7
8      Parte_3
9
10 end

```

Fonte: Autor.

Na primeira parte (Figura 20), para a função da amostragem aleatória simples os códigos escritos são para os cálculos básicos como, média, número de unidades, variância, desvio padrão, fração da amostragem, limite de erro da amostragem requerido, valor de t e a intensidade da amostragem que é calculada em função da população infinita ( $\geq 0,98$ ) ou finita

(< 0,98). Esses códigos vão da linha 13 até a 38 da primeira parte. As demais amostragens seguem esse mesmo padrão, no entanto, diferenciando as peculiaridades de cada amostragem.

Figura 20 – Primeira parte da função para a amostragem aleatória simples.

```

12 Parte_1
13 Volume = (Conversor.*Dados.Volume)
14 Unidades = Dados.Unidades
15 AAS = DataFrame(Unidades = Unidades, Volume= Volume)
16 mean(Volume) #Média
17 (length(Unidades)) #Número de unidades
18 var(Volume) #Variância
19 sqrt(var(Volume)) #Desvio padrão
20 (1-(length(Unidades)/N)) #Fator de correção
21 (0.1*mean(Volume)) #Limite de erro da amostragem requerido
22 t=quantile(TDist(length(Unidades)-1),1-alpha/2) #Valor de t
23 if (1-(length(Unidades)/N)) ≥ 0.98 #f maior ou igual a 0,98 população infinita
24 População = "é considerada infinita"
25     println(População)
26 elseif (1-(length(Unidades)/N)) < 0.98 #f menor que 0,98 população finita
27 População = "é considerada finita"
28     println(População)
29 end
30 Tamanho_da_amostra = if (1-(length(Unidades)/N)) ≥ 0.98 #f maior ou igual a 0,98 população infinita
31     #População infinita. O tamanho da amostra é calculado pela seguinte equação:
32     Infinita=((t)^2)*var(Volume)/((0.1*mean(Volume))^2)
33     round(Infinita)
34 elseif (1-(length(Unidades)/N)) < 0.98 #f menor que 0,98 população finita
35     #População finita. O tamanho da amostra é calculado pela seguinte equação:
36     Finita=(N*((t)^2)*var(Volume))/(N*((0.1*mean(Volume))^2)+((t)^2)*var(Volume))
37     round(Finita)
38 end

```

Fonte: Autor.

A segunda parte da função da amostragem aleatória simples vai da linha 36 a 66 (Figura 21). Nela tem os códigos inscritos para o cálculo da variância da média, erro padrão, erro padrão relativo, coeficiente de variação, variância da média relativa, erro da amostragem (absoluto e relativo), limite do intervalo de confiança para média (inferior e superior), total da população, limite do intervalo de confiança para o total (inferior e superior) e a estimativa mínima de confiança. Entre as linhas 54 a 66 se tem o código que indica se o inventário florestal a partir dos resultados obtidos nas amostragens satisfazem ou não as exigências de precisão mínima que é determinado pelo usuário.

Figura 21 – Segunda parte da função para amostragem aleatória simples.

```

36 Parte_2
37 (var(Volume)/length(Unidades))*(1-(length(Unidades)/N)) #Variância média
38 (sqrt((var(Volume))/sqrt(length(Unidades))))*sqrt((1-(length(Unidades)/N))) #Erro padrão
39 ((sqrt(var(Volume))/sqrt(length(Unidades)))*sqrt((1-(length(Unidades)/N)))/mean(Volume)*100 #Erro padrão relativo
40 ((sqrt(var(Volume))/mean(Volume))*100) #Coeficiente de variação
41 (((sqrt(var(Volume))/mean(Volume))*100)^2)/(length(Unidades))*(1-(length(Unidades)/N)) #Variância média relativa
42 #Erro de amostragem
43 (t*(sqrt(var(Volume))/sqrt(length(Unidades)))*sqrt((1-(length(Unidades)/N))) #Absoluto
44 ((t*(sqrt(var(Volume))/sqrt(length(Unidades)))*sqrt((1-(length(Unidades)/N))))/mean(Volume)*100 #Relativo
45 #Limite do intervalo de confiança para média
46 (mean(Volume)-(t*(sqrt(var(Volume))/sqrt(length(Unidades)))*sqrt((1-(length(Unidades)/N)))) #Inferior
47 (mean(Volume)+(t*(sqrt(var(Volume))/sqrt(length(Unidades)))*sqrt((1-(length(Unidades)/N)))) #Superior
48 ((N*mean(Volume))/Conversor) #Total da população
49 #Limite do intervalo de confiança para o total
50 ((N*mean(Volume))-N*(t*(sqrt(var(Volume))/sqrt(length(Unidades)))*sqrt((1-(length(Unidades)/N))))/Conversor #Inferior
51 ((N*mean(Volume))+N*(t*(sqrt(var(Volume))/sqrt(length(Unidades)))*sqrt((1-(length(Unidades)/N)))) #Superior
52 mean(Volume)-(t*(sqrt(var(Volume))/sqrt(length(Unidades)))*sqrt((1-(length(Unidades)/N)))) #Estimativa mínima de confiança
53 #Tabela com os resultados
54 if ((t*(sqrt(var(Volume))/sqrt(length(Unidades)))*sqrt((1-(length(Unidades)/N))))/mean(Volume)*100 > EAR
55     Observação = "Diante do exposto, conclui-se que os resultados obtidos na amostragem não satisfazem as exigências de
56     precisão estabelecidas para o inventário, ou seja,
57     um erro de amostragem máximo de ±10% da média para confiabilidade designada.
58     O erro estimado foi maior que o limite fixado, sendo recomendado incluir mais unidades amostrais no inventário."
59     println(Observação)
60     elseif ((t*(sqrt(var(Volume))/sqrt(length(Unidades)))*sqrt((1-(length(Unidades)/N))))/mean(Volume)*100 ≤ EAR
61     Observação = "Diante do exposto, conclui-se que os resultados obtidos na amostragem satisfazem as exigências de
62     precisão estabelecidas para o inventário, ou seja,
63     um erro de amostragem máximo de ±10% da média para confiabilidade designada.
64     O erro estimado foi menor que o limite fixado, assim as unidades amostrais são suficientes para o inventário."
65     println(Observação)
66 end

```

Fonte: Autor.

A terceira e última parte da função para amostragem aleatória simples os códigos escritos tem duas funções. Uma para organizar as variáveis e seus respectivos resultados em formato de tabela (linha 77 a 99) e a segunda é para salvar o resultado em uma pasta de Excel.xlsx (100 a 102) (Figura 22).

Figura 22 – Terceira parte da função para amostragem aleatória simples.

```

76 Parte_3:
77 Resultados = DataFrames.DataFrame(Variáveis=["Média (m³/ha)",
78 "Limite inferior do intervalo de confiança para média (m³/ha)",
79 "Limite superior do intervalo de confiança para média (m³/ha)",
80 "Total da população (m³)", "Limite inferior do intervalo de confiança para o total (m³)",
81 "Limite superior do intervalo de confiança para o total (m³)", "Erro padrão relativo (%)",
82 "Área da população (ha)", "Erro da amostragem absoluto (m³/ha)", "Erro padrão (m³/ha)",
83 "Desvio padrão (m³/ha)", "Variância (m³/ha)²", "Variância da média (m³/ha)²",
84 "Variância da média relativa (%)", "Coeficiente de variação (%)", "Limite de erro da amostragem requerido",
85 "Estimativa mínima de confiança (m³/ha)", "Fração de amostragem", "Intensidade de amostragem",
86 "População", "Número total de unidades amostrais da população",
87 "Nível de significância (α)", Valores=[mean(Volume), (mean(Volume)-(t*(sqrt(var(Volume))/sqrt(length(Unidades))
88 *sqrt(Complex((1-(length(Unidades)/N)))))),
89 (mean(Volume)+(t*(sqrt(var(Volume))/sqrt(length(Unidades)))*sqrt(Complex((1-(length(Unidades)/N)))))),
90 ((N*mean(Volume))/Conversor),
91 ((N*mean(Volume))-N*(t*(sqrt(var(Volume))/sqrt(length(Unidades)))*sqrt(Complex((1-(length(Unidades)/N)))))/Conversor,
92 ((N*mean(Volume))+N*(t*(sqrt(var(Volume))/sqrt(length(Unidades)))*sqrt(Complex((1-(length(Unidades)/N)))))),
93 ((t*(sqrt(var(Volume))/sqrt(length(Unidades)))*sqrt(Complex((1-(length(Unidades)/N))))/mean(Volume)*100, Área,
94 (t*(sqrt(var(Volume))/sqrt(length(Unidades)))*sqrt(Complex((1-(length(Unidades)/N))))),
95 (sqrt(var(Volume))/sqrt(length(Unidades)))*sqrt(Complex((1-(length(Unidades)/N))))), sqrt(var(Volume)),
96 var(Volume), (var(Volume)/length(Unidades))*(1-(length(Unidades)/N)),
97 (((sqrt(var(Volume))/mean(Volume))*100)^2)/(length(Unidades))*(1-(length(Unidades)/N)),
98 ((sqrt(var(Volume))/mean(Volume))*100), (0.1*mean(Volume)), EAR, (1-(length(Unidades)/N)),
99 Intensidade, População, N, alpha] #Tabela de resultados
100 XLSX.writetable(("F:/Version_09_07_21/iflorestal.jl/1.xlsx"), Dados=(collect(DataFrames.eachcol(AS)),
101 DataFrames.names(AS)), Resultados=(collect(DataFrames.eachcol(Resultados)),
102 DataFrames.names(Resultados)) #Exportar para o Excel

```

Fonte: Autor.

### 4.1.1 Amostragem aleatória simples

A Figura 23 apresenta a função da amostragem aleatória simples. Para o uso dessa amostragem foi necessário primeiramente habilitar os pacotes pré existentes em Julia (DataFrames, Statistics, Distributions, CSV e XLSX), que são fundamentais para importar, exportar e manipular o conjunto de dados que pode ser visualizado na linha 5 da função. Posterior nas linhas 9 a 84 se apresenta a função “AAS”, nela está presente toda a programação das equações escritas. Essa programação é responsável pelo processamento dos dados. Na amostragem aleatória simples para a realização do processamento é necessário realizar a chamada dos seguintes dados “Unidade” e “Volume”.

Figura 23 – Função para executar o cálculo da amostragem aleatória simples.

