

UFRRJ

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA,
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM AGROPECUÁRIA**

TESE

**Modelagem Matemática Aplicada a Recomendação de Uso
de Sistemas Agroflorestais Multiestratos Sucessionais pelo
Pequeno Agricultor no Bioma Cerrado**

Maria Aparecida Marques

2021



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E
INOVAÇÃO EM AGROPECUÁRIA**

**MODELAGEM MATEMÁTICA APLICADA A RECOMENDAÇÃO DE
USO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS MULTIESTRATOS
SUCCIONAIS PELO PEQUENO AGRICULTOR NO BIOMA
CERRADO**

MARIA APARECIDA MARQUES

Sob orientação de
Angel Ramon Sanchez Delgado

e co-orientação de
Lúcia Helena Cunha dos Anjos

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora** no Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária, Área de Concentração em Recursos Naturais e Proteção Ambiental.

Seropédica, RJ
Dezembro de 2021

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

MM357m Marques, Maria Aparecida, 1984-
Modelagem matemática aplicada a recomendação de uso de sistemas agroflorestais multiestratos sucessionais pelo pequeno agricultor no Bioma Cerrado / Maria Aparecida Marques. - Florianópolis, 2021.
153 f.: il.

Orientador: Angel Ramon Sanchez Delgado.
Coorientadora: Lúcia Helena Cunha dos Anjos.
Tese(Doutorado). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária, 2021.

1. Sistemas Agroflorestais. 2. Modelagem matemática . 3. Bioma Cerrado. 4. Agricultura familiar. I. Delgado, Angel Ramon Sanchez , 1956-, orient. II. dos Anjos, Lúcia Helena Cunha, 1957-, coorient. III Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária. IV. Título.

© 2021

Todos os direitos autorais reservados a Maria Aparecida Marques. A reprodução de partes ou do todo deste documento só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: mariamarquesadm@gmail.com

Este documento foi criado usando o sistema \LaTeX de preparação de documentos para composição de alta qualidade originalmente desenvolvido por Leslie Lamport a partir do sistema de formatação \TeX criado por Donald Knuth.

O formato final deste documento foi obtido usando a classe `UFRuralRJ`, uma adaptação livre das classes `mdtufsm` e `iiufrgs` para a formatação de documentos acadêmicos produzidos na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) de acordo com as recomendações contidas na terceira edição do *Manual de instruções para organização e apresentação de dissertações e teses na UFRRJ*, publicado no ano de 2006.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
EM AGROPECUÁRIA**

MARIA APARECIDA MARQUES

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora** no Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária, Área de Concentração em Recursos Naturais e Proteção Ambiental.

TESE APROVADA EM 17/12/2021.

Angel Ramon Sanchez Delgado. Dr. UFRRJ
(Orientador)

María Claudia Rodríguez. Dra. UNRC

Luiz Fernando Duarte de Moraes. Dr. Embrapa Agrobiologia

Sérgio Drumond Ventura. Dr. UFRRJ

Wanderlei Bieluczyk. Dr. CENA/USP

In Memoriam a querida colega do PPGCTIA, Ana Paula Pegorer de Siqueira. Que seu incentivo para o desenvolvimento desta Tese esteja presente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo privilégio de estar nesta vida, partilhando momentos com meus familiares e amigos. Pela saúde e o dom de gerar uma vida. Ao meu orientador por acreditar no potencial dessa ideia, que surgiu em uma de suas disciplinas, e por me ensinar e incentivar, estando sempre presente no processo do meu desenvolvimento. À minha coorientadora, que dedicada a excelência, sempre esteve presente em toda construção desta tese, me mostrando o caminho mais seguro de desenvolver um conhecimento. Ao meu marido (coorientador informal), por estar ao meu lado em todo esse processo, me motivando sempre na persistência do conhecimento disperso pronto para ser explorado e me mostrar caminhos possíveis para isso. Aos meus pais, principalmente minha mãe, por acreditar que eu posso sempre ir mais longe. Aos meus sogros, por cuidar do Davi na reta final desse processo. Também à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro por ser uma instituição que visa o crescimento intelectual do povo brasileiro para o crescimento e desenvolvimento contínuo de nossa nação amada. Ao PPGCTIA, que me deu a oportunidade de fazer um doutorado interdisciplinar e, dessa forma, o convívio com tantas ciências. À agência de fomento Capes, por transferir recursos financeiros durante toda minha pesquisa, e a Tempus Public Foundation, pelo intercâmbio sanduíche no início do doutorado na Hungria. Em síntese, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a construção deste trabalho.

RESUMO GERAL

MARQUES, Maria Aparecida. **Modelagem matemática aplicada a recomendação de uso de sistemas agroflorestais multiestratos sucessionais pelo pequeno agricultor no Bioma Cerrado**. 2021. 153f. Tese (Doutorado em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária). Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

A modelagem matemática de sistemas produtivos complexos (arranjo de diferentes estruturas vegetais), biodiversos e seus diferenciais, tanto ambiental quanto financeiro, possibilita a compreensão do comportamento e, conseqüentemente, a melhor implementação e manejo desses sistemas. Através de transferência de conhecimento, o produtor rural pode obter e aplicar práticas de recuperação ambiental, principalmente dos recursos de solo e água. Nesse estudo foram desenvolvidos e testados modelos matemáticos determinísticos para obtenção de arranjos entre espécies agrícolas, frutíferas, forrageiras e arbóreas, com o objetivo de auxiliar agricultores familiares nas escolhas dos arranjos mais adequados e com menor custo inicial para Sistemas Agroflorestais (SAFs) no bioma Cerrado. A tese está organizada em três capítulos, sendo o primeiro uma revisão geral sobre o bioma Cerrado, classes de solos, espécies encontradas nesse ambiente e as diferentes aplicações e uso das mesmas, bem como os SAFs e os processos para sua implantação. Foram considerados no estudo, sistemas que combinam vários estratos dentro do entendimento da sucessão natural, sendo aqui denominados de: Sistema Agroflorestal multiestrato sucessional (SAFms). O segundo capítulo apresenta o desenvolvimento de um modelo matemático determinístico que, através de dados e informações ambientais e bromatológicas, indica os arranjos mais viáveis, diante dos dados ambientais fornecidos, em agroflorestas já consolidadas em diferentes cenários no bioma Cerrado. No terceiro capítulo concluímos o estudo com o desenvolvimento do modelo que utiliza os princípios de formação de um SAFms, ou seja, as etapas que contemplam a sucessão das espécies e os diferentes estratos que elas têm ao compor esse sistema em diferentes momentos dentro da cronologia do seu crescimento. Como “output” o modelo entregou soluções onde o arranjo ideal teria o menor custo de implantação inicial deste sistema produtivo para o pequeno agricultor. Para o desenvolvimento dos modelos matemáticos foi utilizada programação inteira binária - PIB, implementada com o pacote GLPK. A formação dos conjuntos de dados se deu a partir de fontes secundárias, de artigos científicos, teses e dissertações, entre outras, bem como o relato de espécies cultivadas em estados brasileiros que apresentam o bioma Cerrado. Concluiu-se que modelos matemáticos determinísticos, como o PIB, são robustos para combinar, espécies diferentes conforme os pesos de cada uma delas, seguindo a determinação da função objetivo de cada modelo proposto. Podemos afirmar que, os modelos matemáticos podem mostrar e valorizar particularidades do conhecimento para os sistemas dinâmicos como os da agricultura de processos. O qual foi visto e analisado, matematicamente, em suas interações, tanto internas quanto com o meio. Os modelos determinísticos são capazes de entregar parâmetros até então não analisados numericamente. Também são apresentados, para SAFms no bioma Cerrado, arranjos de implantação para agricultura de processos, com o menor custo possível.

Palavras-chave: Agrofloresta. Agricultura de processos. Rede semântica.

GENERAL ABSTRACT

MARQUES, Maria Aparecida. **Mathematical modeling applied to recommendation for the use of successional multistrata agroforestry systems by small farmers in the Cerrado Biome**. 2021. 153p. Thesis (Doctorate in Science, Technology and Innovation in Agriculture). Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

The mathematical modeling of complex productive systems (arrangement of different plant structures), biodiverse and their differentials, both environmental and financial, enables the understanding of the behavior and, consequently, the better implementation and management of these systems. Through knowledge transfer, the rural producer can obtain and apply environmental recovery practices, mainly of soil and water resources. In this study, deterministic mathematical models were developed and tested to obtain arrangements between agricultural, fruit, forage and tree species, in order to assist family farmers in choosing the most appropriate arrangements and with the lowest initial cost for Agroforestry Systems (SAFs) in the Cerrado biome. The thesis is organized into three chapters, the first being a general review of the Cerrado biome, soil classes, species found in this environment and their different applications and use, as well as the SAFs and the processes for their implementation. Systems that combine several strata within the understanding of natural succession were considered in the study, being called here: Successional Multistratum Agroforestry System (SAFms). The second chapter presents the development of a deterministic mathematical model that, through environmental and botanical data and information, indicates the most viable arrangements, given the environmental data provided, in agroforests already consolidated in different scenarios in the Cerrado biome. In the third chapter, we conclude the study with the development of the model that uses the principles of formation of a SAFms, that is, the stages that contemplate the succession of species and the different strata they have when composing this system at different times within the chronology of its growth. As “output” the model delivered solutions where the ideal arrangement would have the lowest initial implementation cost of this production system for the small farmer. For the development of the mathematical models, binary integer programming - PIB, implemented with the GLPK package was used. The formation of data sets was based on secondary sources, scientific articles, theses and dissertations, among others, as well as the report of species cultivated in Brazilian states that have the Cerrado biome. It was concluded that deterministic mathematical models, such as GDP, are robust to combine, through decision trees, different species according to the weights of each one of them, following the determination of the objective function of each proposed model. We can say that the mathematical models can show and value particularities of knowledge for dynamic systems such as those of process agriculture. Which was seen and analyzed, mathematically, in its interactions, both internal and with the environment. Deterministic models are able to deliver parameters hitherto not analyzed numerically. For SAFms in the Cerrado biome, implementation arrangements for process agriculture are also presented, with the lowest possible cost.

Keywords: Agroforestry. Process Agriculture. Semantic network.

RESUMEN AMPLIADO

MARQUES, Maria Aparecida. **Modelación matemática aplicada a la recomendación para el uso de sistemas agroforestales sucesionales multiestratos por pequeños agricultores en el Bioma Cerrado**. 2021. 153p. Tesis (Doctorado en Ciencia, Tecnología e Innovación en Agricultura). Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

1 Introducción

En periodos de creciente demanda de alimentos y también de conservación de los recursos naturales, se abren oportunidades para la investigación científica interdisciplinaria que une universos diferentes con el fin de sustentar problemas comunes. Entre las diferentes formas de producción sostenible de alimentos, existe la oportunidad de estudiar y conocer formas de cultivar la tierra muy cercanas a la forma en que sembraban nuestros antepasados.