```

001 - Amostragem-simples.jl
1  #Inventário Florestal
2  #Amostragem aleatória simples
3
4
5  using DataFrames, Statistics, Distributions, CSV, XLSX #Habilitar pacotes
6
7
8  #Função AAS: amostragem aleatória simples
9  > function AAS(Unidades, Volume) #Determina a função...
84 end
85
86
87 #Processamento do inventário
88 #Importar dados
89 Dados = CSV.read("F:/Version_09_07_21/amostragem_simples.csv", DataFrame)
90 #Informações necessárias
91 #Área da população
92 const Área = 45
93 #Número total de unidades de amostragem na população
94 const N = Área/0.1
95 #Nível de significância (α)
96 const alpha = 0.05
97 const EAR = 10 #Erro da amostragem requerido
98 #Unidade de medida da variável
99 Unidade = "m³/0.1 ha" #Alterar em função do inventário
100 #Conversor para a unidade de área por hectare
101 Área_da_parcela=0.1
102 Conversor=1/Área_da_parcela
103 #AAS(Unidades, Volume)
104 AAS(Dados.Unidades, Dados.Volume) #Saída dos dados

```

Fonte: Autor.

Para importar os dados em Julia o usuário terá que salvar o documento em Excel.csv. Os nomes das colunas devem ser denominados iguais a que estão na função, caso ao contrário no momento que o usuário carregar os dados vai ocorrer erro. Após proceder esses passos o usuário poderá importar os dados para dentro de Julia. A importação dos dados pode ser feita pela indicação do diretório offline ou por meio endereço de um recurso (URL) que será indicado na linha 89.

O passo seguinte entre as linhas 90 a 101, é necessário informar dados básicos do inventário florestal pelo processo de amostragem aleatória simples como, área da população número de unidades de amostragem da população, nível de significância, erro da amostragem requerido e área de parcela. Na linha 102, apresenta-se o conversor, que é o cálculo para converter a área em hectares e os resultados das variáveis serem gerados em m<sup>3</sup>/ha.

O último passo para obter o resultado do inventário florestal é necessário executar o código da linha 104. Ele representa a forma de saída de dados executados na função “AAS” citada anteriormente. Nesse passo, diferentemente, do início da função, só colocar o nome da função e na frente dos nomes das colunas acrescenta “Dados.”. Executando toda a função será gerado automaticamente uma pasta no excel.xlsx com o resultado do inventário florestal no processo de amostragem simples (Figura 24).

Figura 24 – Planilha gerada com os resultados para a amostragem aleatória simples.

|    | A   | B  |
|----|---|--|
| 1  | Variáveis   | Valores  |
| 2  | Média (m <sup>3</sup> /ha)  | 217.97   |
| 3  | Limite inferior do intervalo de confiança para média (m <sup>3</sup> /ha) | 199.07   |
| 4  | Limite superior do intervalo de confiança para média (m <sup>3</sup> /ha) | 236.87   |
| 5  | Total da população (m <sup>3</sup> )                                      | 9808.71  |
| 6  | Limite inferior do intervalo de confiança para o total (m <sup>3</sup> )  | 8958.10  |
| 7  | Limite superior do intervalo de confiança para o total (m <sup>3</sup> )  | 106593.25  |
| 8  | Erro padrão relativo (%)  | 8.67   |
| 9  | Área da população (ha)  | 45.00  |
| 10 | Erro da amostragem absoluto (m <sup>3</sup> /ha)                          | 18.90  |
| 11 | Erro padrão (m <sup>3</sup> /ha)  | 9.48   |
| 12 | Desvio padrão (m <sup>3</sup> /ha)  | 86.27  |
| 13 | Variância (m <sup>3</sup> /ha) <sup>2</sup>                               | 7442.20  |
| 14 | Variância da média (m <sup>3</sup> /ha) <sup>2</sup>                      | 89.78  |
| 15 | Variância da média relativa (%)   | 18.90  |
| 16 | Coefficiente de variação (%)  | 39.58  |
| 17 | Limite de erro da amostragem requerido                                    | 21.80  |
| 18 | Estimativa mínima de confiança (m <sup>3</sup> /ha)                       | 10.00  |
| 19 | Fator de correção   | 0.84   |
| 20 | Tamanho da amostra  | 55   |
| 21 | População   | é considerada finita   |
| 22 | Número total de unidades amostrais da população                           | 450  |
| 23 | Nível de significância (α)  | 0.05   |
| 24 | Observação  | Diante do exposto, conclui-se que os resultados obtidos na amostragem satisfazem as exigências de precisão estabelecidas para o inventário, ou seja, um erro de amostragem máximo de ±10% da média para confiabilidade designada.<br>O erro estimado foi menor que o limite fixado, assim as unidades amostrais são suficientes para o inventário. |
| 25 |   |  |

Fonte: Autor.

Para o resultado sair em Excel.xlsx a função do processo de amostragem aleatória simples o usuário deverá abrir a função na linha 9 (Figura 23). Após abrir a função deverá ir até o código da linha 82 que se refere a criação e exportação dos resultados do Excel.xlsx para o computador (Figura 25). Assim, o usuário terá que indicar o diretório que deseja salvar com o nome do arquivo. No exemplo do trabalho “1.xlsx”.

Figura 25 – Código para criar e indicar o local em que deseja salvar o resultado da amostragem aleatória simples em Excel.xlsx.

```

82 XLSX.writetable("F:/Version_09_07_21/iflorestal.jl/01.xlsx"), Dados=(collect(DataFrames.eachcol(AAS)),
83
84
85 DataFrames.names(AAS)), Resultados=(collect(DataFrames.eachcol(Resultados)),
86
87
88 DataFrames.names(Resultados))) #Exportar para o Excel

```

Fonte: Autor.

Na pasta de Excel gerada vem com duas planilhas de documento, uma denominada “Dados” está presente os dados brutos do inventário florestal e a segunda “Resultados” temos o resultado final do inventário florestal realizado pela amostragem aleatória simples, como demonstrado na Figura 24.

Os resultados são todos aqueles apresentados no exercício referente a amostragem aleatória simples entre as páginas 122 a 130 do livro de Inventário Florestal de Péllico Netto e Brena, (1997). Além do resultado ele traz na sua saída na forma escrita indicando se o inventário satisfaz ou não as exigências de precisão estabelecidas. A função completa pode ser observada em: <https://github.com/claitonnardini/Inventario-Florestal.jl>.

#### **4.1.2 Amostragem estratificada**

A função da amostragem estratificada pode ser observada na Figura 26. Para o uso dessa função é necessário habilitar os pacotes pré existentes em Julia (DataFrames, Statistics, Distributions, CSV e XLSX), que são fundamentais para importar, exportar e manipular o conjunto de dados que pode ser visualizado na linha 5 da função. Posterior na linha 9 a 266 se apresenta a função “Estratificada”, nela está presente toda a programação das equações escritas. Essa programação é responsável pelo processamento dos dados. Na amostragem estratificada para a realização do processamento é necessário realizar a chamada dos seguintes dados “Estrato”, “Unidade” e “Volume”.

Figura 26 – Função para executar o cálculo de amostragem estratificada.

```

002 - Amostragem estratificada.jl > ...
1 #Inventário Florestal
2 #Amostragem estratificada
3
4
5 using DataFrames, Statistics, Distributions, CSV, XLSX #Habilitar pacotes
6
7
8 #Função Estratificada: amostragem estratificada
9 > function Estratificada(Estrato, Unidade, Volume) #Determina a função...
266 end
267
268
269 #Processamento do inventário
270 #Importar dados
271 Dados = CSV.read("F:/Version_09_07_21/estratificada.csv", DataFrame)
272 #Informações necessárias
273 #Área da população
274 const area=45
275 #Número potencial de Unidades populacionais
276 const N = area/0.1
277 #Nível de significância ( $\alpha$ )
278 const alpha = 0.05
279 const EAR = 10 #Erro da amostragem requerido
280 #Unidade de medida da variável
281 Unidade = "m3/0.1 ha" #Alterar em função do inventário
282 #Conversor para a Unidade de área por hectare
283 Área_da_parcela=0.1
284 Conversor=1/Área_da_parcela
285 #Número potencial de Unidades por estrato
286 const nh1=7 #estrato I
287 const nh2=8 #estrato II
288 const nh3=7 #estrato III
289 #Estratificada(Estrato, Unidade, Volume)
290 Estratificada(Dados.Estrato, Dados.Unidade, Dados.Volume) #Saída dos dados

```

Fonte: Autor.

Para importar os dados em Julia o usuário terá que salvar o documento em Excel.csv. Os nomes das colunas devem ser denominados iguais a que estão na função caso ao contrário no momento que o usuário carregar os dados vai ocorrer erro. Após proceder esses passos o usuário poderá importar os dados para dentro de Julia. A importação dos dados pode ser feita pela indicação do diretório offline ou por meio endereço de um recurso (URL) que será indicado na linha 271.

O passo seguinte entre as linhas 272 a 283, é necessário informar dados básicos do inventário florestal pelo processo de amostragem estratificada como, área da população, número de unidades de amostragem da população, nível de significância, erro da amostragem

requerido e área de parcela. Na linha 284, apresenta-se o conversor, que é o cálculo para converter a área em hectares e os resultados das variáveis serem gerados em m<sup>3</sup>/ha. Nas linhas 286, 287 e 288 são indicados o número de cada estrato do inventário florestal.

O último passo para obter o resultado do inventário florestal é necessário executar o código da linha 290. Ele representa a forma de saída de dados executados na função “Estratificada” citada anteriormente. Nesse passo, diferentemente, do início da função, só colocar o nome da função e na frente dos nomes das colunas acrescenta “Dados.”. Executando toda a função será gerado automaticamente uma pasta no Excel.xlsx com o resultado do inventário florestal no processo de amostragem estratificada (Figura 27).

Figura 27 – Planilha gerada com os resultados para a amostragem estratificada.

|    | A   | B  |
|----|---|--|
| 1  | Variáveis   | Valores  |
| 2  | Média estratificada (m <sup>3</sup> /ha)                                  | 214.95   |
| 3  | Limite inferior do intervalo de confiança para Média (m <sup>3</sup> /ha) | 196.23   |
| 4  | Limite superior do intervalo de confiança para Média (m <sup>3</sup> /ha) | 233.68   |
| 5  | Total da população (m <sup>3</sup> )                                      | 9672.95  |
| 6  | Limite inferior do intervalo de confiança para o total (m <sup>3</sup> )  | 8830.37  |
| 7  | Limite superior do intervalo de confiança para o total (m <sup>3</sup> )  | 10515.54   |
| 8  | Área da população (ha)  | 45   |
| 9  | Erro da amostragem relativo (%)   | 8.71   |
| 10 | Erro da amostragem absoluto (m <sup>3</sup> /ha)                          | 18.72  |
| 11 | Erro padrão (m <sup>3</sup> /ha)  | 9.00   |
| 12 | Desvio padrão (m <sup>3</sup> /ha)  | 44.26  |
| 13 | Variância estrato I (m <sup>3</sup> /ha) <sup>2</sup>                     | 77.25  |
| 14 | Variância estrato II (m <sup>3</sup> /ha) <sup>2</sup>                    | 100.89   |
| 15 | Variância estrato III (m <sup>3</sup> /ha) <sup>2</sup>                   | 77.25  |
| 16 | Variância estratificada (m <sup>3</sup> /ha) <sup>2</sup>                 | 1958.93  |
| 17 | Variância da média relativa (%)   | 81.07  |
| 18 | Fator de correção   | 0.95   |
| 19 | Limite de erro da amostragem requerido                                    | 21.50  |
| 20 | Tamanho da amostra estrato I  | 10.89  |
| 21 | Tamanho da amostra estrato II   | 12.44  |
| 22 | Tamanho da amostra estrato III  | 10.89  |
| 23 | Tamanho da amostra  | 35   |
| 24 | População   | é considerada finita   |
| 25 | Observação  | Diante do exposto, conclui-se que os resultados obtidos na amostragem satisfazem as exigências de precisão estabelecidas para o inventário, ou seja, um erro de amostragem máximo de ±10% da Média para confiabilidade designada.<br>O erro estimado foi menor que o limite fixado, assim as Unidades amostrais são suficientes para o inventário. |
| 26 |   |  |
| 27 |   |  |
| 28 |   |  |

Fonte: Autor.

Para o resultado sair em Excel.xlsx a função do processo de amostragem estratificada o usuário deverá abrir a função na linha 9 (Figura 26). Após abrir a função deverá ir até o código da linha 259 que se refere a criação e exportação dos resultados em Excel.xlsx para o computador (Figura 28). Assim, o usuário terá que indicar o diretório que deseja salvar como o nome do arquivo. No exemplo do trabalho “02.xlsx”.

Figura 28 – Código para criar e indicar o local em que deseja salvar o resultado da amostragem estratificada em Excel.xlsx.

```

260 XLSX.writetable("F:/Version_09_07_21/Iflorestal.jl/02.xlsx"), Dados=(collect(DataFrames.eachcol(Dados)),
261
262 DataFrames.names(Dados)), Informações_do_inventário=(collect(DataFrames.eachcol(Informações_do_inventário)),
263
264 DataFrames.names(Informações_do_inventário)), Por_estrato=(collect(DataFrames.eachcol(Tabela)), DataFrames.names(Tabela)),
265
266 Anova_da_estratificação=(collect(DataFrames.eachcol(Anova_da_estratificação)),
267
268 DataFrames.names(Anova_da_estratificação)), Resultados=( collect(DataFrames.eachcol(Resultados)),
269
270 DataFrames.names(Resultados))) #Export to Excel

```

Fonte: Autor.

Na pasta de Excel gerada vem com cinco planilhas de documento. A primeira planilha denominada “Dados” está presente os dados brutos do inventário florestal. Segunda planilha denominada “Informações\_do\_inventário” estão todas informações necessária para a realização do inventário florestal. Na planilha três que está denominada “Por\_estrato” tem os valores da média, variância e erro padrão do volume para cada estrato. A planilha quatro denominada “Anova\_da\_estratificação” têm apresentado a tabela da análise de variância da estratificação dos estratos. Já na quinta planilha denominada “Resultados” temos o resultado final do inventário florestal realizado pela amostragem estratificada, como demonstrado na Figura 27.

Os resultados são todos aqueles apresentados no exercício referente a amostragem estratificada entre as páginas 150 a 157 do livro de Inventário Florestal de Péllico Netto e Brena, (1997). Além do resultado ele ainda traz em sua saída na forma escrita indicando se o inventário satisfaz ou não as exigências de precisão estabelecidas. A função completa pode ser observada em: <https://github.com/claitonnardini/Inventario-Florestal.jl>.

### 4.1.3 Amostragem sistemática

A função da amostragem sistemática pode ser observada na Figura 29. Para o uso processo dessa amostragem foi necessário primeiramente habilitar os pacotes pré existentes em Julia (DataFrames, Statistics, Distributions, CSV e XLSX), que são fundamentais para

importar, exportar e manipular o conjunto de dados que pode ser visualizado na linha 5 da função. Posterior na linha 9 a 83 se apresenta a função “Sistemática”, nela está presente toda a programação das equações escritas. Essa programação é responsável pelo processamento dos dados. Na amostragem sistemática a chamadas dos dados somente é necessário adicionar “Dados”.

Figura 29 – Função para executar o cálculo de amostragem sistemática.

```

003 - Amostragem sistemática.jl > ...
1  #Inventário Florestal
2  #Amostragem sistemática
3
4
5  using DataFrames, Statistics, Distributions, CSV, XLSX #Habilitar pacotes
6
7  #Função Sistemática: amostragem sistemática
8
9  > function Sistemática(Dados) #Determinar função...
83 end
84
85
86 #Processamento do inventário
87 #Importar dados
88 Dados = CSV.read("F:/Version_09_07_21/sistemática.csv", DataFrame)
89 #Informações necessárias
90 #Área da população
91 const area = 45
92 #Número potencial de unidades populacionais
93 const N = area/0.1
94 #Nível de significância (α)
95 const alpha = 0.05
96 const EAR = 10 #Erro da amostragem requerido
97 #Unidade de medida da variável
98 Unidade = "m²/0.1 ha" #Alterar em função do inventário
99 #Conversor para a unidade de área por hectare
100 Área_da_parcela=0.1
101 Conversor=1/Área_da_parcela
102 #function Sistemática(Dados)
103 Sistemática(Dados) #Saída dos dados

```

Fonte: Autor.

Para importar os dados para Julia o usuário terá que salvar o documento em Excel.csv. Os nomes das colunas devem ser denominados (I, II, III, IV, V, etc.), caso ao contrário no momento que o usuário carregar os dados vai ocorrer erro. Após proceder esses passos o usuário poderá importar os dados para dentro de Julia. A importação pode ser feita pela indicação do diretório offline ou por meio do endereço de um recurso (URL) que será indicado na linha 88.



Para o resultado sair em Excel.xlsx a função do processo de amostragem sistemática o usuário deverá abrir a função na linha 9 (Figura 29). Após abrir a função deverá ir até o código da linha 80 que se refere a criação e exportação dos resultados em Excel.xlsx para o computador (Figura 31). Assim, o usuário terá que indicar o diretório que deseja salvar como o nome do arquivo. No exemplo do trabalho “03.xlsx”.

Figura 31 – Código para criar e indicar o local em que deseja salvar o resultado da amostragem sistemática em Excel.xlsx.

```

81 XLSX.writetable(("F:/Version_09_07_21/iflorestal.jl/03.xlsx"), Dados=( collect(DataFrames.eachcol(Conjunto_de_dados)),
82
83
84 DataFrames.names(Conjunto_de_dados)), Analise_descritiva=( collect(DataFrames.eachcol(Tabela)), DataFrames.names(Tabela)),
85
86
87 Resultados=( collect(DataFrames.eachcol(Resultados)), DataFrames.names(Resultados))) #Exportar para o Excel

```

Fonte: Autor.

Na pasta de Excel gerada vem com três planilhas de documento. A primeira planilha denominada “Dados” está presente os dados brutos do inventário florestal. Segunda planilha denominada “Analise\_descritiva” estão o resultado da análise estatística do inventário florestal na faixa. Na planilha três denominada “Resultados” temos o resultado final do inventário florestal realizado pela amostragem sistemática, como demonstrado na Figura 30.

Os resultados são todos aqueles apresentados no exercício referente a amostragem sistemática entre as páginas 176 a 179 do livro de Inventário Florestal de Péllico Netto e Brena, (1997). Além do resultado ele ainda tem em sua saída na forma escrita indicando se o inventário satisfaz ou não as exigências de precisão estabelecidas. A função completa pode ser observada em: <https://github.com/claitonnardini/Inventario-Florestal.jl>.

#### 4.1.4 Amostragem em dois estágios

A função da amostragem em dois estágios pode ser observada na Figura 32. Para o uso processo dessa amostragem foi necessário primeiramente habilitar os pacotes pré existentes em Julia (DataFrames, Statistics, Distributions, CSV e XLSX), que são fundamentais para importar, exportar e manipular o conjunto de dados que pode ser visualizado na linha 5 da função. Posterior na linha 9 a 205 se apresenta a função “Dois\_estagios”, nela está presente toda a programação das equações escritas. Essa programação é responsável pelo processamento

dos dados. Na amostragem em dois estágios a chamadas dos dados somente é necessário adicionar “Dados”.

Figura 32 – Função para executar o cálculo de amostragem em dois estágios.

```

004 - Amostragem em dois estágios.jl > ...
1  #Inventário Florestal
2  #Amostragem em dois estágios
3
4
5  using DataFrames, Statistics, Distributions, CSV, XLSX #Habilitar pacotes
6
7
8  #Função Dois_estagios: amostragem em dois estágios
9  > function Dois_estagios(Dados) #Determina a função...
205 end
206
207
208 #Processamento do inventário
209 #Importar dados
210 Dados = CSV.read("F:/Version_09_07_21/dois_estagios.csv", DataFrame)
211 #Informações necessárias
212 #Área da população
213 const area = 1000000
214 #Número potencial de unidades secundárias por primárias
215 const M = 40000
216 #Número potencial de unidades primárias
217 const N = area/10000
218 #Nível de significância (α)
219 const alpha = 0.05
220 const EAR = 10 #Erro da amostragem requerido
221 #Unidade de medida da variável
222 Unidade = "m³/0.25 ha" #Alterar em função do inventário
223 #Conversor para a unidade de área por hectare
224 Área_da_parcela = 0.25
225 Conversor = 1/Área_da_parcela
226 #function Dois_estagios(Dados)
227 Dois_estagios(Dados) #Saída dos dados

```

Fonte: Autor.

Para importar os dados para Julia o usuário terá que salvar o documento em Excel.csv. Os nomes das colunas devem ser denominados (I, II, III, IV, V, etc.), caso contrário no momento que o usuário carregar os dados vai ocorrer erro. Após proceder esses passos o usuário poderá importar os dados para dentro de Julia. A importação pode ser feita pela indicação do diretório offline ou por meio do endereço de um recurso (URL) que será indicado na linha 210.

O passo seguinte entre as linhas 211 a 222, é necessário informar dados básicos do inventário florestal pelo processo de amostragem em dois estágios como, área da população,

número potencial de unidades secundárias por primárias, número potencial de unidades primárias, nível de significância, erro da amostragem requerido e área de parcela. Na linha 225, apresenta-se o conversor, que é cálculo para converter a área em hectares e os resultados das variáveis serem gerados em m<sup>3</sup>/ha.

O último passo para obter o resultado do inventário florestal é necessário executar o código da linha 227. Ele representa a forma de saída de dados executados na função “Dois\_estagios” citada anteriormente. Executando toda a função será gerado automaticamente uma pasta no formato Excel.xlsx com o resultado do inventário florestal no processo de amostragem em dois estágios (Figura 33).

Figura 33 – Planilha gerada com os resultados para a amostragem em dois estágios.

|    | A   | B  |
|----|---|--|
| 1  | Variáveis   | Valores  |
| 2  | Média (m <sup>3</sup> /ha)  | 223.51   |
| 3  | Limite inferior do intervalo de confiança para média (m <sup>3</sup> /ha) | 201.43   |
| 4  | Limite superior do intervalo de confiança para média (m <sup>3</sup> /ha) | 245.58   |
| 5  | Total da população (m <sup>3</sup> )                                      | 223509259.26   |
| 6  | Limite inferior do intervalo de confiança para o total (m <sup>3</sup> )  | 201434006.05   |
| 7  | Limite superior do intervalo de confiança para o total (m <sup>3</sup> )  | 245584512.47   |
| 8  | Área da população (ha)  | 1000000.00   |
| 9  | Erro da amostragem relativo (%)   | 9.88   |
| 10 | Erro da amostragem absoluto (m <sup>3</sup> /ha)                          | 22.08  |
| 11 | Erro padrão (m <sup>3</sup> /ha)  | 10.87  |
| 12 | Variância dentro das unidades (m <sup>3</sup> /ha) <sup>2</sup>           | 2142.55  |
| 13 | Variância entre unidades (m <sup>3</sup> /ha) <sup>2</sup>                | 1104.91  |
| 14 | Estimativa da Variância (m <sup>3</sup> /ha) <sup>2</sup>                 | 3247.46  |
| 15 | Variância da média da população (m <sup>3</sup> /ha) <sup>2</sup>         | 29.56  |
| 16 | Limite do erro de amostragem requerido                                    | 22.35  |
| 17 | Fator de correção   | 0.64   |
| 18 | População   | é considerada finita   |
| 19 | Tamanho da amostra  | 35   |
| 20 | Número total de unidades secundárias por unidade primária                 | 40000  |
| 21 | Número potencial de unidades primárias                                    | 100  |
| 22 | Número de unidades primárias  | 36   |
| 23 | Número de unidades secundárias  | 6  |
| 24 | Nível de significância ( $\alpha$ )                                       | 0.05   |
| 25 | Observação  | Diante do exposto, conclui-se que os resultados obtidos na amostragem satisfazem as exigências de precisão estabelecidas para o inventário, ou seja, um erro de amostragem máximo de $\pm 10\%$ da média para confiabilidade designada.<br>O erro estimado foi menor que o limite fixado, assim as unidades amostrais são suficientes para o inventário. |
| 26 |   |  |
| 27 |   |  |
| 28 |   |  |

Fonte: Autor.

Para o resultado sair em Excel.xlsx a função do processo de amostragem em dois estágios o usuário deverá abrir a função na linha 9 (Figura 32). Após abrir a função, deverá ir até o código da linha 202 que se refere a criação e exportação dos resultados em Excel.xlsx para o computador (Figura 34). Assim, o usuário terá que indicar o diretório que deseja salvar como o nome do arquivo. No exemplo do trabalho “04.xlsx”.

Figura 34 – Código para criar e indicar o local em que deseja salvar o resultado da amostragem em dois estágios em Excel.xlsx.

```

203 XLSX.writetable(("F:/Version_09_07_21/iflorestal.jl/04.xlsx"), Dados=(collect(DataFrames.eachcol(Dados)),
204
205 DataFrames.names(Dados)), Analise_descritiva=(collect(DataFrames.eachcol(Tabela)), DataFrames.names(Tabela)),
206
207 Resultados=(collect(DataFrames.eachcol(Resultados)), DataFrames.names(Resultados))) #Exportar para o Excel
208
209

```

Fonte: Autor.

Na pasta de Excel gerada, vem com três planilhas de documento. A primeira planilha denominada “Dados” está presente os dados brutos do inventário florestal. Segunda planilha denominada “Analise\_descritiva” estão o resultado da análise estatística do inventário florestal na unidade primária. Na planilha três denominada “Resultados” temos o resultado final do inventário florestal realizado pela amostragem em dois estágios, como demonstrado na Figura 33.

Os resultados são todos aqueles apresentados no exercício referente a amostragem em dois estágios entre as páginas 192 a 200 do livro de Inventário Florestal de Péllico Netto e Brena, (1997). Além do resultado ele traz em sua saída na forma escrita indicando se o inventário satisfaz ou não as exigências de precisão estabelecidas. A função completa pode ser observada em: <https://github.com/claitonnardini/Inventario-Florestal.jl>.

#### 4.1.5 Amostragem em conglomerados

A função da amostragem em conglomerados pode ser observada na Figura 35. Para o uso processo dessa amostragem foi necessário primeiramente habilitar os pacotes pré existentes em Julia (DataFrames, Statistics, Distributions, CSV e XLSX), que são fundamentais para importar, exportar e manipular o conjunto de dados que pode ser visualizado na linha 5 da função. Posterior na linha 9 a 177 se apresenta a função “Conglomerados”, nela está presente toda a programação das equações escritas. Essa programação é responsável pelo processamento

dos dados. Na amostragem conglomerados a chamada dos dados somente é necessário adicionar “Dados”.

Figura 35 – Função para executar o cálculo de amostragem em conglomerados.