Con la premisa básica de que ampliar el uso de sistemas agrícolas sostenibles está relacionado con aumentar la disponibilidad de información sobre impactos e interacciones positivas con el medio ambiente, los sistemas agrícolas biodiversos, como la agroforestería, pueden ser protagonistas de esta nueva confrontación de garantías de alimentos producidos en diferentes partes del mundo. Para este estudio, buscamos el sistema de producción agrícola que combina la producción de cultivos agrícolas asociados con arbóreos y forrajes, ya difundidos y utilizados en todo el territorio brasileño.

Como una forma de explorar este conocimiento, se utilizó la modelación matemática como herramienta metodológica para estimar cómo los sistemas productivos complejos (arreglo de diferentes estructuras vegetales) y los biodiversos interactúan entre sí y con el lugar de cultivo. Considerando los tipos y el potencial de los modelos matemáticos y el bajo uso en Brasil, en este estudio se desarrolló un modelo matemático determinista para indicar las especies óptimas para el arreglo de un SAFms.

Siguiendo los principios de entrenamiento a un menor costo, el modelo desarrollado entrega los valores ambientales de sus interacciones y maximiza las mejores combinaciones entre diferentes especies. Estos modelos se presentan en los capítulos 2 y 3, respectivamente.

Brasil posee una rica y abundante biodiversidad de tierras lejanas, cuya exploración siguió el interés de abrir nuevas fronteras agrícolas, permitiendo al productor rural cultivar en diferentes regiones con condiciones climáticas, vegetales y geológicas adversas. Esta apertura de nuevas fronteras agrícolas hizo posible el desarrollo de localidades remotas, pero también inició un incremento en el uso y explotación de los recursos naturales y su degradación.

En ese sentido, la búsqueda de sistemas productivos que causen menor impacto al medio ambiente puede ser una estrategia de producción continua en ambientes degradados, y que, para la agroindustria, se ha vuelto inviable por los altos costos de los insumos que demanda esa región para ser productiva. La agroindustria brasileña se concentra actualmente en la región del Medio Oeste, bioma Cerrado.

En términos económicos, esta región es una de las más importantes para Brasil en los últimos años. Sin embargo, en cuanto a la producción agrícola para el mercado interno, está en manos del pequeño productor rural y no del agronegocio. Aproximadamente el 70% de lo que se vende en el mercado interno fue producido por el pequeño agricultor, por lo que desarrollar

estudios que atiendan las necesidades tecnológicas del pequeño agricultor también es garantía de seguridad alimentaria para los brasileños.

Por ello, buscó sistemas de producción ampliamente discutidos y utilizados por los pequeños agricultores y que se basen en la conservación del medio ambiente. Uno de los sistemas productivos de más rápido crecimiento por ser un sistema que utiliza y aprovecha los recursos naturales sin comprometer el medio ambiente local es el sistema agroforestal. Con este sistema, los productores tienen la posibilidad de cultivar diferentes productos agrícolas durante todo el año, aumentando los ingresos y la seguridad alimentaria de sus familias.

2 Material y Métodos

La modelación matemática desarrollada utilizó Programación Entera Binaria (PIB) para resolver la función objetivo de cada modelo propuesto, tanto ambiental como financiero. Transcribiendo a nuestra realidad, en este estudio se desarrollaron modelos matemáticos que, a través de la suma de los conjuntos de ecuaciones matemáticas, brindan como producto final, una comprensión avanzada de la complejidad que envuelven los sistemas agrícolas. Se verificó la posibilidad de comprender mejor el comportamiento y, en consecuencia, la implementación y gestión de estos sistemas agrícolas en el bioma Cerrado. Además, el modelo matemático hizo posible trabajar y analizar conjuntos más grandes de información y características distintas, para maximizar la comprensión de las interacciones de las culturas agrícolas, arbóreas y forrajeras entre sí y con el medio ambiente. En un primer análisis, era necesario comprender la dinámica de cada ambiente dentro de su complejidad biológica. Para ello, se eligió un bioma específico (bioma Cerrado), para el análisis del modelo matemático propuesto.

Posteriormente, se buscaron diferentes propiedades que utilizan sistemas agroforestales distribuidos en diferentes estados del bioma Cerrado. Este primer esfuerzo permitió identificar diferentes cultivos agrícolas cultivados en un mismo bioma, mostrando así la capacidad de este sistema agrícola de ser muy rico y biodiverso lo que, a primera vista, está muy asociado al conocimiento y voluntad del productor para producir ciertos cultivos agrícolas. Trabajar con sistemas de producción sostenible puede ser una réplica de un sistema natural.

Al evaluar los Sistemas Agroforestales se verificaron servicios ambientales en este sistema productivo que tiene al árbol como elemento clave de la composición. Se encontró que en términos de estructura y protección del suelo, los árboles son grandes aliados en la conservación de las capas superficiales. Este servicio hace que este sistema agrícola sea muy interesante para la región del bioma Cerrado que tiene áreas con suelos susceptibles de degradación o ya degradados.

Sin embargo, los estudios revelan que este sistema de producción podría ser más generalizado con la comprensión de las interacciones entre las especies agrícolas, arbóreas y forrajeras con el medio ambiente. En ese sentido, identificamos características del bioma Cerrado y los tipos de suelo más frecuentes en las regiones que lo componen. Se buscó información sobre las especies de plantas del Cerrado, sus diversas funciones para este ambiente, incluyendo el agua, a fin de analizar el resultado de los arreglos formados por las diferentes especies dentro de un Agroforestal. Entender estas interacciones puede hacer cada vez más posible utilizar sistemas de producción que causen un menor impacto en el medio ambiente y aseguren una producción agrícola segura para la población. Para trabajar estas diferentes variables de un sistema agrícola biodinámico, se buscaron modelos matemáticos que sean capaces de modelar sistemas con datos de distinta naturaleza, y así, indicar posibles arreglos entre cultivos agrícolas, arbóreos y forrajeros. A través del modelo matemático determinista desarrollado, se logró generar datos e información que, en el futuro, podrán agregar valor al productor y al sistema productivo por él

utilizado a través de artificios de recuperación ambiental, suelo y agua, principalmente.

Por lo tanto, esta investigación fue más allá de los resultados científicos ampliamente discutidos sobre las mejoras y condiciones económicas, ambientales y sociales del uso de un modelo de agricultura sostenible, y también abordó las contribuciones sociales indirectas. Uno puede analizar matemáticamente la interacción entre diferentes especies agrícolas en diferentes regiones e identificar el potencial que puede tener un modelo determinista en el análisis de sistemas agrícolas biodiversos. En este primer modelo pudimos verificar el comportamiento de arreglos que tienen sentido para estructuras vegetales dentro de un espacio de competencia por agua, luz y nutrientes y también arreglos que no son viables. Se pretende continuar con el desarrollo de este modelo para que pueda entregar arreglos con diferentes cultivos agrícolas con árboles y forrajes de manera segura para maximizar el uso de la agrosilvicultura en diferentes biomas. La tesis está organizada en tres capítulos, siendo el primero una introducción general sobre el bioma del Cerrado, las particularidades y especies que se encuentran en este ambiente y las diferentes aplicaciones y usos de las mismas, en una visión enfocada en los sistemas de producción biodiversos como los Sistemas Agroforestales (SAF).

Entre los diversos sistemas agrícolas posibles en un SAF, elegimos aquel que combina varios estratos dentro del entendimiento de la sucesión natural, denominándose aquí en este trabajo: Sistema Agroforestal Sucesional Multiestrato (SAFms), y es considerado como uno de los sistemas más cercanos a sistemas naturales. Este primer capítulo proporciona la base de conocimiento necesaria para desarrollar un modelo matemático que modele la información de organismos dinámicos. Un modelo que trabaje con datos climáticos de cada región donde se va a cultivar la misma especie, puede traer información decisiva al agricultor que tiene pocos recursos económicos y espacio.

El segundo capítulo presenta el desarrollo de un modelo matemático determinista que, a través de datos e información ambiental y bromatológica, indica los arreglos más viables, dados los datos ambientales proporcionados, en agrobosques ya consolidados en diferentes localidades del bioma Cerrado. Al analizar la agrosilvicultura real en el bioma Cerrado, se puede analizar mejor la efectividad del modelo en la entrega de arreglos viables. Buscamos al menos una propiedad que utiliza agroforestería con más de 10 especies diferentes en cada estado brasileño que se encuentra en el bioma Cerrado, totalizando 14 escenarios analizados. Luego, se tabularon los datos de producción agrícola divididos en producción forrajera, frutícola/agrícola y arbórea. Para los forrajes se buscaron los datos bromatológicos de cada especie. También se sabe que hay una variación de estos datos según la ubicación y el método de obtención, y en la literatura se encontraron estudios que trajeron, casi en su totalidad, los coeficientes necesarios para el modelo.

Como el modelo desarrollado tiene en cuenta que los forrajes son en mayor número que los agrícolas/frutícolas y que los arbóreos están presentes, se buscaron indicaciones de forrajes para el Cerrado a partir de datos de Embrapa, agregados al conjunto de especies de cada localidad. Para la frutícola/agrícola se buscaron datos ambientales favorables para cada especie y requerimiento solar. Para los árboles se buscaron datos sobre la adaptación de cada especie. Considerando que el medio ambiente está directamente relacionado con el desarrollo de las especies, se buscaron datos sobre el clima y la incidencia solar de cada región. Así, a través de estos datos, se utilizó el modelo matemático determinista, que tiene como objetivo maximizar las mejores combinaciones de estos tres elementos en un arreglo a través de los conceptos pre-determinados en la función objetivo. El modelo matemático es una programación entera binaria y se utilizó el paquete GLPK para resolverlo.

3 Resultados

Para que esto sea posible, utilizamos información de agricultores e investigadores agroforestales que trabajan con la sucesión de especies dentro del sistema de siembra. Con esto, identificamos y apuntamos al modelo la categoría de crecimiento y desarrollo de cada especie indicada para componer un SAFms, que en este caso fueron 72 especies diferentes (agrícolas, fructíferas y arbóreas).

Para este modelo matemático determinista, la mejor elección fue la combinación que respetara las condiciones establecidas a un menor costo de inicialización, es decir, minimizar el costo inicial de un SAFms. Por lo tanto, como “salida” el modelo entregó soluciones donde el arreglo ideal tendría el menor costo de implementación inicial de este sistema de producción para el agricultor (considerando una limitación inicial de recursos financieros). Este modelo identifica las especies que pueden entrar desde el inicio de la siembra y que, a medida que crecen y terminan su ciclo de vida, dejan espacio para que la sucesora que estará creciendo en el mismo lugar la reemplace. Esta sucesión se puede observar en la naturaleza, cuando un árbol cae y se abre un claro dando paso a otras especies forestales. Modelar la sucesión entre especies fue posible agrupando las especies por el mismo ciclo de vida (anual o perenne) y el estrato que ocupan (bajo, medio, alto y emergente). Estas agrupaciones de especies sirven como referencia enigmática para el modelo matemático que debe elegir entre las variables E y el tiempo debe indicar un tipo de especie E entre las indicadas. Al final, el modelo indicó 29 especies E para componer un SAFms inicial a menor costo con diferentes ciclos de vida y estratos respetando los principios de formación de este sistema agrícola.