```

005 - Amostragem em conglomerados.jl > Conglomerados
1  #Inventário Florestal
2  #Amostragem em conglomerados
3
4
5  using DataFrames, Statistics, Distributions, CSV, XLSX #Habilitar pacotes
6
7
8  #Função Conglomerados: amostragem em conglomerados
9  > function Conglomerados(Dados) #Determina a função...
177 end
178
179
180 #Processamento do inventário
181 #Importar dados
182 Dados = CSV.read("F:/Version_09_07_21/conglomerados.csv", DataFrame)
183 #Informações necessárias
184 #Área da população
185 const area = 4000
186 #Número potencial de unidades populacionais
187 const N = area
188 #Nível de significância (α)
189 const alpha = 0.05
190 const EAR = 10 #Erro da amostragem requerido
191 #Unidade de medida da variável
192 Unidade = "m³/0.25 ha" #Alterar em função do inventário
193 #Conversor para a unidade de área por hectare
194 Área_da_parcela=0.25
195 Conversor=1/Área_da_parcela
196 #function Conglomerados(Dados)
197 Conglomerados(Dados) #Saída dos dados

```

Fonte: Autor.

Para importar os dados para Julia o usuário terá que salvar o documento em Excel.csv. Os nomes das colunas devem ser denominados (I, II, III, IV, V, etc.), caso ao contrário no momento que o usuário carregar os dados vai ocorrer erro. Após proceder esses passos o usuário poderá importar os dados para dentro de Julia. A importação pode ser feita pela indicação do diretório offline ou por meio endereço de um recurso (URL) que será indicado na linha 182.

O passo seguinte entre as linhas 183 a 194, é necessário informar dados básicos do inventário florestal pelo processo de amostragem em conglomerados como, área da população, número potencial de unidades populacionais, nível de significância, erro da amostragem

requerido e área de parcela. Na linha 195, apresenta-se o conversor, que é cálculo para converter a área em hectares e os resultados das variáveis serem gerados em m<sup>3</sup>/ha.

O último passo para obter o resultado do inventário florestal é necessário executar o código da linha 197. Ele representa a forma de saída de dados executados na função “Conglomerados” citada anteriormente. Executando toda a função será gerado automaticamente uma pasta no formato Excel.xlsx com o resultado do inventário florestal no processo de amostragem em conglomerados (Figura 36).

Figura 36 – Planilha gerada com os resultados para a amostragem em conglomerados.

| A   | B   |
|---|---|
| Variáveis   | Valores   |
| Média (m <sup>3</sup> /ha)  | 256,99  |
| Limite inferior do intervalo de confiança para média (m <sup>3</sup> /ha) | 248,88  |
| Limite superior do intervalo de confiança para média (m <sup>3</sup> /ha) | 277,85  |
| Total da população (m <sup>3</sup> )                                      | 1027968,00  |
| Limite inferior do intervalo de confiança para o total (m <sup>3</sup> )  | 944537,45   |
| Limite superior do intervalo de confiança para o total (m <sup>3</sup> )  | 1111398,55  |
| Área da população (ha)  | 4000,00   |
| Erro padrão relativo (%)  | 8,12  |
| Erro da amostragem absoluto (m <sup>3</sup> /ha)                          | 20,86   |
| Erro padrão (m <sup>3</sup> /ha)  | 10,11   |
| Variância dentro dos conglomerados (m <sup>3</sup> /ha) <sup>2</sup>      | 10277,24  |
| Variância entre conglomerados (m <sup>3</sup> /ha) <sup>2</sup>           | 7839,05   |
| Variância da população por subunidade (m <sup>3</sup> /ha) <sup>2</sup>   | 0,10  |
| Variância da população total (m <sup>3</sup> /ha) <sup>2</sup>            | 7026,32   |
| Variância da média (m <sup>3</sup> /ha) <sup>2</sup>                      | 102,13  |
| Coefficiente de correlação intraconglomerados                             | 0,10  |
| Fração da amostragem  | 17,04   |
| Limite do erro de amostragem requerido                                    | 25,70   |
| Número de unidades primárias  | 25,00   |
| Número de unidades secundárias  | 4,00  |
| Nível de significância ( $\alpha$ )                                       | 0,05  |
| Observação  | Diante do exposto, conclui-se que os resultados obtidos na amostragem satisfazem as exigências de precisão estabelecidas para o inventário, ou seja, um erro de amostragem máximo de $\pm 10\%$ da média para confiabilidade designada. O erro estimado foi menor que o limite fixado, assim as unidades amostrais são suficientes para o inventário. |

Fonte: Autor.

Para o resultado sair em Excel.xlsx a função do processo de amostragem em conglomerados o usuário deverá abrir a função na linha 9 (Figura 35). Após abrir a função, deverá ir até o código da linha 175 que se refere a criação e exportação dos resultados em

Excel.xlsx para o computador (Figura 37). Assim, o usuário terá que indicar o diretório que deseja salvar como o nome do arquivo. No exemplo do trabalho “05.xlsx”.

Figura 37 – Código para criar e indicar o local em que deseja salvar o resultado da amostragem em conglomerados em Excel.xlsx.

```

175 XLSX.writetable(("F:/Version_09_07_21/iflorestal.jl/05.xlsx"),
176
177
178 Dados=(collect(DataFrames.eachcol(Dados)), DataFrames.names(Dados)),
179
180
181 Analise_descritiva=(collect(DataFrames.eachcol(Tabela)), DataFrames.names(Tabela)),
182
183
184 Resultados=(collect(DataFrames.eachcol(Resultados)), DataFrames.names(Resultados)) #Exportar para o Excel

```

Fonte: Autor.

Na pasta de Excel gerada vem com três planilhas de documento. A primeira planilha denominada “Dados” está presente os dados brutos do inventário florestal. Segunda planilha denominada “Analise\_descritiva” estão o resultado da análise estatística do inventário florestal na unidade primária. Na planilha três denominada “Resultados” temos o resultado final do inventário florestal realizado pela amostragem em conglomerados, como demonstrado na Figura 36.

Os resultados são todos aqueles apresentados no exercício referente a amostragem em conglomerados entre as páginas 221 a 224 do livro de Inventário Florestal de Péllico Netto e Brena, (1997). Além do resultado ele ainda tem em sua saída na forma escrita indicando se o inventário satisfaz ou não as exigências de precisão estabelecidas. A função completa pode ser observada em: <https://github.com/claitonnardini/Inventario-Florestal.jl>.

#### 4.1.6 Amostragem sistemática com múltiplos inícios aleatórios

A função da amostragem sistemática em múltiplos inícios aleatórios podem ser observados na Figura 38. Para o uso processo dessa amostragem foi necessário primeiramente habilitar os pacotes pré existentes em Julia (DataFrames, Statistics, Distributions, CSV e XLSX), que são fundamentais para importar, exportar e manipular o conjunto de dados que pode ser visualizado na linha 5 da função. Posterior na linha 9 a 343 se apresenta a função “Multiplos\_inicios\_aleatorios”, nela está presente toda a programação das equações escritas. Essa programação é responsável pelo processamento dos dados. Na amostragem sistemática com múltiplos inícios aleatórios a chamadas dos dados somente é necessário adicionar “Dados”.

Figura 38 – Função para executar o cálculo de amostragem sistemática com múltiplos inícios aleatórios.

```

006 - Amostragem sistemática com múltiplos inícios aleatórios.jl > ...
1  #Inventário Florestal
2  #Amostragem sistemática com múltiplos inícios aleatórios
3
4
5  using DataFrames, Statistics, Distributions, CSV, XLSX #Habilitar pacotes
6
7
8  #Função Multiplos_inicios_aleatorios: amostragem sistemática com múltiplos inícios aleatórios
9  > function Multiplos_inicios_aleatorios(Dados) #Determina a função...
343 end
344
345
346 #Processamento do inventário
347 #Importar dados
348 Dados = CSV.read("F:/Version_09_07_21/mult_inic_alea.csv", DataFrame)
349 #Informações necessárias
350 #Área da população
351 const area = 13000
352 const N = 6.500
353 ##Nível de significância ( $\alpha$ )
354 const alpha = 0.05
355 const EAR = 10 #Erro da amostragem requerido
356 #Unidade de medida da variável
357 Unidade = "m³/0.25 ha" #Alterar em função do inventário
358 #Conversor para a unidade de área por hectare
359 Área_da_parcela=0.25
360 Conversor=1/Área_da_parcela
361 #function Multiplos_inicios_aleatorios(Dados)
362 Multiplos_inicios_aleatorios(Dados) #Saída dos dados

```

Fonte: Autor.

Para importar os dados para Julia o usuário terá que salvar o documento em Excel.csv. Os nomes das colunas devem ser denominados (I, II, III, IV, V, etc.), caso ao contrário no momento que o usuário carregar os dados vai ocorrer erro. Após proceder esses passos o usuário poderá importar os dados para dentro de Julia. A importação pode ser feita pela indicação do diretório offline ou por meio endereço de um recurso (URL) que será indicado na linha 348.

O passo seguinte entre as linhas 349 a 359, é necessário informar dados básicos do inventário florestal pelo processo de amostragem sistemática com múltiplos inícios aleatórios como, área da população, número potencial de unidades populacionais, nível de significância, erro da amostragem requerido e área de parcela. Na linha 360, apresenta-se o conversor, que é cálculo para converter a área em hectares e os resultados das variáveis serem todos em m³/ha.

O último passo para obter o resultado do inventário florestal é necessário executar o código da linha 362. Ele representa a forma de saída de dados executados na função “Multiplos\_inicios\_aleatorios” citado anteriormente. Executando toda a função será gerado

automaticamente uma pasta no formato Excel.xlsx com o resultado do inventário florestal no processo de amostragem sistemática com múltiplos inícios aleatórios (Figura 39).

Figura 39 – Planilha gerada com os resultados para a amostragem sistemática com múltiplos inícios aleatórios.

|    | A   | B  |
|----|---|--|
| 1  | Variáveis   | Valores  |
| 2  | Média (m <sup>3</sup> /ha)  | 199.08   |
| 3  | Limite inferior do intervalo de confiança para média (m <sup>3</sup> /ha) | 174.70   |
| 4  | Limite superior do intervalo de confiança para média (m <sup>3</sup> /ha) | 223.46   |
| 5  | Total da população (m <sup>3</sup> )                                      | 2588.06  |
| 6  | Limite inferior do intervalo de confiança para o total (m <sup>3</sup> )  | 2271.09  |
| 7  | Limite superior do intervalo de confiança para o total (m <sup>3</sup> )  | 2905.04  |
| 8  | Área da população (ha)  | 13000  |
| 9  | Erro da amostragem relativo (%)   | 12.25  |
| 10 | Erro da amostragem absoluto (m <sup>3</sup> /ha)                          | 24.38  |
| 11 | Erro padrão (m <sup>3</sup> /ha)  | 10.57  |
| 12 | Variância dentro dos conglomerados (m <sup>3</sup> /ha) <sup>2</sup>      | 1132.71  |
| 13 | Variância entre conglomerados (m <sup>3</sup> /ha) <sup>2</sup>           | 109.96   |
| 14 | Variância total (m <sup>3</sup> /ha) <sup>2</sup>                         | 1242.67  |
| 15 | Variância da média (m <sup>3</sup> /ha) <sup>2</sup>                      | 27.95  |
| 16 | Coefficiente de correlação intraconglomerados                             | 0.09   |
| 17 | Tamanho da amostra  | 13.50  |
| 18 | Limite do erro de amostragem requerido                                    | 19.91  |
| 19 | Número de conglomerados   | 9  |
| 20 | Número de subunidades   | 8  |
| 21 | Nível de significância (α)  | 0.05   |
| 22 | Observação  | Diante do exposto, conclui-se que os resultados obtidos na amostragem não satisfazem as exigências de precisão estabelecidas para o inventário, ou seja, um erro de amostragem máximo de ±10% da média para confiabilidade designada.<br>O erro estimado foi maior que o limite fixado, sendo recomendado incluir mais unidades amostrais no inventário. |
| 23 |   |  |
| 24 |   |  |
| 25 |   |  |
| 26 |   |  |

Fonte: Autor.

Para o resultado sair em Excel.xlsx a função do processo de amostragem sistemática com múltiplos inícios aleatórios o usuário deverá abrir a função na linha 9 (Figura 38). Após abrir a função, deverá ir até o código da linha 339 que se refere a criação e exportação dos resultados em Excel.xlsx para o computador (Figura 40). Assim, o usuário terá que indicar o diretório que deseja salvar como o nome do arquivo. No exemplo do trabalho “06.xlsx”.

Figura 40 – Código para criar e indicar o local em que deseja salvar o resultado da amostragem sistemática com múltiplos inícios aleatórios em Excel.xlsx.

```

339 XLSX.writetable(("F:/Version_09_07_21/iflorestal.jl/06.xlsx"),
340
341
342 Dados=(collect(DataFrames.eachcol(Dados)), DataFrames.names(Dados)),
343
344
345 Analise_descritiva=(collect(DataFrames.eachcol(Tabela)), DataFrames.names(Tabela)),
346
347
348 Resultados=(collect(DataFrames.eachcol(Resultados)), DataFrames.names(Resultados)) #Exportar para o Excel

```

Fonte: Autor.

Na pasta de Excel gerada vem com três planilhas de documento. A primeira planilha denominada “Dados” está presente os dados brutos do inventário florestal. Segunda planilha denominada “Analise\_descritiva” estão os resultados da análise estatística do inventário florestal na unidade primária. Na planilha três denominada “Resultados” temos o resultado final do inventário florestal realizado pela amostragem sistemática com múltiplos inícios aleatórios, como demonstrado na Figura 39.

Os resultados são todos aqueles apresentados no exercício referente a amostragem sistemática com múltiplos inícios aleatórios entre as páginas 231 a 234 do livro de Inventário Florestal de Péllico Netto e Brena, (1997). Além do resultado ele ainda tem em sua saída na forma escrita indicando se o inventário satisfaz ou não as exigências de precisão estabelecidas. A função completa pode ser observada em: <https://github.com/claitonnardini/Inventario-Florestal.jl>.

#### 4.1.7 Amostragem em múltiplas ocasiões

##### 4.1.7.1 Amostragem independente

A função da amostragem independente pode ser observada na Figura 41. O uso dessa função é necessário habilitar os pacotes pré existentes em Julia (DataFrames, Statistics, Distributions, CSV e XLSX), que são fundamentais para importar, exportar e manipular o conjunto de dados que pode ser visualizado na linha 5 da função. Posterior na linha 9 a 180 se apresenta a função “Independente”, nela está presente toda a programação das equações escritas. Essa programação é responsável pelo processamento dos dados. Na amostragem independente para a realização do processamento é necessário realizar a chamada dos seguintes dados (n, Ocasão\_1, Ocasão\_2).

Figura 41 – Função para executar o cálculo de amostragem múltiplas ocasiões: amostragem independente.