Para el desarrollo de los modelos matemáticos se utilizó programación entera binaria - PIB, implementada con el paquete GLPK. La formación de conjuntos de datos se basó en fuentes secundarias, utilizando artículos científicos, preferiblemente tesis, disertaciones e incluso resúmenes ampliados de anales de eventos, así como informes de especies cultivadas en cada estado brasileño dentro del bioma Cerrado. Se concluyó que los modelos matemáticos deterministas, como el PIB, son robustos para combinar, a través de árboles de decisión, diferentes especies según los pesos de cada una de ellas, siguiendo la determinación de la función objetivo de cada modelo propuesto. Podemos decir que, transversalmente, los modelos matemáticos pueden mostrar y valorar particularidades de saberes que, dentro de los saberes tradicionales de vivir en el cultivo de las plantas, son intrínsecos al productor. Sin embargo, no hemos llegado al modelo ideal para identificar e indicar los mejores arreglos entre especies tan diferentes y con requerimientos tan particulares del medio, sin embargo, hemos abierto un camino seguro por explorar en este campo de la ciencia.

El desarrollo de modelos matemáticos para sistemas agrícolas convencionales es una realidad y genera grandes beneficios económicos y resultados seguros para la producción agrícola en su conjunto y hoy podemos indicar una forma de mejorar un modelo matemático capaz de trabajar con diferentes datos e información de una agricultura biodiversa. sistema con su interacción con el medio ambiente. Se verificó la dinámica de los Sistemas Agroforestales en diferentes regiones del bioma Cerrado y se desarrolló el modelo matemático. El uso de este mismo modelo en diferentes biomas puede brindar una mayor comprensión de la dinámica del modelado matemático del PIB.

Cabe señalar que los modelos de decisión binarios buscan, dentro de las restricciones, parámetros que resuelvan la función objetivo, entregando como: uno (1) para posibles y cero (0) para combinaciones que no cumplieron las reglas. Por lo tanto, la verificación de este tipo de modelo resultó muy interesante a medida que se analizan los resultados. Por lo tanto, se consideró una gran herramienta para modelar sistemas complejos, con muchas variables diferentes. Durante todo el desarrollo de este trabajo se evidenció, en la búsqueda de fuentes bibliográfi-

cas, que el uso y empleo de SAF es viable y ventajoso para el agricultor, pero pocos trabajos están numéricamente comprobados. En esta investigación, los resultados presentan evidencia numérica para algunos enunciados sobre este sistema de producción. También es evidente que son posibles más resultados numéricos trabajando y desarrollando más los modelos.

4 Conclusiones

Se concluyó que matemáticamente el modelo logró identificar combinaciones con diferentes pesos para las combinaciones de las especies ya cultivadas por los agricultores, sin embargo, identificamos que la falla en identificar el ciclo de crecimiento y cultivo para el modelo provocó combinaciones que no son posible debido al crecimiento y el ciclo estar cerca. Sin embargo, este primer modelo servirá como base para el desarrollo y mejora de futuros modelos. En el tercer y último capítulo, concluimos el estudio con el desarrollo de un modelo que utiliza los principios de formación de un SAFms, es decir, los pasos que contemplan la sucesión de especies y los diferentes estratos que tienen al componer este sistema en diferentes tiempos dentro de la cronología de su crecimiento. Se logró el desafío planteado inicialmente y se abrió una nueva oportunidad para el desarrollo y aplicación del conocimiento en Sistemas Agroforestales.

El cual fue visto y analizado, matemáticamente, en sus interacciones, tanto internas como con el entorno. Esto demuestra la solidez de los modelos deterministas, que son capaces de entregar parámetros que no han sido analizados numéricamente hasta ahora. Para SAFms en el bioma Cerrado, también se presentan arreglos de implementación para la agricultura de proceso, con el menor costo posible, dentro de los principios de optimizar los recursos y no minimizarlos. Proponemos un trabajo futuro que pueda unir los modelos desarrollados en esta tesis. Se espera como resultado, un modelo capaz de indicar combinaciones viables entre especies agrícolas, arbóreas y forrajeras a un menor costo inicial con diferentes ciclos de vida y estratos en un mismo consorcio, respetando el medio ambiente y garantizando la seguridad alimentaria.

Palabras clave: Agroforestería. Agricultura de proceso. Red semántica.

LISTA DE FIGURAS

2.1	Fitofisionomias do bioma Cerrado.....	9
2.2	Mapa das principais classes de solos do Bioma Cerrado.	11
2.3	Ampliação da Figura 2.2 das principais classes de solos do bioma Cerrado. .	12
3.1	Localização dos cenários selecionados para estudo dos SAFs.	41
4.1	Cobertura biodiversa do solo (Fonte: Da autora).	79

LISTA DE TABELAS

2.1	Ordem de solos encontradas no Bioma Cerrado com respectivo percentual. .	10
2.2	Espécies Arbóreas do Cerrado.....	28
2.3	Identificação e uso de espécies nativas brasileiras com potencial para com- por SAF.....	29
3.1	FORAGEIRAS mais utilizadas no bioma Cerrado brasileiro indicadas pela Em- brapa.	45
3.2	Cenário dos arranjos aceitáveis da Agrofloresta da localidade de Ariquemes, Rondônia.	51
3.3	Cenário dos arranjos aceitáveis da Agrofloresta do Assentamento Itamarati, Ponta Porã, Mato Grosso do Sul.	54
3.4	Cenário dos arranjos aceitáveis da Agrofloresta da localidade de Conceição do Almeida, Bahia.....	56
3.5	Cenário dos arranjos aceitáveis da Agrofloresta localizada no município de Esperantina, Piauí.	58
3.6	Cenário dos arranjos aceitáveis da Agrofloresta da Fazenda São Luiz, São Joaquim da Barra, SP.	60
3.7	Cenário dos arranjos aceitáveis da Agrofloresta da localidade de Filadélfia, Tocantins	61
3.8	Cenário dos arranjos aceitáveis da Agrofloresta localizada no município de Luís Domingues, MA.	62
3.9	Cenário dos arranjos aceitáveis da Agrofloresta localizada no bairro Canaã, Machado, MG.....	63
3.10	Cenário dos arranjos aceitáveis da Agrofloresta localizada no município de Mambaí, Goiás.	65
3.11	Cenário dos arranjos aceitáveis da Agrofloresta localizada em Palmas, To- cantins.	66
3.12	Cenário dos arranjos aceitáveis da Agrofloresta localizada na microrregião de Ponta Grossa, município de Palmeira, Paraná.	67
3.13	Cenário dos arranjos aceitáveis da Agrofloresta localizada em Sinop, Mato Grosso.	68
3.14	Cenário dos arranjos aceitáveis da Agrofloresta localizada no Sítio Gerâ- nium, Taguatinga, Distrito Federal.....	69
3.15	Cenário dos arranjos aceitáveis da Agrofloresta localizada no Assentamento Lagoa Grande, Dourados, MS.	70
4.1	Princípios para formação de um SAF desenvolvidos por Ernst Götsch em diferentes locais.	77
4.2	Exemplo de consórcios de espécies agrícolas possíveis no mesmo arranjo em períodos distintos.	78
4.3	Exemplo de arranjo de consórcios conforme os estratos das respectivas es- pécies.....	78
4.4	Conjunto de espécies indicadas para formar um SAFms no bioma Cerrado. .	85

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

Meio ambiente e Sistemas Agroflorestais

AC	Adaptação climática da cultura agrícola/frutífera
ACA	Adaptação Climática de uma cultura Agrícola/frutífera
ALA	Adaptação climática de uma rvore
CP	Conteúdo proteico (Carboidratos totais) de uma forrageira
D	Digestibilidade de uma forrageira
EE	Extrato Etéreo
ES	Exigência solar da cultura agrícola/frutífera
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FDA	Fibra bruta em detergente cido
FDN	Fibra bruta em detergente neutro
fmax	função maximização
fmin	função minimização
GLPK	GNU <i>Linear Programming Kit</i>
ILF	Integração Lavoura e Floresta
ILP	Integração Lavoura e Pecuária
ILPF	Integração Lavoura Pecuária e Floresta
ICRAF	Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal
INPE	Instituto Nacional de Pesquisa Espacial
Ipea	Instituto de planejamento econômico e social
IPF	Integração Pecuária e Floresta
MM	Matéria Mineral - Cinza
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PENSAF	Plano Nacional de Silvicultura com Espécies Nativas e Sistemas Agroflorestais
PIB	Programação Inteira Binária
PB	Proteína Bruta
RFA	Radiação fotossinteticamente ativa
RS	Radiação Solar de uma cultura
SAF	Sistema Agroflorestal
SAFs	Sistemas Agroflorestais
SAFms	Sistema Agroflorestal multiestrato sucessional

SAs	Serviços Ambientais
VN	Valor Nutricional de uma forrageira

Localidade

AM	Estado de Amazonas
AP	Estado do Amapá
BA	Estado da Bahia
DF	Distrito Federal
GO	Estado de Goiás
MA	Estado do Maranhão
MATOPIBA	Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia
MG	Estado de Minas Gerais
MS	Estado do Mato Grosso do Sul
MT	Estado do Mato Grosso
PA	Estado do Pará
PI	Estado do Piauí
PR	Estado do Paraná
RO	Estado de Rondônia
RR	Estado de Roraima
SP	Estado de São Paulo
TO	Estado do Tocantins

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	1
2 CAPÍTULO I. AGROFLORESTA E SEU SERVIÇO AO MEIO AMBIENTE, UMA ANÁLISE NO BIOMA CERRADO	3
2.1 RESUMO	4
2.2 ABSTRACT	5
2.3 INTRODUÇÃO	6
2.4 CLIMA E USO DO SOLO NO BIOMA CERRADO	8
2.4.1 Solos do Cerrado	9
2.4.1.1 Latossolos	11
2.4.1.2 Neossolos	13
2.4.1.3 Argissolos	13
2.4.2 Aptidão dos Solos para os SAFs	13
2.4.3 Serviço Hídrico das Espécies Arbóreas e de Suas Raízes Profundas	14
2.5 AGROFLORESTA E ASPECTOS RELEVANTES NA AGRICULTURA DO CERRADO	17
2.5.1 Os SAFs, a Agricultura de Processos e a Agricultura Familiar	18
2.5.1.1 Território nacional e área de ocupação do agricultor familiar	18
2.5.1.2 Agricultura tropical brasileira e o Cerrado	19
2.5.2 Os sistema de produção biodiverso através de processos	20
2.5.2.1 Planejando um SAFms	22
2.5.3 Etapas de implementação de um SAF	24
2.5.3.1 Diagnóstico	24
2.5.3.2 Planejamento	25
2.5.3.3 Implantação	25
2.5.3.4 Manejo	26
2.5.4 O Uso de Espécies Arbóreas Nativas nos SAFs do Cerrado	26
2.5.5 O Uso de Espécies Arbóreas Exóticas nos SAFs do Cerrado	27
2.5.6 O Uso de Modelos Matemáticos para Determinar Arranjos de SAF no Cerrado	32
2.6 CONCLUSÕES	34
3 CAPÍTULO II. ARRANJOS AGROFLORESTAIS PARA O BIOMA CERRADO INDICADOS ATRAVÉS DE MODELO MATEMÁTICO DE PROGRAMAÇÃO INTEIRA BINÁRIA	35
3.1 RESUMO	36
3.2 ABSTRACT	37
3.3 INTRODUÇÃO	38
3.4 EVOLUÇÃO SUCINTA DA AGRICULTURA	39
3.5 MATERIAL E MÉTODOS	41
3.5.1 Cálculos dos Coeficientes	46
3.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
3.6.1 Cenário Ariquemes, Rondônia	50