```

007 - Amostragem independente.jl > ...
1  #Inventário Florestal
2  #Amostragem independente
3
4
5  using DataFrames, Statistics, Distributions, CSV, XLSX #Habilitar pacotes
6
7
8  #Função independente: amostragem independente
9  > function Independente(n, Ocasiao_1, Ocasiao_2) #Determina a função...
180 end
181
182
183 #Processamento do inventário
184 #Importar dados
185 Dados = CSV.read("F:/Version_09_07_21/independente.csv", DataFrame)
186 #Informações necessárias
187 #Área da população na primeira ocasião
188 const N1 = 1500
189 #Área da população na segunda ocasião
190 const N2 = 1500
191 #Nível de significância (α)
192 const alpha = 0.05
193 #Unidade de medida da variável
194 Unidade = "m³/1 ha" #Alterar em função do inventário
195 #Conversor para a unidade de área por hectare
196 Área_da_parcela=1
197 Conversor=1/Área_da_parcela
198 #function Independente(n, Ocasiao_1, Ocasiao_2)
199 Independente(Dados.n, Dados.Ocasiao_1, Dados.Ocasiao_2) #Saída dos dados

```

Fonte: Autor.

Para importar os dados para Julia o usuário terá que salvar o documento em Excel.csv. Os nomes das colunas devem ser denominados iguais a que estão na função caso ao contrário no momento que o usuário carregar os dados vai ocorrer erro. Após proceder esses passos o usuário poderá importar os dados para dentro de Julia. A importação dos dados pode ser feita pela indicação do diretório offline ou por meio endereço de um recurso (URL) que será indicado na linha 185.

O passo seguinte entre as linhas 186 a 194, é necessário informar dados básicos do inventário florestal pelo processo de amostragem independente como, área da população da ocasião 1 e 2, nível de significância e área de parcela. Na linha 197, apresenta-se o conversor, que é cálculo para converter a área em hectares e os resultados das variáveis serem gerados em m<sup>3</sup>/ha.

O último passo para obter o resultado do inventário florestal é necessário executar o código da linha 199. Ele representa a forma de saída de dados executados na função “Independente” citada anteriormente. Nesse passo, diferentemente, do início da função, só colocar o nome da função e na frente dos nomes das colunas acrescenta “Dados.”. Executando toda a função será gerado automaticamente uma pasta no formato Excel.xlsx com o resultado do inventário florestal no processo de amostragem independente (Figura 42).

Figura 42 – Planilha gerada com os resultados para a amostragem múltiplas ocasiões: amostragem independente.

|    | A   | B         | C | D | E | F |
|----|---|-----------|---|---|---|---|
| 1  | Variáveis   | Valores   |   |   |   |   |
| 2  | Crescimento médio   | 48,21     |   |   |   |   |
| 3  | Limite inferior do intervalo de confiança para média (m <sup>3</sup> /ha) | 28,12     |   |   |   |   |
| 4  | Limite superior do intervalo de confiança para média (m <sup>3</sup> /ha) | 68,30     |   |   |   |   |
| 5  | Crescimento toral estimado (m <sup>3</sup> )                              | 72313,64  |   |   |   |   |
| 6  | Limite inferior do intervalo de confiança para o total (m <sup>3</sup> )  | 42177,13  |   |   |   |   |
| 7  | Limite superior do intervalo de confiança para o total (m <sup>3</sup> )  | 102450,14 |   |   |   |   |
| 8  | Área da população (ha)  | 1500,00   |   |   |   |   |
| 9  | Erro da amostragem relativo (%)   | 41,67     |   |   |   |   |
| 10 | Erro da amostragem absoluto (m <sup>3</sup> /ha)                          | 20,09     |   |   |   |   |
| 11 | Erro padrão (m <sup>3</sup> /ha)  | 10,10     |   |   |   |   |
| 12 | Variância da média (m <sup>3</sup> /ha) <sup>2</sup>                      | 102,11    |   |   |   |   |
| 13 |   |           |   |   |   |   |
| 14 |   |           |   |   |   |   |
| 15 |   |           |   |   |   |   |
| 16 |   |           |   |   |   |   |
| 17 |   |           |   |   |   |   |
| 18 |   |           |   |   |   |   |
| 19 |   |           |   |   |   |   |
| 20 |   |           |   |   |   |   |
| 21 |   |           |   |   |   |   |
| 22 |   |           |   |   |   |   |
| 23 |   |           |   |   |   |   |
| 24 |   |           |   |   |   |   |
| 25 |   |           |   |   |   |   |
| 26 |   |           |   |   |   |   |
| 27 |   |           |   |   |   |   |
| 28 |   |           |   |   |   |   |
| 29 |   |           |   |   |   |   |
| 30 |   |           |   |   |   |   |
| 31 |   |           |   |   |   |   |

Fonte: Autor.

Para o resultado sair em Excel.xlsx a função do processo de amostragem independente o usuário deverá abrir a função na linha 9 (Figura 41). Após abrir a função deverá ir até o código da linha 175 que se refere a criação e exportação dos resultados em Excel.xlsx para o

computador (Figura 43). Assim, o usuário terá que indicar o diretório que deseja salvar como o nome do arquivo. No exemplo do trabalho “07.xlsx”.

Figura 43 – Código para criar e indicar o local em que deseja salvar o resultado da amostragem independente em Excel.xlsx.

```

176 XLSX.writetable(("F:/Version_09_07_21/Iflorestal.jl/07.xlsx"), Dados=(collect(DataFrames.eachcol(Independente)),
177
178 DataFrames.names(Independente)), Primeira_ocasião=(collect(DataFrames.eachcol(Primeira_ocasião)),
180
181 DataFrames.names(Primeira_ocasião)), Segunda_ocasião=(collect(DataFrames.eachcol(Segunda_ocasião)),
182
183 DataFrames.names(Segunda_ocasião)), Crescimento_ou_mudança=(collect(DataFrames.eachcol(Mudança_crescimento)),
184
185 DataFrames.names(Mudança_crescimento))) #Exportar para o Excel
186
187
188

```

Fonte: Autor.

Na pasta de Excel gerada vem com quatro planilhas de documento. A primeira planilha denominada “Dados” está presente os dados brutos do inventário florestal. Segunda planilha denominada “Primeira\_ocasião” estão presentes os resultados do inventário na primeira ocasião do inventário. Na planilha três que está denominada “Segunda\_ocasião” estão presentes os resultados da segunda ocasião do inventário. A planilha quatro denominada “Crescimento\_ou\_mudança” se tem o resultado do inventário florestal e o incremento de volume da primeira ocasião para segunda ocasião, pela amostragem independente, como demonstrado na Figura 42.

Os resultados são todos aqueles apresentados no exercício referente a amostragem independente entre as páginas 244 a 249 do livro de Inventário Florestal de Péllico Netto e Brena, (1997). A função completa pode ser observada em: <https://github.com/claitonnardini/Inventario-Florestal.jl>.

#### 4.1.7.2 Amostragem com repetição total

A função da amostragem com repetição total pode ser observada na Figura 44. Para o uso dessa função é necessário habilitar os pacotes pré existentes em Julia (DataFrames, Statistics, Distributions, CSV e XLSX), que são fundamentais para importar, exportar e manipular o conjunto de dados que pode ser visualizado na linha 5 da função. Posterior na linha 9 a 212 se apresenta a função “ART”, nela está presente toda a programação das equações escritas. Essa programação é responsável pelo processamento dos dados. Na amostragem com

repetição total para a realização do processamento é necessário realizar a chamada dos seguintes dados (n, Ocasiao\_1, Ocasiao\_2).

Figura 44 – Função para executar o cálculo de amostragem múltiplas ocasiões: amostragem com repetição total.

```

008 - Amostragem com repetição total.jl > ...
1  #Inventário Florestal
2  #Amostragem com repetição total
3
4
5  using DataFrames, Statistics, Distributions, CSV, XLSX #Habilitar pacotes
6
7
8  #Função ART: amostragem com repetição total
9  > function ART(n, Ocasiao_1, Ocasiao_2) #Determina a função...
212 end
213
214
215 #Processamento do inventário
216 #Importar dados
217 Dados = CSV.read("F:/Version_09_07_21/ART.csv", DataFrame)
218 #Informações necessárias
219 #Área da população na primeira ocasião
220 const N1 =1500
221 #Área da população na segunda ocasião
222 const N2=1500
223 #Nível de significância ( $\alpha$ )
224 const alpha = 0.05
225 #Unidade de medida da variável
226 Unidade = "m³/1 ha" #Alterar em função do inventário
227 #Conversor para a unidade de área por hectare
228 Área_da_parcela=1
229 Conversor=1/Área_da_parcela
230 #function ART(n, Ocasiao_1, Ocasiao_2)
231 ART(Dados.n, Dados.Ocasiao_1, Dados.Ocasiao_2) #Saída dos dados

```

Fonte: Autor.

Para importar os dados para Julia o usuário terá que salvar o documento em Excel.csv. Os nomes das colunas devem ser denominados iguais a que estão na função caso ao contrário no momento que o usuário carregar os dados vai ocorrer erro. Após proceder esses passos o usuário poderá importar os dados para dentro de Julia. A importação dos dados pode ser feita pela indicação do diretório offline ou por meio endereço de um recurso (URL) que será indicado na linha 217.

O passo seguinte entre as linhas 218 a 226, é necessário informar dados básicos do inventário florestal pelo processo de amostragem com repetição total como, área da população da ocasião 1 e 2, nível de significância e área de parcela. Na linha 229, apresenta-se o conversor,

que é cálculo para converter a área em hectares e os resultados das variáveis serem gerados em  $\text{m}^3/\text{ha}$ .

O último passo para obter o resultado do inventário florestal é necessário executar o código da linha 231. Ele representa a forma de saída de dados executados na função “ART” citada anteriormente. Nesse passo, diferentemente, do início da função, só colocar o nome da função e na frente dos nomes das colunas acrescenta “Dados.”. Executando toda a função será gerado automaticamente uma pasta no formato Excel.xlsx com o resultado do inventário florestal no processo de amostragem com repetição total (Figura 45).

Figura 45 – Planilha gerada com os resultados para a amostragem múltiplas ocasiões: amostragem com repetição total.

|    | A   | B        | C | D | E | F |
|----|---|----------|---|---|---|---|
| 1  | Variáveis   | Valores  |   |   |   |   |
| 2  | Crescimento médio   | 39,19    |   |   |   |   |
| 3  | Limite inferior do intervalo de confiança para média ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) | 36,64    |   |   |   |   |
| 4  | Limite superior do intervalo de confiança para média ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) | 41,74    |   |   |   |   |
| 5  | Crescimento total estimado ( $\text{m}^3$ )                                     | 58784,33 |   |   |   |   |
| 6  | Limite inferior do intervalo de confiança para o total ( $\text{m}^3$ )         | 54964,91 |   |   |   |   |
| 7  | Limite superior do intervalo de confiança para o total ( $\text{m}^3$ )         | 62603,76 |   |   |   |   |
| 8  | Área da população (ha)  | 1500,00  |   |   |   |   |
| 9  | Erro da amostragem relativo (%)   | 6,50     |   |   |   |   |
| 10 | Erro da amostragem absoluto ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )                          | 2,55     |   |   |   |   |
| 11 | Erro padrão ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )  | 1,28     |   |   |   |   |
| 12 | Variância da média ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) <sup>2</sup>                      | 1,64     |   |   |   |   |
| 13 |   |          |   |   |   |   |
| 14 |   |          |   |   |   |   |
| 15 |   |          |   |   |   |   |
| 16 |   |          |   |   |   |   |
| 17 |   |          |   |   |   |   |
| 18 |   |          |   |   |   |   |
| 19 |   |          |   |   |   |   |
| 20 |   |          |   |   |   |   |
| 21 |   |          |   |   |   |   |
| 22 |   |          |   |   |   |   |
| 23 |   |          |   |   |   |   |
| 24 |   |          |   |   |   |   |
| 25 |   |          |   |   |   |   |
| 26 |   |          |   |   |   |   |
| 27 |   |          |   |   |   |   |
| 28 |   |          |   |   |   |   |
| 29 |   |          |   |   |   |   |
| 30 |   |          |   |   |   |   |
| 31 |   |          |   |   |   |   |

Fonte: Autor.

Para o resultado sair em Excel.xlsx a função do processo de amostragem com repetição total o usuário deverá abrir a função na linha 9 (Figura 44). Após abrir a função deverá ir até o

código da linha 207 que se refere a criação e exportação dos resultados em Excel.xlsx para o computador (Figura 46). Assim, o usuário terá que indicar o diretório que deseja salvar como o nome do arquivo. No exemplo do trabalho “08.xlsx”.

Figura 46 – Código para criar e indicar o local em que deseja salvar o resultado da amostragem com repetição total em Excel.xlsx.