3.6.2	Cenário Assentamento Itamarati, Ponta Porã, Mato Grosso do Sul	53
3.6.3	Cenário Conceição do Almeida, Bahia	56
3.6.4	Cenário Município de Esperantina, Piauí	57
3.6.5	Cenário Fazenda São Luiz, São Joaquim da Barra, São Paulo	59
3.6.6	Cenário Filadélfia, Tocantins	61
3.6.7	Cenário do Município de Luís Domingues, Maranhão	62
3.6.8	Cenário do bairro Canaã, Machado, Minas Gerais	63
3.6.9	Cenário do Município de Mambaí, Goiás	64
3.6.10	Cenário de Palmas, Tocantins	66
3.6.11	Cenário na Microrregião de Ponta Grossa, Município de Palmeira, Paraná....	67
3.6.12	Cenário Sinop, Mato Grosso	68
3.6.13	Cenário Sítio Gerânium, Taguatinga, Distrito Federal	69
3.6.14	Cenário Assentamento Lagoa Grande, Dourados, Mato Grosso do Sul	70
3.7	CONCLUSÕES	72
4	CAPÍTULO III. USO DE MODELO MATEMÁTICO DE PROGRAMAÇÃO INTEIRA BINÁRIA PARA OBTER O MENOR CUSTO DE UM ARRANJO AGROFLORESTAL MULTIESTRATO SUCESSIONAL PARA AGRICULTOR FAMILIAR NO CERRADO	73
4.1	RESUMO	74
4.2	ABSTRACT	75
4.3	INTRODUÇÃO	76
4.4	SISTEMA AGROFLORESTAL MULTIESTRATO SUCESSIONAL - SAFms	77
4.4.1	Escolha das Espécies Arbóreas Conforme o Objetivo do SAF	80
4.5	MATERIAL E MÉTODOS	81
4.5.1	Restrições (Cultivos anuais)	81
4.5.2	Restrições (Cultivos perenes)	82
4.5.3	Função Objetivo	84
4.5.4	Dados	84
4.5.5	Conjunto de Formação dos Arranjos	86
4.6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	88
4.7	CONCLUSÕES	91
5	CONCLUSÕES GERAIS	92
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
7	APÊNDICE	107

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os modelos matemáticos, como ferramenta para auxiliar no planejamento e implantação de sistemas agrícolas, são ainda pouco explorados e desenvolvidos no Brasil, quando comparados com o seu uso em outros países. Isso pode estar associado a morosidade do mercado brasileiro em modernizar as tecnologias usadas na agricultura, com aquisição de máquinas e computadores mais robustos ou, a falta de incentivo financeiro para o desenvolvimento dessa ferramenta pelas instituições de pesquisa (CORRÊA et al., 2011).

Analisando os tipos de sistemas produtivos e processos, verificamos a complexidade dos sistemas agroflorestais (SAFs), que visam otimizar o uso dos recursos naturais como água, luz e nutrientes, a fim de promover maior sustentabilidade para a produção agrícola (PENEIREIRO; BRILHANTE, 2002). Quando verificamos o grau de aceitação dos sistemas produtivos biodiversos, dentro de uma escala de interesse de seu uso e implantação, estes acabam sendo menos adotados, pois os agricultores ou desconhecem a prática de manejo, ou acham que são sistemas que custam mais e demandam mais mão de obra. No entanto, conforme a literatura em geral, podemos considerar que estes sistemas são seguros e lucrativos também para o pequeno agricultor que, muitas vezes, está localizado em terras em processos degradativos ou ainda com impedimentos de exploração conforme as leis ambientais brasileiras.

Os SAFs se apresentam como uma alternativa para o uso dos recursos naturais de forma positiva, ou seja, explorando o potencial do meio ambiente sem impactar negativamente os recursos ambientais. Essa prática de cultivo pode ainda mitigar a degradação acelerada das terras aráveis. Em um de seus relatórios, a FAO ITPS (2015) apresentou índices de degradação e contaminação do solo em um terço do total das terras aráveis do planeta, revelando, assim, um problema relacionado com a produção de alimentos, biodiversidade e comprometimento do bem-estar econômico, social e ambiental, com impactos mais severos, principalmente, para a população de menor renda monetária (BURTET et al., 2015).

É importante desenvolver conhecimento científico a respeito de um sistema de produção diversificado como o SAF, que apresenta, na literatura, vários indicadores de aumento da fertilidade do solo (MARQUES et al., 2022), permitindo assim o maior desenvolvimento do agricultor familiar, além da não utilização ou redução de insumos externos, como os agroquímicos. Por outro lado, as formas de cultivar espécies alimentícias e não alimentícias no SAF são diversas, e se desenvolvem em escala de gradiente sustentável que seguem um conjunto de valores e uma série de condicionantes ecológicas, sociais, econômicas e culturais (PENEIREIRO, 2002).

Sendo assim, buscou-se testar neste estudo as seguintes hipóteses: modelos matemáticos determinísticos são adequados para obtenção de arranjos entre espécies agrícolas, frutíferas, forrageiras e arbóreas, como os cultivados nos SAFs; e esses modelos podem auxiliar os pequenos agricultores nas escolhas dos arranjos mais adequados e com menor custo inicial para a sua condição local.

Os sistemas produtivos analisados foram compostos por arranjos de espécies já convencionalmente cultivadas pelos agricultores, nos locais selecionados para esse estudo, que se limitou ao bioma Cerrado, que possui média pluvial anual de 1.450mm, concentrada nos meses de setembro a abril e temperatura média anual entre 18 a 23 °C (MMA, 2020). Sendo assim, um dos modelos utilizou dados e informações vinculados a esse ambiente, tais como: radiação média anual, temperatura média, espécies cultivadas pelos agricultores e informações de adaptação climática de cada espécie (agrícola frutífera e arbórea) e, no caso das forrageiras, as informações bromatológicas.

Já no segundo modelo, utilizou-se informações das espécies agrícolas e arbóreas mais frequentes em SAFs no Cerrado, sendo também considerados os preços de comercialização de

mudas e sementes, adotando-se um valor único para toda a região. Em ambos os casos, há uma preocupação em respeitar a lógica e os princípios de formação dos sistemas agrícolas complexos que, na sua maioria, são mais biodiversos. Esses sistemas são aqui identificados como Sistema Agroflorestal multiestrato sucessional (SAFms).

Para entender a dinâmica dos sistemas produtivos complexos e o ambiente no qual ele está inserido, no primeiro capítulo, na forma de revisão, são apresentadas informações sobre: Clima e uso do solo no bioma Cerrado; e Agrofloresta e aspectos relevantes na agricultura do Cerrado. Tópicos estes importantes para o desenvolvimento dos modelos propostos.

O primeiro Capítulo é a base para formulação dos modelos e fonte para interpretar os resultados. As variáveis são distintas e complexas em se tratando de ambientes naturais e sistemas produtivos que seguem a lógica desses ambientes. Sendo assim, entender os recursos naturais e as necessidades dos sistemas agrícolas, bem como o ambiente no qual irão se desenvolver, são aspectos relevantes para o alcance dos objetivos desta tese, apresentados seguir.

Os objetivos do estudo são: a) selecionar matematicamente lavouras agrícolas e forrageiras integradas com espécies arbóreas, visando um arranjo que tenha melhor probabilidade de sucesso nas interações; b) obter o melhor custo benefício no uso das culturas agrícolas, em diferentes arranjos e estratos, no mesmo local; e c) desenvolver modelo matemático determinístico para otimizar os arranjos entre espécies agrícolas e arbóreas, ambientalmente viáveis no bioma Cerrado, respeitando os preceitos de formação de um SAFms.

Diante dos pontos levantados, a pesquisa teve como foco analisar o uso de sistemas agroflorestais, de fácil adaptação e implementação em áreas degradadas, como o SAFms, também denominado como Sistema Sintrópico por [Götsch \(1997\)](#), um dos precursores de sistemas abundantes e biodiversos dentro da complexidade de um sistema natural. Para tal, objetivou-se modelar matematicamente os SAFms para desenvolver sistemas agrícolas capazes de entregar benefício econômico, social e ambiental dentro de uma perspectiva benéfica tanto ao meio ambiente, quanto financeiramente viável, ou seja, sem grandes custos de inicialização.

Quando buscamos modelos matemáticos para sistemas agrícolas biodiversos, percebemos que estes são escassos. Neste sentido, através de modelos determinísticos, que utilizam parâmetros e hipóteses de estruturas reais, foram desenvolvidos dois modelos matemáticos, que são apresentados nos capítulos II e III da tese.

O primeiro modelo foi desenvolvido para indicar os arranjos ótimos dentro de uma estrutura já estabelecida de SAF em ambiente de Cerrado. Foram utilizados dados bromatológicos para as componentes forrageiras (obrigatória sua indicação dentro do arranjo) e ambientais, tanto para o ambiente Cerrado como também para a adaptação das culturas agrícolas, frutíferas e espécies arbóreas que compõem Sistemas Agroflorestais reais, buscando arranjos ambientalmente adaptáveis dentro do conjunto de espécies já cultivadas pelos agricultores.

Este modelo é apresentado no capítulo II, de título: Arranjos agroflorestais para bioma Cerrado indicados através de modelo matemático de Programação Inteira Binária. O segundo modelo foi desenvolvido sob a ótica de como indicar arranjos, economicamente viáveis, para a formação de SAFms. Neste sentido, o modelo indicou um arranjo inicial para SAFms com um menor custo inicial ao agricultor, respeitando os princípios de formação da sucessão entre espécies com diferentes estratos. Este modelo é apresentado no Capítulo III, de título: Uso de modelo matemático de Programação Inteira Binária para obter o menor custo de um arranjo Agroflorestal multiestrato sucessional para agricultor familiar do Cerrado.

2 CAPÍTULO I

AGROFLORESTA E SEU SERVIÇO AO MEIO AMBIENTE, UMA ANÁLISE NO BIOMA CERRADO

2.1 RESUMO

O sistema agroflorestal (SAF) é estudado em diversas áreas de conhecimento, com maior intensidade nas Ciências Agrárias e na Ciência do Solo, que avaliam a relevância desse sistema produtivo para a sustentabilidade do meio ambiente e nos diferentes aspectos agroecológicos. Como objetivo, este capítulo explora a relevância agroflorestal, no que tange a preservação do ambiente e à manutenção hidrológica, na perspectiva agrícola, quanto aos processos, espécies e serviços no bioma Cerrado, de forma a dar suporte para os dois próximos capítulos. São apresentadas características do bioma Cerrado, seu clima, vegetação, uso e classes de solos dominantes, bem como aspectos relevantes sobre a implantação de SAFs. A literatura científica apresentada aponta a interação das árvores e de sua estrutura vegetativa e de sombra, tanto nos aspectos de infiltração e escoamento da água, como também, na extração hídrica profunda, através de suas raízes subsuperficiais, e a dispersão para as raízes superficiais. Há também, compilação de informações de espécies de plantas do Cerrado e as várias funções, inclusive hídricas, aspectos relevantes para o arranjo de espécies de plantas nos modelos matemáticos propostos na tese. O modelo desenvolvido tem como prioridade atender às necessidades de pequenos agricultores no bioma Cerrado, além de aumentar o seu conhecimento sobre o manejo de sistemas produtivos biodiversos, tais como o identificado como Sistema Agroflorestal multiestrato sucessional (SAFms). Concluiu-se com uma síntese sobre os aspectos relevantes para dar suporte ao modelo matemático a ser apresentado nos capítulos seguintes.

Palavras-chave: Reservatório hídrico. Plantas nativas do Cerrado. Agricultura de processos..

2.2 ABSTRACT

The agroforestry system (AFS) is studied in several fields of knowledge, with greater intensity in Agrarian and Soil Sciences, which study the relevance of this productive system for the sustainability of the environment and in the different agroecological aspects. In this context, this chapter explores the agroforestry relevance, in terms of environmental preservation and hydrological maintenance, from an agricultural perspective, regarding processes, species and services in the Cerrado biome, and it builds literature support for the next two chapters. The characteristics of the Cerrado biome, the climate, vegetation, land usage and the most frequent soil types, as well as aspects relevant for installations of agroforests systems are explored. In the scientific literature, the interaction of trees and their vegetative and shade structure is widely pointed out, both in the aspects of water infiltration and flow, as well as in deep water extraction, through their subsurface roots, and the dispersion to the superficial roots. There is also a compilation of information on Cerrado plant species and their various functions, including hydrological, relevant aspects for the arrangement of plant species in the mathematical models proposed in this thesis. The developed model aimed to meet the needs of small farmers in the Cerrado biome, increasing their knowledge on the management of biodiverse production systems, such as the one identified in this study as Successional Multistratum Agroforestry System (SAFms). It is concluded with a synthesis of the relevant aspects to support the mathematical model presented in the following chapters.

Keywords: Water resources. Cerrado native plants. Process agriculture..

2.3 INTRODUÇÃO

A agricultura na região do Cerrado, ambiente selecionado para este estudo, representa 45,3% da produção nacional, porém todo esse crescimento e expansão resultou na perda de cerca de 80% das características primárias do bioma. Com essa mudança do uso do território, duas frentes de ocupação das terras no país são conflitantes, entre potencial e uso atual em sobreutilização e subutilização das terras (MANZATTO et al., 2002).

A busca por sistemas produtivos mais eficientes e que causem menor impacto ambiental é tema amplamente explorado por pesquisadores e agricultores, em especial nos estudos com sistemas agroflorestais (SAFs). Como premissa básica, que a busca de informações dos impactos e interações de sistemas biodiversos como a agrofloresta pode contribuir para o desenvolvimento de uma nova forma de produzir alimentos em diferentes locais do mundo. Como ponto de partida, em geral, se comparam os sistemas agroflorestais com a agricultura convencional, para avaliar impactos ambientais, visando atender a demanda de produção de alimento com preservação ambiental. A exemplo, o recurso natural água, que é um dos principais recursos essenciais para manutenção da vida na Terra. Este recurso está presente em todo sistema vivo e seu ciclo é contínuo. Sua presença no ambiente terrestre está vinculada às condições de cada ecossistema. Dados apontam que um dos maiores usos da água potável do planeta está nas commodities agrícolas. Outro tema é a erosão do solo, que também afeta o abastecimento dos reservatórios hídricos. Na agricultura, várias maneiras e técnicas são adotadas para transportar água para o cultivo das plantas. Essas técnicas se fazem essenciais, principalmente, em ambientes com regimes de chuvas mais espaçados (períodos longos de estiagem) e que, muitas vezes, podem inviabilizar a produção de alimento na região. Um fator limitante é a disponibilidade financeira para implementar sistemas de irrigação bem dimensionados (DELGADO et al., 2016).

Além das técnicas de irrigação, pesquisas mostram que algumas espécies arbóreas são capazes de trazer, com certa facilidade, o recurso hídrico Bayala et al., 2015 apud (LUEDELING et al., 2016) e nutrientes para próximo da superfície do solo através de suas raízes profundas. O que é ainda mais notável em regiões onde solos mais profundos permitem o armazenamento de água nos períodos de chuvas. A determinação dos arranjos de árvores e lavouras em SAFs pode ser um diferencial nesse processo, reduzindo os efeitos da competição ao manejar espécies com diferentes sistemas radiculares (ZANINE; SANTOS, 2004). Esse mecanismo foi observado por Beer et al., 1998 apud (CERDA et al., 2016), em regiões cujas camadas superficiais do solo perdem com facilidade a umidade e eram beneficiadas pela disponibilidade de água trazida pelas raízes profundas de algumas espécies arbóreas e principalmente das leguminosas, resultando em maior disponibilidade de água e nutrientes para as plantas com raízes mais superficiais.

No bioma Cerrado, em sistemas agrícolas convencionais, a perda da fertilidade do solo com o aumento da erosão e exposição do solo à insolação, que acelera a decomposição da matéria orgânica, representa a principal causa da degradação das terras agrícolas. Segundo Embrapa Júnior & Vilela (2002) a partir da década de 70 a incorporação de terras no bioma Cerrado para a produção agrícola nacional gerou aumento de 583% na produção de arroz, feijão, trigo, milho e soja. Porém, o aumento da produção nestas regiões intensificou os problemas ambientais, devido ao uso de monoculturas e a mecanização intensa, com aumento de erosão, assoreamento dos cursos d'água, poluição do solo e água e aumento da emissão de Gases de Efeito Estufa - GEEs. Uma forma de minimizar a erosão é o uso de estruturas de conservação como barreiras físicas, vivas e mortas, além de sistemas que proporcionem maior cobertura do solo. Outro fator que pode contribuir é manter espécies arbóreas, que através das suas copas minimizam o impacto da gota das chuvas no solo, atenuam as elevadas temperaturas na superfície do solo e

ajudam também no aporte de matéria orgânica (SILVA et al., 2014).

Diante desse cenário, os pequenos agricultores de regiões do bioma Cerrado, para manter sua capacidade produtiva sem o êxodo rural, precisam buscar alternativas de cultivos e práticas sustentáveis. Os incentivos através de recursos financeiros destinados à adoção dessas práticas agrícolas podem resultar em mudanças positivas do uso da terra, principalmente nas áreas hoje com baixa produção por algum dos problemas já citados acima. Ter apoio financeiro do governo, para a retomada do uso da terra com sistemas como o Integração Lavoura Pecuária e Floresta (ILPF), sistema que integra lavoura, pecuária e floresta, ou sistemas mais biodiversos como o SAF, pode ser uma forma de impulsionar a adoção de novas práticas agrícolas pelos agricultores familiares.

Observa-se também um movimento positivo do uso de sistemas sustentáveis de produção agrícola no território nacional, sendo expressivo na região que compreende o bioma Cerrado, de grande importância agrícola para o país. Segundo Embrapa (2020), os sistemas agroflorestais são usados em todo o território brasileiro, porém, são mais expressivos nas regiões Centro-oeste e Sul. A expectativa é de que sistemas agrícolas integrados, em geral, cheguem a 20 milhões de hectares em 20 anos, o que será um aumento significativo, pois a área hoje é de 1,6 a 2 milhões de hectares.

Sendo assim, para este capítulo, buscamos avaliar espécies arbóreas do Cerrado que apresentam predisposição natural para o serviço ambiental de captar água em solos profundos e distribuir na superfície do solo. Foram analisados o tamanho, copa e o sombreamento dessas espécies sobre as culturas, para avaliar quais culturas seriam mais adequadas a estarem inseridas nesta linha de serviço. Além dessas espécies de raízes profundas, também temos a compreensão das espécies arbóreas cultivadas comercialmente, que podem ser mais viáveis em áreas onde a vegetação natural já foi removida, bem como as lavouras predominantes na região. Essa informação foi utilizada como entrada de dados para o modelo matemático, gerando assim arranjos considerados como ótimos e de menor custo de implantação. Este capítulo também aborda a importância da infiltração da água no solo para o estoque de água potável e para a preservação e manutenção da vida no planeta; uma vez que a água é levada para os rios, que deságuam nos oceanos e o processo do ciclo da água para a formação dos reservatórios naturais leva muitos anos, enquanto pode ser rapidamente destruído. Para caracterizar esse processo, analisamos também quais os tipos de solos mais frequentes no bioma Cerrado. Por fim, o objetivo deste capítulo foi trazer informações suficientes para compreensão tanto do ambiente trabalhado quanto do sistema de produção proposto a ser modelado matematicamente. Desta forma, o resultado do modelo será o mais satisfatório possível no auxílio ao pequeno agricultor para a tomada de decisão, sendo possível entender alguns benefícios ambientais, com indicações de arranjos que possam cumprir os requisitos de formação de sistema biodiverso e com um menor custo inicial.

2.4 CLIMA E USO DO SOLO NO BIOMA CERRADO

O Cerrado é um importante Bioma brasileiro e possui características climáticas próprias, quais sejam, baixo índice pluviométrico, sendo a média de 1.450mm/ano com os principais meses de ocorrência entre setembro e abril, e temperatura média anual entre 18°C a 23°C, o que é bem típico da região centro-oeste do país (MMA, 2020). Segundo a classificação de Köppen, o clima do Cerrado é Tropical chuvoso (Aw) (Ribeiro, J. F., Walter, 1998), porém, devido a variação acentuada de altitude variando entre 300 metros nas superfícies inferiores e chegando entre 900 e 1600 metros nas longas chapadas, pode ocorrer o clima Tropical de Altitude (Cwa) acima de 1200 metros EITEN, G 1994 apud (Ribeiro, J. F., Walter, 1998).

Os estados que abrangem o Bioma Cerrado são Goiás, Tocantins e o Distrito Federal, parte dos Estados da Bahia, Ceará, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Piauí, Rondônia e São Paulo. Também ocorre em áreas disjuntas ao norte nos Estados do Amapá, Amazonas, Pará e Roraima, e ao sul, em pequenas “ilhas” no Paraná. É composto por mais de 200 mil espécies distribuídas em 203 milhões de hectares, o que equivale aproximadamente a 20% do território nacional (Instituto Brasileiro de Florestas - IBF, 2020).

A região centro-oeste brasileiro possuía como principal cobertura natural as espécies do bioma Cerrado e como atividade econômica a pecuária, até a mudança da capital do Brasil do Rio de Janeiro para o Planalto Central nos anos 60. Resultando essa mudança na abertura de novas áreas agrícolas, com migração intensa de agricultores, principalmente das regiões Sul e Sudeste. Nesta região, a grande extensão de solos de textura média e argilosa, em relevos favoráveis à mecanização e para as demandas de correção de acidez e adubação, fez com que mudasse rapidamente o uso da terra de pecuária para agrícola (MANZATTO et al., 2002).