```

208 XLSX.writetable(("F:/Version_09_07_21/Iflorestal.jl/08.xlsx"), Dados=(collect(DataFrames.eachcol(Dados)),
209
210
211 DataFrames.names(Dados)), Primeira_ocasião=(collect(DataFrames.eachcol(Primeira_ocasião)),
212
213
214 DataFrames.names(Primeira_ocasião)), Segunda_ocasião=(collect(DataFrames.eachcol(Segunda_ocasião)),
215
216
217 DataFrames.names(Segunda_ocasião)), Crescimento_ou_mudança=(collect(DataFrames.eachcol(Mudança_crescimento)),
218
219
220 DataFrames.names(Mudança_crescimento))) #Exportar para o Excel

```

Fonte: Autor.

Na pasta de Excel gerada vem com quatro planilhas de documento. A primeira planilha denominada “Dados” está presente os dados brutos do inventário florestal. Segunda planilha denominada “Primeira\_ocasião” estão presentes os resultados do inventário na primeira ocasião do inventário. Na planilha três que está denominada “Segunda\_ocasião” estão presentes os resultados da segunda ocasião do inventário. A planilha quatro denominada “Crescimento\_ou\_mudança” se tem o resultado do inventário florestal e o incremento de volume da primeira ocasião para segunda ocasião, pela amostragem com repetição total, como demonstrado na Figura 45.

Os resultados são todos aqueles apresentados no exercício referente a amostragem com repetição total entre as páginas 254 a 260 do livro de Inventário Florestal de Péllico Netto e Brena, (1997). A função completa pode ser observada em: <https://github.com/claitonnardini/Inventario-Florestal.jl>.

#### 4.1.7.3 Amostragem com repetição dupla

A função da amostragem com repetição dupla pode ser observada na Figura 47. O uso dessa função é necessário habilitar os pacotes pré existentes em Julia (DataFrames, Statistics, Distributions, CSV e XLSX), que são fundamentais para importar, exportar e manipular o conjunto de dados que pode ser visualizado na linha 5 da função. Posterior na linha 9 a 553 se apresenta a função “AD”, nela está presente toda a programação das equações escritas. Essa

programação é responsável pelo processamento dos dados. Na amostragem com repetição dupla para a realização do processamento é necessário realizar a chamada dos seguintes dados (n, Ocasiao\_1, Ocasiao\_2).

Figura 47 – Função para executar o cálculo de amostragem múltiplas ocasiões: amostragem com repetição dupla.

```

009 - Amostragem dupla.jl > ...
1  #Inventário Florestal
2  #Amostragem dupla
3
4
5  using DataFrames, Statistics, Distributions, CSV, XLSX #Habilitar pacotes
6
7
8  #Função AD: amostragem dupla
9  > function AD(n, Ocasiao_1, Ocasiao_2) #Determina a função...
553 end
554
555
556 #Processamento do inventário
557 #Importar dados
558 Dados = CSV.read("F:/Version_09_07_21/AD.csv", DataFrame)
559 #Informações necessárias
560 #Área da população
561 const N =500
562 #Nível de significância (α)
563 const alpha = 0.05
564 #Unidade de medida da variável
565 Unidade = "m³/1 ha" #Alterar em função do inventário
566 #Conversor para a unidade de área por hectare
567 Área_da_parcela=1
568 Conversor=1/Área_da_parcela
569 #function AD(n, Ocasiao_1, Ocasiao_2)
570 AD(Dados.n, Dados.Ocasiao_1, Dados.Ocasiao_2) #Saída dos dados

```

Fonte: Autor.

Para importar os dados para Julia o usuário terá que salvar o documento em Excel.csv. Os nomes das colunas devem ser denominados iguais a que estão na função caso ao contrário no momento que o usuário carregar os dados vai ocorrer erro. Após proceder esses passos o usuário poderá importar os dados para dentro de Julia. A importação dos dados pode ser feita pela indicação do diretório offline ou por meio endereço de um recurso (URL) que será indicado na linha 558.

O passo seguinte entre as linhas 559 a 567, é necessário informar dados básicos do inventário florestal pelo processo de amostragem com repetição dupla como, área da população da ocasião 1 e 2, nível de significância e área de parcela. Na linha 568, apresenta-se o conversor,

que é cálculo para converter a área em hectares e os resultados das variáveis serem gerados em  $m^3/ha$ .

O último passo para obter o resultado do inventário florestal é necessário executar o código da linha 570. Ele representa a forma de saída de dados executados na função “AD” citada anteriormente. Nesse passo, diferentemente, do início da função, só colocar o nome da função e na frente dos nomes das colunas acrescenta “Dados”. Executando toda a função será gerado automaticamente uma pasta no formato Excel.xlsx com o resultado do inventário florestal no processo de amostragem com repetição dupla (Figura 48).

Figura 48 – Planilha gerada com os resultados para a amostragem múltiplas ocasiões: amostragem com repetição dupla.

|    | A   | B        | C | D | E | F |
|----|---|----------|---|---|---|---|
| 1  | Variáveis   | Valores  |   |   |   |   |
| 2  | Crescimento médio   | 49,89    |   |   |   |   |
| 3  | Limite inferior do intervalo de confiança para média ( $m^3/ha$ ) | 42,06    |   |   |   |   |
| 4  | Limite superior do intervalo de confiança para média ( $m^3/ha$ ) | 57,73    |   |   |   |   |
| 5  | Total da população ( $m^2$ )                                      | 24947,35 |   |   |   |   |
| 6  | Limite inferior do intervalo de confiança para o total ( $m^2$ )  | 21030,41 |   |   |   |   |
| 7  | Limite superior do intervalo de confiança para o total ( $m^2$ )  | 28864,28 |   |   |   |   |
| 8  | Área da população (ha)  | 500,00   |   |   |   |   |
| 9  | Erro da amostragem relativo (%)                                   | 15,70    |   |   |   |   |
| 10 | Erro da amostragem absoluto ( $m^3/ha$ )                          | 7,83     |   |   |   |   |
| 11 | Erro padrão ( $m^3/ha$ )  | 3,94     |   |   |   |   |
| 12 | Variância média ( $m^3/ha$ ) <sup>2</sup>                         | 15,49    |   |   |   |   |
| 13 |   |          |   |   |   |   |
| 14 |   |          |   |   |   |   |
| 15 |   |          |   |   |   |   |
| 16 |   |          |   |   |   |   |
| 17 |   |          |   |   |   |   |
| 18 |   |          |   |   |   |   |
| 19 |   |          |   |   |   |   |
| 20 |   |          |   |   |   |   |
| 21 |   |          |   |   |   |   |
| 22 |   |          |   |   |   |   |
| 23 |   |          |   |   |   |   |
| 24 |   |          |   |   |   |   |
| 25 |   |          |   |   |   |   |
| 26 |   |          |   |   |   |   |
| 27 |   |          |   |   |   |   |
| 28 |   |          |   |   |   |   |
| 29 |   |          |   |   |   |   |
| 30 |   |          |   |   |   |   |
| 31 |   |          |   |   |   |   |

Fonte: Autor.

Para o resultado sair em Excel.xlsx a função do processo de amostragem com repetição dupla o usuário deverá abrir a função na linha 9 (Figura 47). Após abrir a função deverá ir até

o código da linha 548 que se refere a criação e exportação dos resultados em Excel.xlsx para o computador (Figura 49). Assim, o usuário terá que indicar o diretório que deseja salvar como o nome do arquivo. No exemplo do trabalho “09.xlsx”.

Figura 49 – Função para executar o cálculo de amostragem múltiplas ocasiões: amostragem com repetição dupla.

```

550 XLSX.writetable(("F:/Version_09_07_21/iflorestal.jl/09.xlsx"), Dados=(collect(DataFrames.eachcol(Dados)),
551
552
553 DataFrames.names(Dados)), Primeira_ocasião=(collect(DataFrames.eachcol(Primeira_ocasião)),
554
555
556 DataFrames.names(Primeira_ocasião)), Segunda_ocasião=(collect(DataFrames.eachcol(Segunda_ocasião)),
557
558
559 DataFrames.names(Segunda_ocasião)), Crescimento_ou_mudança=(collect(DataFrames.eachcol(Mudança_crescimento)),
560
561
562 DataFrames.names(Mudança_crescimento))) #Exportar para o Excel

```

Fonte: Autor.

Na pasta de Excel gerada vem com quatro planilhas de documento. A primeira planilha denominada “Dados” está presente os dados brutos do inventário florestal. Segunda planilha denominada “Primeira\_ocasião” estão presentes os resultados do inventário na primeira ocasião do inventário. Na planilha três que está denominada “Segunda\_ocasião” estão presentes os resultados da segunda ocasião do inventário. Na planilha quatro denominada “Crescimento\_ou\_mudança” se tem o resultado do inventário florestal e o incremento de volume da primeira ocasião para segunda ocasião, pela amostragem com repetição dupla, como demonstrado na Figura 48.

Os resultados são todos aqueles apresentados no exercício referente a amostragem com repetição dupla entre as páginas 272 a 281 do livro de Inventário Florestal de Péllico Netto e Brena, (1997). A função completa pode ser observada em: <https://github.com/claitonnardini/Inventario-Florestal.jl>.

#### 4.1.7.4 Amostragem com repetição parcial

A função da amostragem com repetição parcial pode ser observada na Figura 50. O uso dessa função é necessário habilitar os pacotes pré existentes em Julia (DataFrames, Statistics, Distributions, CSV e XLSX), que são fundamentais para importar, exportar e manipular o conjunto de dados que pode ser visualizado na linha 5 da função. Posterior na linha 9 a 616 se apresenta a função “ARP”, nela está presente toda a programação das equações escritas. Essa programação é responsável pelo processamento dos dados. Na amostragem com repetição

parcial para a realização do processamento é necessário realizar a chamada dos seguintes dados (Unidade, Subamostra, Ocasiao\_1, Ocasiao\_2).

Figura 50 – Função para executar o cálculo de amostragem múltiplas ocasiões: amostragem com repetição parcial.