Apresenta, de forma geral, solos profundos, com valores de pH ácido, em geral com altos teores de Al e baixos teores de nutrientes, especialmente o fósforo, portanto, de baixa fertilidade se consideradas as lavouras anuais de grãos. A textura do solo é variável e são comuns cores avermelhadas ou amareladas, em função da presença de óxidos de ferro como a hematita ou goethita, predominando a classe dos Latossolos, tanto desenvolvidos em áreas sedimentares quanto em terrenos cristalinos, ocorrendo ainda solos concrecionários em grandes extensões (KER, 1997).

Com relação ao uso do solo, a região do Cerrado, segundo INPE (2013), possui 54% coberto pela vegetação nativa e 46% em uso antrópico. Os destaques do uso antrópico são a pastagem, que ocupa 30%, e lavouras anuais e perenes, que somadas ocupam 12% e representam 60 e 24 milhões de hectares, respectivamente. A principal lavoura anual no bioma Cerrado é a soja (15,6 milhões de ha), seguida pelo algodão e o milho, que somam 1,7 milhões de hectares. Com relação a sistemas de silvicultura a área total é de 3,1 milhões de hectares, do total da região. Na região identificada como MATOPIBA, que compreende o bioma Cerrado nos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, a expansão agrícola resultou em grande remoção de áreas de vegetação nativa, conforme dados analisados dos anos 2000 até 2014 pelo Agrosatélite (RUDORFF et al., 2015). Como essa expansão também ocorreu sobre áreas que deveriam permanecer preservadas, pela sua importância ambiental é importante avaliar o uso de SAFs nessa região, promovendo maior sustentabilidade e controlando a expansão agrícola sobre áreas de vegetação nativa ainda existentes (INPE, 2013).

Um terço da biodiversidade nacional está no Cerrado e, em termos mundiais, o bioma representa 5% da flora e fauna. A não preservação desse ambiente pode resultar na alteração do regime hídrico da região, afetando seis das oito maiores bacias hidrográficas do Brasil (MANZATTO et al., 2002). Entre os fatores hídricos de maior importância, o Cerrado concentra as três maiores bacias hidrográficas sul americanas que são: Amazônia/Tocantins, a do São Francisco

e do Prata. Sua preservação é essencial no âmbito nacional, já que uma dessas bacias alimenta áreas de países vizinhos e, dentro do território nacional, esse volume de água superficial representa 14% da produção hídrica (MMA, 2020).

Em termos da vegetação do bioma Cerrado, são descritos 11 tipos principais de vegetação. Nas formações florestais são observados: Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão. Nas savânicas (Cerrado sentido restrito) são observados: os Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda. Nas campestres: Campo Sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre. De subtipos para este Bioma, são reconhecidas 25 fitofisionomias conforme Figura 2.1 (RIBEIRO, J. F.; WALTER, 2008).

Já nas formações florestais do Cerrado predominam espécies arbóreas e, com dossel contínuo. A Mata Ciliar e a Mata de Galeria são fisionomias associadas a cursos de água, com ou sem presença de área bem ou mal drenada. A Mata Seca e o Cerradão ocorrem nos interflúvios, cujas características são de terrenos bem drenados e não associados a cursos de água. Para a Mata de Galeria são verificados dois subtipos: não-Inundável e Inundável. Já a Mata Seca é dividida em Sempre-Verde, Semidecídua e Decídua. O Cerradão pode ser classificado como Mesotrófico e Distrófico (RIBEIRO, J. F.; WALTER, 2008).

Sobre as espécies encontradas no Cerrado destacam-se características que dão a resiliência necessária para viverem diante de fortes períodos de estresse hídricos, quais sejam: xilopódios, caules subterrâneos que se espessam para acumular água e nutrientes; presença de gemas que permitem a rebrota das plantas após longos períodos de seca e queimadas; caules aéreos muito espessos e com acúmulo de cortiça para proteção contra o fogo; folhas com cutícula espessa e com pilosidades, minimizando perdas de água para a atmosfera; crescimento sob baixas concentrações de nutrientes e pH ácido; acúmulo de alumínio nas folhas; ajustamento osmótico das raízes, possibilitando a entrada de água nos meses secos e a continuidade da transpiração e da fotossíntese (SOUZA; GONÇALVES, 2019).

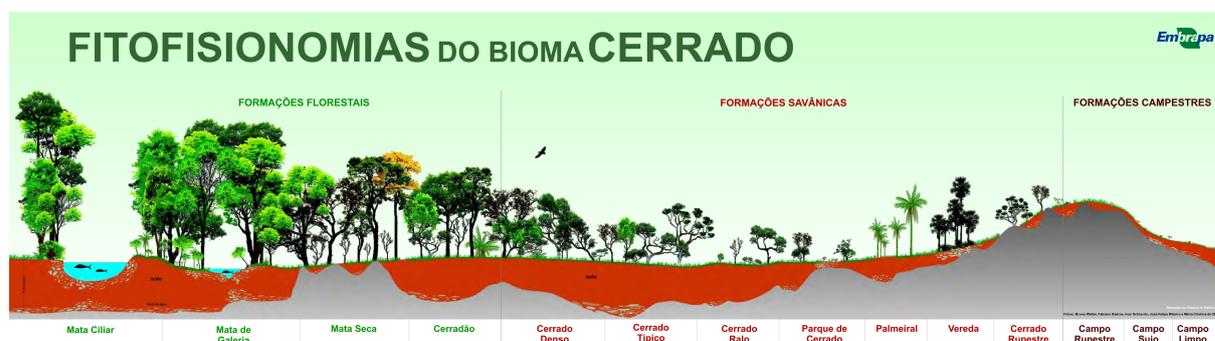


Figura 2.1: Fitofisionomias do bioma Cerrado. (Fonte: RIBEIRO, J. F.; WALTER (2008)).

2.4.1 Solos do Cerrado

O solo é um dos componentes do planeta Terra que é finito, frágil e não renovável, na escala de tempo da vida humana. Assim, manter a qualidade do solo é fundamental, considerando as terras aráveis no planeta, com tempo de regeneração na faixa de mil anos. A definição de solo considera um conjunto de corpos naturais, constituídos de partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos e vivos, combinando materiais minerais e orgânicos, e que ocupa as superfícies continentais do nosso planeta (SANTOS et al., 2018a).

No Brasil é adotado um sistema de classificação nacional, o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), que ao identificar os tipos de solos auxilia na compreensão e definição

de medidas mais assertivas para seu uso sustentável de acordo com o potencial e limitações.

O SiBCS agrupa os solos brasileiros em 13 classes, de 1º nível categórico (SANTOS et al., 2018a) e dentro das regiões do bioma Cerrado são observadas 12 das 13 classes de solos, dentre as quais, predominam Latossolos, Argissolos e Neossolos (GEOINFO/EMBRAPA, 2011).

Como pode ser observado na Tabela 2.1, as classes de solos com maior ocorrência nesse bioma são: Latossolo (41,6%), Neossolos (19,5%) e Argissolos (14,8%), também ilustrado nas Figuras 2.2 e 2.3. A área dessas três classes de solos correspondem 75,9% da área total do bioma Cerrado. Lembrando que o bioma Cerrado cobre mais de 20% do território brasileiro conforme levantamento do IBGE (MMA, 2020).

Tabela 2.1: Ordem de solos encontradas no Bioma Cerrado com respectivo percentual.

Ordem/categoria	Área (%)
Latossolos	41,6
Neossolos	19,5
Argissolos	14,8
Plintossolos	10,4
Cambissolos	7,46
Água	1,70
Planossolos	1,41
Gleissolos	1,37
Chernossolos	0,545
Nitossolos	0,497
Vertissolos	0,302
Luvissolos	0,296
Dunas	0,0521
Afloramento de Rochas	0,0237
Organossolos	0,0165

Fonte: Adaptado de (GEOINFO/EMBRAPA, 2011).

Um outro ponto relevante na Tabela 2.1 é a ocorrência de 10,4% de Plintossolos, cujas características, em algumas subordens, podem ser impeditivas para o crescimento e manejo intensivo de mecanização na maior parte das lavouras comerciais, pela presença de pedregosidade em superfície. Cabe aqui uma análise profunda local para apontar algumas alternativas para pequenos agricultores, com predomínio desses solos em sua propriedade.

Relacionando Sistemas Agrofloretais com solos, inúmeros benefícios são apontados para o recurso natural solo quando adotado essa forma de manejo. Um dos fatores mais relevantes são os atributos físico-hídricos do solo em ambientes de produção agroflorestral (MARQUES et al., 2022). Os solos, na maioria dos SAFs, apresentam alto a médio valor de matéria orgânica, resultando em maior porosidade e condutividade de água no solo. Como resultado temos a melhoria e manutenção dos atributos físico-hídricos do solo, o que é também favorecido com adoção de práticas conservacionistas que minimizem a erosão (TOMA et al., 2013).

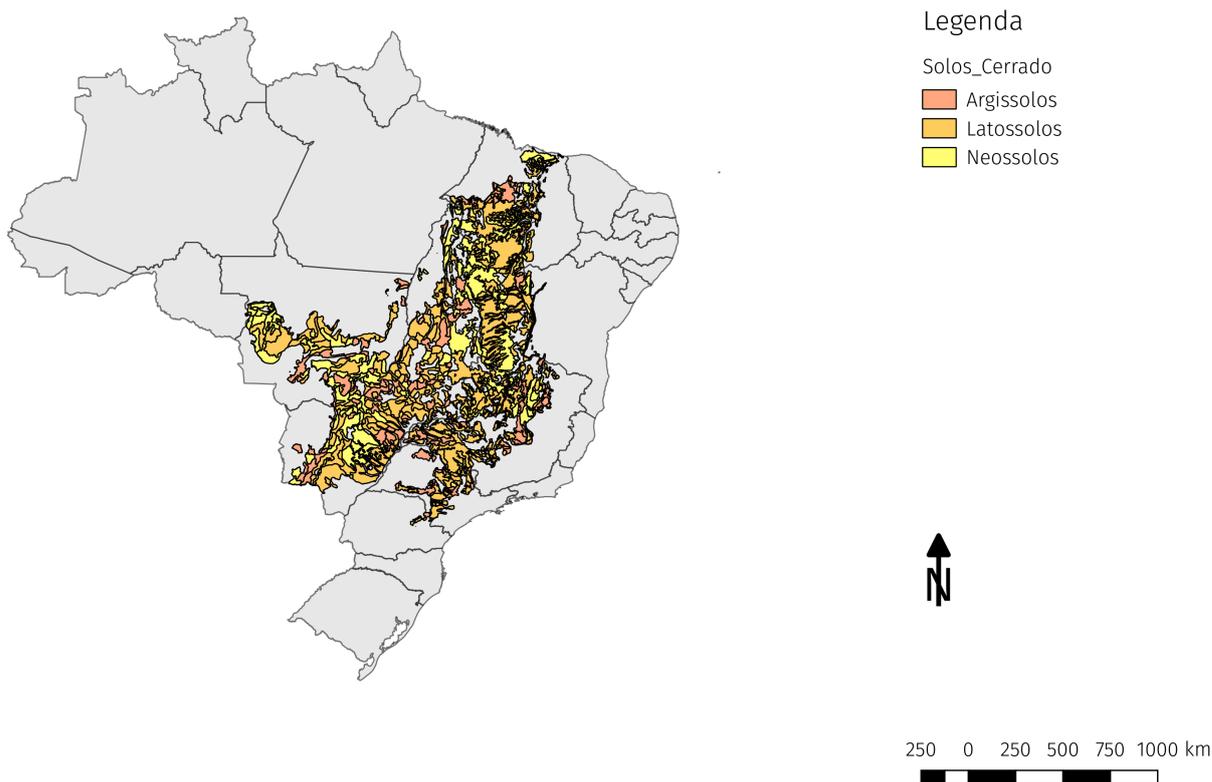


Figura 2.2: Mapa das principais classes de solos do Bioma Cerrado. Fonte: adaptado de (GE-[OINFORM/EMBRAPA, 2011](#)).

2.4.1.1 Latossolos

Podemos observar, através dos mapas gerados e adaptados do site da Geoinfo, o domínio da ordem de solo Latossolo no bioma Cerrado. Esses solos são caracterizados por serem constituído de material mineral, com qualquer tipo de horizonte A e horizonte B latossólico, variando a profundidade dos perfis entre 200 a 300 cm ou ainda maior ([SANTOS et al., 2018b](#)).

Como nesta ordem, os solos são muito intemperizados, em geral, possuem pouca disponibilidade de nutrientes para as lavouras comerciais além da baixa capacidade de troca catiônica. Os Latossolos, em geral, são distróficos e ácidos e com baixos teores de fósforo (menos que 1 mg/dm³), ou seja, apresentam limitações de fertilidade ([IPAM, 2020](#)). Em termos de relevo, geralmente são encontrados em locais planos a suave ondulado, mas podem ocorrer em áreas mais acidentadas, inclusive em relevo montanhoso ([SANTOS et al., 2018a](#)).

Em termos de aptidão agrícola, podem ser cultivados anualmente e são bons para reflorestamento e ou formação de pastagem, nas condições naturais de fertilidade. A estrutura física é favorável e possuem boa profundidade e drenagem, mesmo quando apresentam teor alto de argila, e são de fácil mecanização ([IPAM, 2020](#)). Assim, o manejo desses solos, de acordo com a sua aptidão agrícola, com as devidas correções de pH, de fertilidade e saturação do alumínio, e com adoção de práticas conservacionistas, permite boa produção também de lavouras comerciais.

Os Latossolos, em especial quando de classes de textura dos horizontes superficiais mais leves (próximas de 15% de argila), tem aspectos sensíveis de armazenamento natural de água devido à sua forte drenagem. A utilização de SAF para produção de alimentos e cultivo nestes solos pode ser uma alternativa para o agricultor, com incentivo ao manejo sustentável em áreas que necessitam baixa intensidade do manejo, mantendo assim o solo coberto ([SOUSA; LOBATO, 2000](#)). A maior suscetibilidade à erosão desses solos, em modelos de agricultura

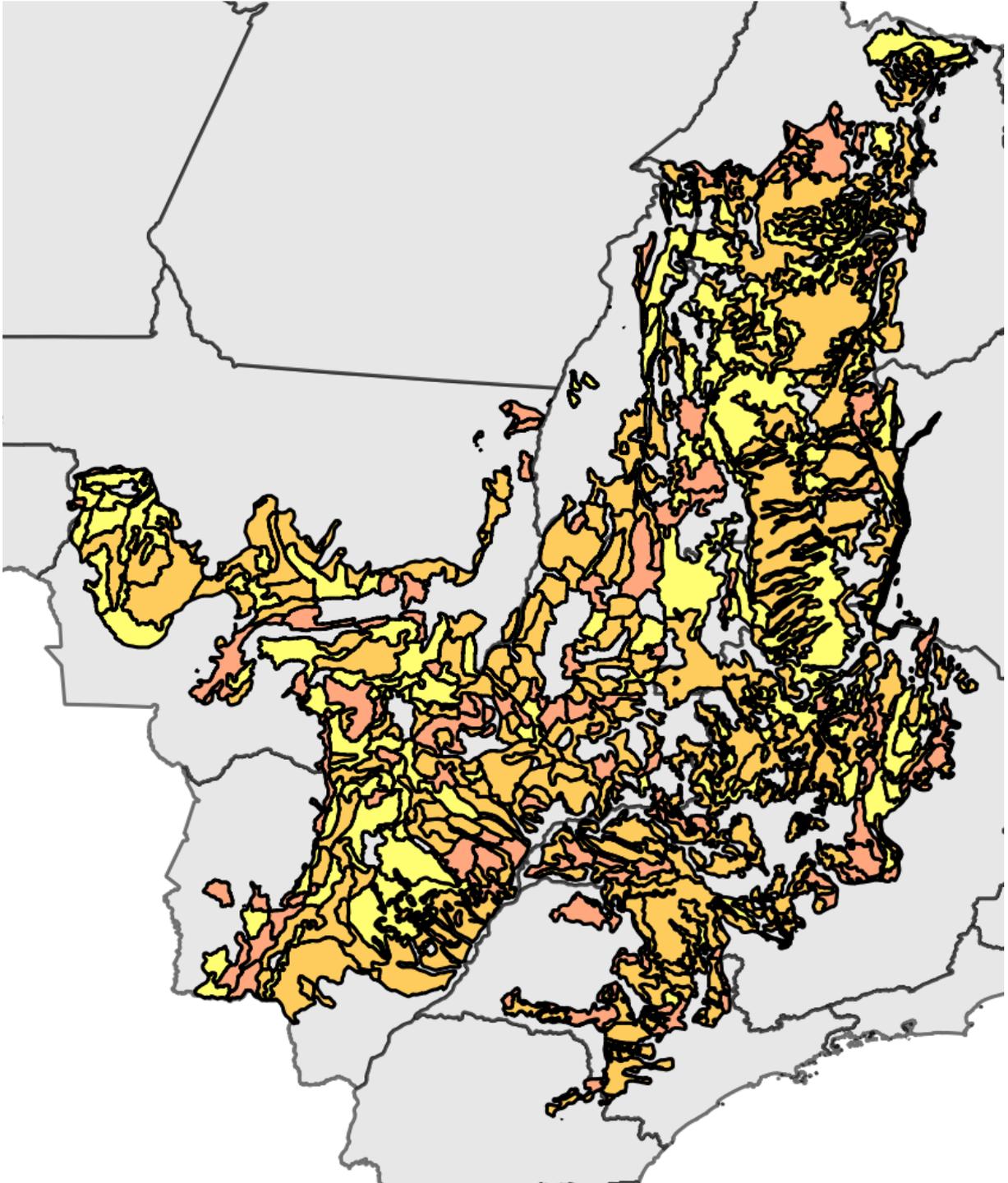


Figura 2.3: Ampliação da Figura 2.2 das principais classes de solos do bioma Cerrado.. Fonte: adaptado de ([GEOINFO/EMBRAPA, 2011](#)).

convencional, faz com que, ano após ano, sejam perdidas grandes quantidades de solo e junto a ele, material orgânico e mineral, importantes para o desenvolvimento das plantas ([SOUSA; LOBATO, 2000](#)).

Esses problemas podem levar os agricultores a terem alto custo de produção, uma vez que esses danos deverão ser reparados para manter uma agricultura viável. Muitos podem não dispor desse capital e abandonam essas áreas que teriam alta capacidade produtiva, se escolhido um sistema produtivo mais adequado. Essas terras abandonadas podem se regenerar naturalmente,

porém o tempo nem sempre está a favor do meio ambiente. Uma forma de recuperar áreas com alto grau de degradação é a intervenção humana com práticas agrícolas de processo (BURTET *et al.*, 2015), como as que iremos abordar mais adiante nesta tese, em seção específica.

2.4.1.2 Neossolos

A ordem dos Neossolos é a segunda mais presente do bioma Cerrado, representando 19,5% do total 2.1. Essa ordem tem como definição e características gerais ser de solos poucos evoluídos e sem a presença de horizonte diagnóstico subsuperficial, com predomínio de características herdadas do material originário (SANTOS *et al.*, 2018a). Dentro dessa ordem de solos temos quatro subordens: Neossolos Litólicos, Neossolos Regolíticos, Neossolos Quartzarênicos e Neossolos Flúvicos.

Predominam na região centro-oeste (15%) os Neossolos Quartzarênicos, mais profundos e de textura arenosa em todo o perfil, com reserva de nutrientes muito baixa. São solos com baixa aptidão agrícola pela textura muito arenosa, com baixa capacidade de retenção de água e elevada suscetibilidade à erosão (MANZATTO *et al.*, 2002).

Os Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos predominam em relevos ondulados a montanhosos. No caso de relevos mais declivosos, apresentam forte limitação para o uso agrícola e mecanização, sendo muito suscetíveis à erosão (MANZATTO *et al.*, 2002).

Os Neossolos Flúvicos são recorrentes em margens de rios, como áreas de mata ciliar (veredas). Quando de maior fertilidade natural, possuem algum potencial agrícola para culturas de sistema radicular mais superficial, devido a altura do lençol freático, em sistemas pouco intensivos de agricultura e para agricultura familiar, em função das restrições definidas em Lei para o seu uso.

Quanto ao manejo desses tipos de solos, para o agricultor que tenha em sua propriedade faixa muito expressiva de Neossolos, o sistema de plantio escolhido pode definir o sucesso de colheita ou não e de retorno dos investimentos. Sua identificação nas propriedades agrícolas é muito importante, já que podem apresentar fragilidade elevada para seu uso na agricultura convencional (MANZATTO *et al.*, 2002), sendo os sistemas SAFs uma opção a ser avaliada para garantir a sustentabilidade desses solos.

2.4.1.3 Argissolos

Os Argissolos são o terceiro tipo mais presente no Bioma Cerrado. Segundo o SiBCS, apresentam acúmulo de argila em profundidade devido a perda nas camadas superficiais do solo ou translocação para horizontes subsuperficiais, sendo frequente a baixa atividade da argila (CTC), comum a presença de altos teores de alumínio e baixa saturação de base (distróficos) e são normalmente ácidos (SANTOS *et al.*, 2018a).

Em geral ocorrem em relevos ondulados e a subordem predominante no território brasileiro é a dos Argissolos Vermelho-Amarelos. São encontrados no bioma Cerrado alguns Argissolos com boa fertilidade e potencial agrícola (MANZATTO *et al.*, 2002), mas apresentam como maior fragilidade a erosão.

2.4.2 Aptidão dos Solos para os SAFs

Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) têm seus princípios no uso sustentável dos recursos naturais disponíveis do local. São constituídos por arranjos entre lavouras agrícolas e florestas,

sem ou com pequeno uso de insumos externos, consorciados e manejados com base em processos naturais dos ecossistemas de cada ambiente. Um equilíbrio ocorre na medida que esse sistema diverso contribui para a biodiversidade. Em casos de ambientes degradados, os recursos naturais são recuperados gradativamente e de forma mais acelerada com a intervenção humana, quando se considera o processo como um todo, ou seja, ambientes ricos, férteis, úmidos e vivos (GÖTSCH, 1997).