```

010 - Amostragem com repetição parcial.jl > ...
1  #Inventário Florestal
2  #Amostragem com repetição parcial
3
4
5  using DataFrames, Statistics, Distributions, CSV, XLSX #Habilitar pacotes
6
7
8  #Função ARP: amostragem com repetição parcial
9  > function ARP(Unidade, Subamostra, Ocasiao_1, Ocasiao_2) #Determina a função ...
616 end
617
618
619 #Processamento do inventário
620 #Importar dados
621 Dados = CSV.read("F:/Version_09_07_21/ARP.csv", DataFrame)
622 #Informações necessárias
623 #Área da população
624 const N = 1582
625 #Nível de significância (α)
626 const alpha = 0.05
627 #Unidade de medida da variável
628 Unidade = "m³/1 ha" #Alterar em função do inventário
629 #Conversor para a unidade de área por hectare
630 Área_da_parcela=1
631 Conversor=1/Área_da_parcela
632 #function ARP(Unidade, Subamostra, Ocasiao_1, Ocasiao_2)
633 ARP(Dados.Unidade, Dados.Subamostra, Dados.Ocasiao_1, Dados.Ocasiao_2) #Saída dos dados

```

Fonte: Autor.

Para importar os dados para Julia o usuário terá que salvar o documento em Excel.csv. Os nomes das colunas devem ser denominados iguais a que estão na função caso ao contrário no momento que o usuário carregar os dados vai ocorrer erro. Após procedendo esses passos o usuário poderá importar os dados para dentro de Julia. A importação dos dados pode ser feita pela indicação do diretório offline ou por meio endereço de um recurso (URL) que será indicado na linha 621.

O passo seguinte entre as linhas 622 a 630, é necessário informar dados básicos do inventário florestal pelo processo de amostragem com repetição parcial como, área da população da ocasião 1 e 2, nível de significância e área de parcela. Na linha 631, apresenta-se o conversor, que é cálculo para converter a área em hectares e os resultados das variáveis serem gerados em m<sup>3</sup>/ha.

O último passo para obter o resultado do inventário florestal é necessário executar o código da linha 633. Ele representa a forma de saída de dados executados na função “ARP” citada anteriormente. Nesse passo, diferentemente, do início da função, só colocar o nome da função e na frente dos nomes das colunas acrescenta “Dados.”. Executando toda a função será gerado automaticamente uma pasta no formato Excel.xlsx com o resultado do inventário florestal no processo de amostragem com repetição parcial (Figura 51).

Figura 51 – Planilha gerada com os resultados para a amostragem múltiplas ocasiões: amostragem com repetição parcial.

|    | A   | B        | C | D | E | F |
|----|---|----------|---|---|---|---|
| 1  | Variáveis   | Valores  |   |   |   |   |
| 2  | Crescimento médio (m <sup>3</sup> /ha)                                    | 44,32    |   |   |   |   |
| 3  | Média direta da primeira ocasião (m <sup>3</sup> /ha)                     | 123,10   |   |   |   |   |
| 4  | Limite inferior do intervalo de confiança para média (m <sup>3</sup> /ha) | 21,75    |   |   |   |   |
| 5  | Limite superior do intervalo de confiança para média (m <sup>3</sup> /ha) | 25,90    |   |   |   |   |
| 6  | Crescimento total estimado (m <sup>3</sup> )                              | 46439,73 |   |   |   |   |
| 7  | Limite inferior do intervalo de confiança para o total (m <sup>3</sup> )  | 34413,52 |   |   |   |   |
| 8  | Limite superior do intervalo de confiança para o total (m <sup>3</sup> )  | 58465,93 |   |   |   |   |
| 9  | Erro da amostragem relativo (%)   | 25,90    |   |   |   |   |
| 10 | Erro da amostragem absoluto (m <sup>3</sup> /ha)                          | 7,60     |   |   |   |   |
| 11 | Erro padrão (m <sup>3</sup> /ha)  | 3,79     |   |   |   |   |
| 12 | Variância da média  | 32,19    |   |   |   |   |
| 13 | Coefficientes A   | 0,82     |   |   |   |   |
| 14 | Coefficiente B  | -0,95    |   |   |   |   |
| 15 | Coefficientes b   | 0,55     |   |   |   |   |
| 16 | Coefficiente c  | -0,21    |   |   |   |   |
| 17 |   |          |   |   |   |   |
| 18 |   |          |   |   |   |   |
| 19 |   |          |   |   |   |   |
| 20 |   |          |   |   |   |   |
| 21 |   |          |   |   |   |   |
| 22 |   |          |   |   |   |   |
| 23 |   |          |   |   |   |   |
| 24 |   |          |   |   |   |   |
| 25 |   |          |   |   |   |   |
| 26 |   |          |   |   |   |   |
| 27 |   |          |   |   |   |   |
| 28 |   |          |   |   |   |   |
| 29 |   |          |   |   |   |   |
| 30 |   |          |   |   |   |   |
| 31 |   |          |   |   |   |   |

Fonte: Autor.

Para o resultado sair em Excel.xlsx a função do processo de amostragem com repetição parcial o usuário deverá abrir a função na linha 9 (Figura 50). Após abrir a função deverá ir até o código da linha 611 que se refere a criação e exportação dos resultados em Excel.xlsx para o

computador (Figura 52). Assim, o usuário terá que indicar o diretório que deseja salvar como o nome do arquivo. No exemplo do trabalho “10.xlsx”.

Figura 52 – Função para executar o cálculo de amostragem múltiplas ocasiões: amostragem com repetição parcial.

```

612 XLSX.writetable(("F:/Version_09_07_21/iflorestal.jl/10.xlsx"), Dados=(collect(DataFrames.eachcol(ARP)), DataFrames.names(ARP)),
613
614
615 Informações_do_inventário=(collect(DataFrames.eachcol(Informações_do_inventário)), DataFrames.names(Informações_do_inventário)),
616
617
618 Primeira_ocasião=(collect(DataFrames.eachcol(Primeira_ocasião)), DataFrames.names(Primeira_ocasião)),
619
620
621 Segunda_ocasião=(collect(DataFrames.eachcol(Segunda_ocasião)), DataFrames.names(Segunda_ocasião)),
622
623
624 Crescimento_ou_mudança=(collect(DataFrames.eachcol(Mudança_crescimento)), DataFrames.names(Mudança_crescimento))) #Exportar para o Excel

```

Fonte: Autor.

Na pasta de Excel gerada vem com cinco planilhas de documento. A primeira planilha denominada “Dados” está presente os dados brutos do inventário florestal. Segunda planilha denominada “Informações\_do\_inventário” estão todas informações necessária para a realização do inventário florestal. Terceira planilha denominada “Primeira\_ocasião” estão presentes os resultados do inventário na primeira ocasião do inventário. Na planilha quatro que está denominada “Segunda\_ocasião” estão presentes os resultados da segunda ocasião do inventário. A planilha cinco denominada “Crescimento\_ou\_mudança” se tem o resultado do inventário florestal e o incremento de volume da primeira ocasião para segunda ocasião, pela amostragem com repetição parcial, como demonstrado na Figura 51.

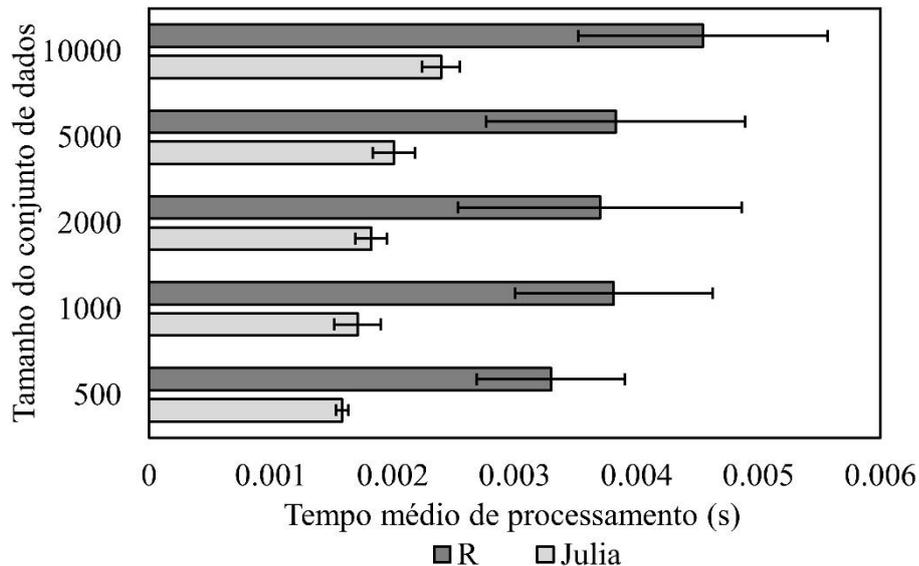
Os resultados são todos aqueles apresentados no exercício referente a amostragem com repetição parcial entre as páginas 292 a 300 do livro de Inventário Florestal de Péllico Netto e Brena, (1997). A função completa pode ser observada em: <https://github.com/claitonnardini/Inventario-Florestal.jl>.

## 4.2 TESTE POR BENCHMARK

A Figura 53 apresenta o tempo de processamento de dados com diferentes tamanhos de conjunto em linguagem Julia e R. No eixo x representa o tempo médio de processamento em segundo referente a 10 execuções da função e no eixo y representa os diferentes conjuntos de dados testados em linguagem Julia e R. Pode-se observa que Julia foi 51,9%, 55,1%, 50,7%, 47,2% e 47,3% menor no tempo de processamento de dados para os conjuntos de 500, 1000, 2000, 5000 e 10000 consequentemente em relação a R. Outro ponto a ser observado é que a

execução em Julia apresentou menor desvio padrão em relação ao R. R apresentou um desvio padrão de 91,7%, 76,5%, 89,1%, 83,5%, e 84,9% maior que Julia para os conjuntos de 500, 1000, 2000, 5000 e 10000 consequentemente.

Figura 53 – Tempo de processamento médio em segundos pelo teste de *benchmarks* para linguagem R e linguagem Julia com diferentes tamanhos de conjuntos de dados.



Fonte: Autor.

Mesmo Julia apresentando tempo de processamento meramente menor que R as duas linguagens demonstraram-se eficientes no processamento dos diferentes conjuntos de dados. O menor tempo em Julia pode estar atrelado ao fato dela ter na raiz da sua criação a compilação JIT ao contrário de R. A compilação por JIT possibilita que ocorra uma diminuição no tempo de processamento dos dados sucessivamente com o aumento do número de execução (SELLS, 2020). Desta forma, a linguagem Julia pode se tornar uma opção de uso para processamento de dados de forma eficiente quanto a R.

Testes de *benchmarks* somente são usados para apresentar uma indicação sobre a velocidade de processamento entre linguagens. Para uma análise mais rigorosa é necessário avaliar outros pontos como eficiência de processamento e memória utilizada pela linguagem. No entanto, segundo Weibezahn e Kendziorski (2019), testes de *benchmarks* são utilizados como solucionadores comerciais e de código aberto, dependendo dos problemas testados não são uma opção viável, pois fornecem apenas uma visão geral do problema.

#### 4.3 ESTADO-DA-ARTE DE JULIA EM INVENTÁRIO, DESAFIOS, OPORTUNIDADES E PERSPECTIVAS FUTURAS

O trabalho buscou escrever funções dos 10 processos de amostragem do inventário florestal presente no livro de Inventário Florestal de Péllico Netto e Brena, (1997) com uma nova linguagem de programação para área florestal que é Julia. Ao longo do trabalho foi demonstrado todas as informações sobre Julia, desde a instalação, uso de recursos básicos e avançados o mesmo foi descrito para o VScode, ambiente onde Julia foi utilizada. Foi demonstrado ao longo do trabalho também, todo o processo de programação para os processos de amostragem existentes do inventário florestal como o processamento dos mesmos.

Para os profissionais da engenharia florestal, quando se trabalha na área da programação pode-se apresentar uma linha de estudo difícil, pois os mesmos geralmente não apresentam o conhecimento básico sobre a área. Essa informação pode ser vista na diretriz curricular nacional do curso da Resolução nº 3, de 2 fevereiro de 2006, do Conselho Nacional de Educação (Brasil, 2006). A matéria mais próxima a área é a informática básica vista no início do curso. Outras matérias envolvendo estatística, experimentação, inventário florestal e sistemas de informação geográfica também são apresentados alguns *softwares* que são usados como auxílio nos cálculos, mas nada avançado que chega a um método de programação.

O trabalho aproximou o conhecimento acadêmico com o profissional da engenharia florestal ao conhecimento da programação, utilizando-se desta forma, a linguagem Julia. Como comentado ao longo do trabalho Julia foi desenvolvida por estudantes do MIT que queriam uma linguagem de código aberto, velocidade superior a C e tão fácil para estatística quanto R, que atualmente é um dos *softwares* mais utilizado na ciência florestal.

Utilizamos Julia não para ser competidora de R, mas para ser uma nova opção de linguagem que venha para contribuir com a melhor formação dos estudantes como proporcionar ao profissional uma tecnologia de programação para seus trabalhos. Como pensado por seus criadores Julia tem a proposta de apresentar uma sintaxe mais fácil que qualquer outra linguagem existente o que facilita no aprendizado de programação. No entanto, esse item não se refere que o usuário não terá que ter conhecimento básico em programação para ao menos ter capacidade de processar as funções.

Para o usuário da área de ciência florestal aprender a programar e inserir a linguagem de programação Julia em suas pesquisas pode-se dizer que ele vai enfrentar dois principais desafios. O primeiro desafio está relacionado a material de aprendizado e pesquisa para sua revisão bibliográfica para começar a programar. Julia por ser uma linguagem considerada nova

e ter sido desenvolvida fora do Brasil, a maioria dos seus trabalhos são escritos em inglês. No Brasil, ainda que existem trabalhos com Julia, quando comparado a outras linguagens já consolidadas uma boa totalidade dos documentos também estão em inglês. Situações como essa para pessoas que não tem afinidade com esta língua pode se tornar um empecilho no momento de aprendizagem da linguagem. Por outro lado, essa situação pode-se tornar oportunidades para pesquisadores e usuários brasileiro de Julia desenvolverem mais trabalhos com a linguagem, mas em escritas em português.

O segundo desafio seria a inserção de uma nova linguagem não só na área da ciência florestal, mas em toda a ciências agrárias. Em toda a evolução de usos de *softwares* nessa área sempre houve uma forma de resistência na migração para novas linguagens, levando a inserção de uma nova linguagem demorar um certo tempo para entrar com uso mais abrangente. Num breve histórico de uso de linguagens podemos observar isso. A primeira linguagem a ser utilizada foi o Fortran, e mesmo assim era poucas pessoas que tinham conhecimento para seu uso. Entre as décadas de 60 e 90 surgiu outras linguagens como o SOCRATES e SAEG muito utilizado na década de 90. No entanto, o SAS que surgiu em 1970, foi utilizado com maior abrangência na ciência florestal a partir da década de 2000. A linguagem R, que é atualmente a mais utilizada até o momento foi desenvolvida em 1993, porém ganhou espaço somente em meados de 2015. Com isso, podemos observar que a inclusão de uma nova linguagem é demorada, pois existem várias à disposição e o pesquisador após aprender a utilizar uma fica com anseio de trocar por outra pelo simples fato do aprendizado da programação.

Em Julia o usuário terá a oportunidade de aprender a programar e saber o que está processando, não somente habilitar um simples pacote estatístico ou selecionar um botão, como é frequente realizado em outros *softwares* e linguagens utilizados na área da ciência florestal. Além disso, o trabalho proposto ajudará o usuário entender o que está sendo processado, pois todos os códigos das amostragens utilizados estão disponíveis para visualização possibilitando a diminuição de erros na hora do processamento levado pelo fato de ter acesso a programação responsável pelo mesmo. Esse fator pode ser levado para outras áreas de estudo.

Sabe-se que mesmo Julia se apresentar uma linguagem de fácil aprendizagem comparada as outras não reflete na migração direta de usuários das demais linguagens para ela. Geralmente novos usuários de Julia ainda utilizam a linguagem anterior a ela, ou seja, intercalam o trabalho em duas linguagens. Esse processo ocorre porque normalmente o mecanismo de trabalho já está totalmente organizado em uma única linguagem e para começar usar outra de forma exclusiva leva um determinado tempo para transição total. Assim, maioria dos usuários utilizam mais que uma linguagem de programação para suas atividades.

Com o conteúdo gerado e apresentado neste trabalho, é possível propor que ele seja utilizado em todos os segmentos da ciência florestal, no ensino, na pesquisa e nas empresas. Para que isso aconteça ainda se tem um longo caminho de trabalho para implementar de forma consolidada dentro desses eixos, visto as dificuldades que se tem em propor o uso de uma nova linguagem, como já comentado ao longo do texto.

Dentro deste contexto, ainda é válido propor trabalhos futuros como, ampliar as funcionalidades da API Para Cálculo das Amostragem em Inventário Florestal (Nardini et al. 2021) incluindo os métodos de amostragem de área fixa, Birttelich, Strand, Prodan e 3-P. Implementar cálculos relacionados a dendrometria florestal (estimação de volume de árvores, curvas de crescimento de árvores e análise de regressão). Criar funções relacionadas a inventários fitossociológicos, relacionando todas as análises de vegetação. Transformar as funções geradas em aplicativos desktop o que permitirá que possa ser compartilhado com aqueles que não sabem ou não querem aprender programar em Julia. Com isso pode ser que as funções alcancem um público mais amplo. Além, de incentivar a geração de matérias de introdução e uso da linguagem de programação Julia não só para pesquisas relacionadas a ciência florestal como em todas as áreas do conhecimento, em português para ter maior visibilidade no Brasil.

A evolução da tecnologia e o seu uso no agronegócio está em crescente avanço. Com isso, cresce também a demanda por profissionais da área. Em alguns setores do agronegócio os programadores já são essenciais para o desenvolvimento de tecnologias que otimizam operações e resolvem problemas. O trabalho é feito por meio da criação de *softwares* e aplicações de computadores por meio de linguagens de programação. Toda essa área de estudo gera um nível de pesquisa mais avançado para profissionais e acadêmicos das ciências agrárias e da engenharia florestal como é o caso do trabalho em questão. No entanto, é necessário o conhecimento básico na área.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um software para o processamento de dados das amostragens do inventário florestal baseado na linguagem de programação Julia. A programação realizada para o uso do software pode ser acessada na plataforma GitHub bem como todo o conjunto de dados utilizado como teste para o trabalho.

O uso da linguagem de programação Julia apresenta potencial para uso, tornando uma nova alternativa como linguagem de programação na ciência florestal.

O teste realizado por Benchmark no processo de amostragem aleatória simples mostrou que a linguagem de programação Julia se apresenta mais rápida no processamento dos dados quando comparada a linguagem R.

Julia pode se tornar uma linguagem acessível aos acadêmicos, pesquisadores e profissionais da ciência florestal, sem exigir alto grau de conhecimento em programação, o que torna potencialmente atraente para os mesmos. No entanto, é necessário que seja criada mais bibliotecas na área da ciência florestal possibilitando que seja tão usada como a linguagem R é atualmente.

Por fim, o objetivo geral do trabalho de escrever funções dos 10 processos de amostragens existentes no livro de inventário florestal de Péllico Netto e Brena (1997), usando a linguagem de programação Julia foi cumprido.

## REFERÊNCIAS

- BEZANSON, Jelf et al. Julia: A fast dynamic language for technical computing. **arXiv preprint arXiv:1209.5145**, v. 1, sep. 2012b. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1209.5145>. Acesso em: 31 de março 2022.
- BEZANSON, Jeff et al. Julia: A fresh approach to numerical computing. **SIAM review**, v. 59, n. 1, p. 65-98, feb, 2017. Disponível em: <https://pubs.siam.org/doi/abs/10.1137/141000671>. Acesso em: 01 de abril 2022.
- BEZANSON, Jeff et al. Why We Created Julia. 2012b. Disponível em: <https://julialang.org/blog/2012/02/why-we-created-julia/>. Acesso em: 08/10/2021.
- BEZERRA, Eduardo. **Princípios de Análise e Projeto de Sistemas com UML**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. 369 p. ISBN 85-352-1696-0.
- BUSANELLO, Marcos et al. Statistical techniques applied in three journals of agricultural sciences with a focus on animal science. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 36, n. 2, p. 454-472, jun, 2018 Disponível em: <https://biometria.ufla.br/index.php/BBJ/article/view/216>. Acesso em: 01 de abril 2022.
- BRASIL. Resolução n. 3, de 2 de fevereiro de 2006. **Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais para o curso de graduação em Engenharia Florestal e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, v. 1, n. 3, p. 33-34, 2 fev. 2006.
- COCHRAN, William Gemmel. **Sampling Techniques**. 2. ed. New York: John Willey & Sons, 1953. 304 p.
- CIENTEC. **Software Mata Nativa**. Disponível em: <http://www.matanativa.com.br/>. Acesso em: 25 de agosto 2022. 2022.
- Ermantraut, Joel et al. **Resolución del problema de la mochila mediante la metaheurística PSO acelerada con JAX**. In III Simposio Argentino de Informática Industrial e Investigación Operativa (SIIIO 2020)-JAIIO 49 (Modalidad virtual) 2020.
- FLORIANO, Eduardo Pagel. **Inventário Florestal**. 2º ed, Rio Largo, 2021. p. 146. ISBN 978-65-00-26132-5.
- GAO, Kaifeng et al. Julia language in machine learning: Algorithms, applications, and open issues. **Computer Science Review**, v. 37, p. 100254, aug, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S157401372030071X>. Acesso em: 31 de março 2022.
- GHILARDI, Casey. ForestBiometrics.jl in Julia. Apr, 2020. Disponível em: <https://github.com/Crghilardi/ForestBiometrics.jl>. Acesso em: 31 de março 2022.
- GIOTTO, Enio. **Análise da dinâmica de evolução cobertura florestal e sua quantificação por métodos e processos de amostragem em múltiplas ocasiões**. 1986. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 1986.

HUSCH, Bertram et al. **Forest mensuration**. 3. ed. New York, John Wiley & Sons, 1982, 402 p.

HUSSEIN, Abou\_el\_ela Abdou. Using hadoop technology to overcome big data problems by choosing proposed cost-efficient scheduler algorithm for heterogeneous hadoop system (BD3). **Journal of Scientific Research and Reports**, v. 26, n. 9, p. 58-84, 2020. Acesso em: 17 de janeiro 2023.

JULIA. **The Julia Language**. Disponível em: <https://juliahub.com/>. Acesso em 24 de maio 2022. 2022.

JULIA. **The Fast Track to. A quick and dirty overview of Julia 1.0**. Disponível em: <https://juliadocs.github.io/Julia-Cheat-Sheet/>. Acesso em: 25 de agosto 2022. 2022.

JULIAHUB. **JuliaHub**. Disponível em: <https://julia.org/>. Acesso em 23 de fevereiro 2023. 2023.

JULIAHUB. **Julia Used to Win Industrial Internet of Things (IIoT) Hackathon**. Disponível em: <https://julia.org/>. Acesso em 23 de fevereiro 2023. 2017.

KANGAS, A.; MALTAMO, M. v. 10. **Forest inventory: methodology and applications**. Springer Science & Business Media, 2006, 357 p.

KARPINSKI, Stefan. **The Julia Project and Its Entities**. feb, 2019. Disponível em: <https://julia.org/blog/2019/02/julia-entities/>. Acesso em: 01 de abril 2022.

KERSHAW JR. John A. et al. **Forest mensuration**. v. 5. John Wiley & Sons, 2016, 632 p. ISBN 978-1118902035

KÖHL, Michaek; MAGNUSSEN, Steen; MARCHETTI, Marco. **Sampling Methods, Remote Sensing and GIS Multiresource Forest Inventory**, 2006, 373 p. ISBN 978-3-540-32572-7

LAAR, Van Anthonie; AKÇA, Alparslan. **Forest mensuration**. v. 13. Springer Science & Business Media. 2007, 385 p. ISBN 978-9048174973

LAUWENS, Ben; DOWNEY, Allen B. **THINK JULIA: How to think like a computer scientist**. O'Reilly Media, 2019, 263 p.

LIANG, Xinlian et al. Terrestrial laser scanning in forest inventories. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 115, p. 63-77, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271616000204>. Acesso: 19 de agosto 2022

LOBIANCO, Antonello. **Interfacing Julia with other languages**. Apress, Berkeley, CA, 2019, 211 p. ISBN 978-1-4842-5190-4

LOETCH, Fritz; HALLER, Karl Eberhard; ZÖHRER, Fritz. **Forest inventory**. v 2. BLV. **Verlagsgeselll Schaft Munchen Bern Wein**, 1973, 905 p. ISBN 3405108128

- MARTINS, João Felipe Cardozo. **Métodos de aprendizagem de máquina aplicados na modelagem de biomassa de árvores usando a linguagem de programação Julia**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Do Paraná, Curitiba, PR. 2020.
- MARTINS, João Felipe Cardozo. et al. Modelagem hipsométrica de povoamentos de acácia-negra usando linguagem de programação Julia. **BIOFIX Scientific Journal**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 133-152, 2021. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/biofix/article/view/80323/43955>. Acesso em: 01 de abril 2022.
- MATOSAK, Bruno Menini; MEDEIROS, Nilcilene das Graças; RODRIGUES, F. A. F. **Filtro gaussiano adaptativo implementado em ambiente Julia**. XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia. 2017.
- NAZARATHY, Yoni; KLOK, Hayden. **Statistics with Julia**, Springer Series in the Data Sciences, 2021, 531 p. ISBN 978-3-030-70901-3.
- NARDINI, Claiton. et al. **API para cálculo das amostragens em inventário florestal**. Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Processo N°: BR512021002817-1. 2021
- PÉLLICO, Sylvio. Netto.; BRENA, Doádi. Antônio. **Inventário Florestal**. ed. 1. Curitiba, 1997. 316 p.
- R CORE TEAM. **A Language and Environment for Statistical Computing**. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 03 de outubro 2022.
- QUEIROZ, Waldenei Travassos de. **Amostragem em inventário florestal**. Belém, PA. Edefra, 2012. 441 p.
- SELLS, Ray. **Julia programming language benchmark using a flight simulation**. In: 2020 IEEE Aerospace Conference. 2020.
- SHIUE, Cherng. Jiann. et al. **Systematic sampling with multiple random starts**. Forest Science, v. 6, n. 1, p. 42-50, 1960. Disponível em: <https://academic.oup.com/forestscience/article-abstract/6/1/42/4746328?redirectedFrom=PDF>. Acesso em: 12 de dezembro 2021.
- SOARES, Carlos Pedro Boechat et al. **Dendrometria e Inventário Florestal**. ed. 1. Viçosa, 2006. 276 p. ISBN 85-7269-230-4.
- SOUZA, Deivison Vinicio et al. **Introdução ao R: Aplicações Florestais**. ed. 1. Curitiba, 2018. 137 p. ISBN 9788591735730.
- UZUN, Maria Luisa Cervi. O uso de uma metodologia ativa no ensino de estatística num curso tecnológico. **Revista Thema**, v. 16, n. 2, p. 256-266, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/1104>. Acesso: 19 de agosto 2022.
- WANDRESEN, Rafael Romualdo. **Software educacional para ensino de inventário florestal**. 183 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Do Paraná, Curitiba, 2014.

WEIBEZAHN, Jens; KENDZIORSKI, Mario. **Illustrating the benefits of openness: A large-scale spatial economic dispatch model using the julia language**. *Energies*, Berlin, v. 12, n. 6, p. 1153, mar, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/6/1153>. Acesso em: 01 de abril 2022.

XIAO, Lei. et al. **Julia Language in Computational Mechanics: A New Competitor**. *Archives of Computational Methods in Engineering*, Barcelona, p. 1-14, aug, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11831-021-09636-0>. Acesso em: 31 de março 2022.