Os Serviços Ambientais (SAs) nos SAFs podem ser observados à medida que as árvores podem exercer o seu papel dentro de um ecossistema florestal bem desenhado. Quando verificamos os resultados das interações ecológicas dentro do sistema, observamos todos os serviços acompanhados de mais componentes do ecossistema florestal, como na Agrofloresta. Entre os serviços ambientais dos SAFs estão: fixação de carbono, ciclagem de nutrientes, abrigo para diversas espécies, controle de pragas e doenças, sombra para animais e lavouras sensíveis às altas temperaturas e o aumento da infiltração da água das chuvas no solo, assim reduzindo erosão hídrica (PARRON; BROWN, 2015).

Alguns desses serviços provenientes da componente arbórea no SAF serão avaliados no desenvolver desta tese.

Sabendo dos benefícios de uma produção agrícola que tem a árvore como componente, cobertura (viva e morta) do solo através das podas e incorporação ao solo promovendo a ciclagem de nutrientes e manutenção da matéria orgânica (MICCOLIS et al., 2016b) e como sombreamento para conforto do animal ou ainda para cobertura e formação do sub bosque, que depende de baixa radiação para seu desenvolvimento, indicamos ao modelo matemático a presença incondicional de espécie arbórea nos arranjos.

2.4.3 Serviço Hídrico das Espécies Arbóreas e de Suas Raízes Profundas

As folhas e as raízes das árvores são meios de captação de água, tanto para o sistema individual da espécie como também para o sistema complexo do meio ambiente. Em estudo feito na Unicamp, foi constatado que o processo de captação da umidade da água na atmosfera pelas folhas ocorre tanto na Floresta Amazônica como também na Mata Atlântica, que floresce a mais de mil metros do nível do mar no litoral Paulista (LOPES, 2008). Este sistema complexo de captação de água, primeiramente, foi descrito na Califórnia por Todd Dawson, em 2004. Foi constatado como as maiores árvores do mundo, as Sequóias (*Sequoia sempervirens*), mantinham uma estratégia de hidratação de 30% da água captada pelas folhas durante o ano. Sem esse processo a permanência dessa espécie poderia ser inviável, para a região de estudo, uma vez que a quantidade de chuvas é equivalente à do bioma Caatinga no Brasil.

Uma outra estratégia hídrica observada em regiões com períodos de escassez de água, como no Cerrado, é o transporte e liberação hídrica pelas raízes. A água é extraída das camadas úmidas mais profundas do solo e depositada pelas raízes nas camadas mais secas superficiais (CALDWELL; RICHARDS, 1997). Inicialmente esse sistema foi descrito por Martyn Caldwell e James Richards em plantas das regiões desérticas e agora em estudo realizado em ecossistemas brasileiros (OLIVEIRA et al., 2005).

Esse mecanismo de liberação hídrica pelas raízes de algumas espécies, observado em regiões semiáridas, pode também ocorrer em regiões com baixa umidade sazonal. Esse movimento da água pelas raízes e liberação na superfície foi demonstrado em diferentes regiões e pode ter sido uma das responsáveis pelo aumento das atividades nas raízes. Uma vez disponível a água na superfície, em contato com os nutrientes e minerais, estes podem ser utilizados pelas plantas de raízes mais superficiais (CALDWELL; RICHARDS, 1997).

Todo esse trabalho desenvolvido por raízes profundas pode indicar que dentro do sistema

a espécie deve se beneficiar de alguma forma com esse processo. Há evidências que mostram que, como na *Optimality theory*, Caldwell & Richards (1997) estudado por Givnish, 1986, deve haver um custo para a planta ceder água em solos circundantes para o processo produtivo das plantas vizinhas.

Ainda não existe conhecimento conclusivo sobre a extensão e magnitude do transporte hídrico ascendente em sistemas de cultivos perenes e anuais, porém sua presença influencia na irrigação, em práticas de fertilização e consórcios. São várias as implicações para este sistema ser confirmado como aquisição de nutrientes, processos biogeoquímicos de ciclagem de nutrientes e crescimento e persistência de raízes em solos secos (CALDWELL; RICHARDS, 1997). Essas características das espécies que transportam água pelas raízes, no sentido ascendente, não são apenas para ambientes áridos, como já mencionado. Há estudos que confirmam também essa habilidade das plantas de Florestas Tropicais como a Floresta Amazônica. Esses locais também podem ter períodos intensos de estiagem em eventos como o do *El Niño* sendo então beneficiados por essa característica particular de algumas espécies (OLIVEIRA et al., 2005). Alguns estudos de Nepstad et al. 1994, Hodnett et al. 1995, Saleska et al. 2003, Goulden et al. 2004 apud Oliveira et al. (2005), já confirmaram que nesses locais em épocas de seca há tanto a transpiração como o sequestro de carbono, pelo uso de águas oriundas de camadas mais profundas.

Quando analisadas as interações de competição intra e interespecíficas das plantas abaixo e acima do solo fica claro que a complexidade da Natureza não é levada em conta em experimentos de forma isolada. Se analisadas a nível de campo há uma complexidade de fatores bióticos e abióticos que se inter-relacionam (ZANINE; SANTOS, 2004). Sendo assim, como na Teoria Sintrópica de Ernst Gotsh, o conhecimento do homem deve ir além das práticas agrícolas convencionais para poder produzir aquilo que a natureza já realiza.

As espécies arbóreas podem desempenhar papéis distintos, e ou, complementares dentro de um sistema agroflorestal. Elas podem ser tanto de caráter de serviço onde proporcionam material de cobertura ao solo, com as podas, e até mesmo em sua retirada do sistema que serve como parte do fornecimento de cobertura do solo e parte de adubação verde. Outro serviço ao sistema poderá ser o de sombra para as outras espécies que se desenvolvem melhor com menor incidência solar.

Um estudo em Agrofloresta de Cacau-Gliricídia em Sulawesi (uma das ilhas da Indonésia), por exemplo, provou que o aumento da cobertura de copa das árvores de sombra aumenta a captação da água e também o diâmetro do caule do cacau e a sua área foliar (TSCHARNTKE et al., 2011). Já Ong, Kho e Radersma (2004) mostram efeitos positivos e complementares dos recursos fornecidos pelas espécies arbóreas em sistemas agroflorestais (TSCHARNTKE et al., 2011).

Complementarmente, o sistema radicular do cacauzeiro, geralmente, usa água da camada superior do solo, e as árvores de sombra como a Gliricídia usam água de camadas mais profundas (SCHWENDENMANN et al., 2010). Provou-se, nessas duas espécies, que há sinergia entre elas. As plantas do cacau tendem a ter raízes mais densas nas camadas superiores do solo. Já o sistema radicular profundo da Gliricídia, no uso dos recursos hídricos, eleva e redistribui a água nas camadas superiores do solo na zona da raiz do cacau.

Isso se traduz em uso sustentável de recursos e rendimentos mais altos na Agrofloresta sombreada de cacau, promovendo também uma redução na irrigação (TSCHARNTKE et al., 2011). Neste caso, mostrou-se a interação positiva entre uma árvore produtiva e uma árvore de sombra no sistema agroflorestal, em condições de solo seco quando as raízes alcançam as camadas mais profundas do solo.

O resultado positivo da produção agrícola dependerá das aptidões ambientais e da deci-

são sobre o tipo de plantio pelo agricultor. As determinações de como fazer um sistema complexo precisam de conhecimento mais profundo do solo e das espécies de árvores de sombra e seu papel entre as culturas. Assim, o sistema poderá alcançar um equilíbrio positivo durante toda a manutenção do ciclo de vida das culturas no sistema misto multivariado.

O estudo de [Tsharntke et al. \(2011\)](#) concluiu que implementar esquemas de certificação é provavelmente mais eficaz quando envolve a transferência de conhecimento entre agricultores e cientistas. Esse conhecimento compartilhado pode melhorar o gerenciamento das árvores de sombra dentro de um sistema agrícola.

2.5 AGROFLORESTA E ASPECTOS RELEVANTES NA AGRICULTURA DO CERRADO

Para a implantação de uma agrofloresta seguem-se alguns passos iniciais como: identificação da área e sua metragem, disponibilidade hídrica, cobertura disponível para o solo, locais dos canteiros direção leste - oeste (quando possível, visando a conservação do solo), árvores já existentes, material e mão de obra disponíveis. Caso o objetivo principal econômico seja o de plantas frutíferas, o plantio é feito de forma a garantir a maior incidência solar para as árvores e manter as entre linhas mais sombreadas (PENEIREIRO, 1999). As árvores disponíveis no local são avaliadas e caso haja a necessidade de maior entrada de luz no canteiro pode ser feita a poda e o material vegetal, picado e distribuído por toda a área, servirá para a cobertura do solo. (GÖTSCH, 1997).

Seguindo os aspectos apontados pelos pioneiros no cultivo de sistemas agrofloretais mais adensados, no primeiro momento, deve-se fazer o plantio todo de uma vez para não haver competição entre espécies. As espécies existentes são podadas para seguirem novo ciclo de crescimento junto com as espécies introduzidas. Nessa etapa tanto ocorre demanda horizontal quanto vertical para esse modelo temporal de cultivo. Deve-se compreender as competições existentes, tanto acima como abaixo do solo, entre as espécies escolhidas. Assim, é fundamental ao sistema produtivo que o arranjo espacial minimize a competição por luz e com sistemas radiculares que exploram camadas distintas do solo (ZANINE; SANTOS, 2004).

No sentido horizontal temos o tamanho da área disponível e particularidades como de margens de rio ou encostas de morros, declividade acima de 45 graus, topo de morro, que são restritas ou até proibidas para o uso na agricultura. Porém, dependendo do planejamento de uso da área, o agricultor pode sim ter ganho ao proteger esses locais. No sentido vertical temos os estratos, os andares ocupados pela vegetação, que se bem arranjado, o agricultor poderá obter o máximo de ganhos verticais, conforme o tempo de uso e exploração desse ambiente.

Ou seja, aqui já conseguimos definir um modelo ótimo (modelos matemáticos de otimização) para o pequeno agricultor que tomará a decisão de escolha das espécies arbórea, frutífera, agrícola e forrageira. Pode ser alcançada uma resposta ótima, conforme o tempo de uso da agrofloresta, dentro dos ciclos de vida de cada espécie, ou seja, um conjunto de culturas que irá crescer e dar rentabilidade enquanto a espécie arbórea alcança porte em que passa a ser comercialmente viável, com o menor custo de implantação e o melhor arranjo ambiental.

Um modelo matemático capaz de observar essas nuances do cultivo de espécies diferentes, com ciclos de vida e estratos distintos poderá ser um primeiro passo para o desenvolvimento de uma inteligência artificial, que venha a compreender o processo de uma agricultura complexa como o Sistema Agroflorestral multiestrato sucessional - SAFms.

Nesse momento, poderemos definir para o modelo matemático os critérios para as espécies que irão compor o SAF. Elas serão definidas de acordo com as mais cultivadas no Cerrado, conforme a literatura consultada, incluindo arbóreas nativas e exóticas, em função da sua composição de valor econômico, cultural e social. Conforme já visto há preferência pelas frutíferas e essas serão inseridas em maior número dentre as espécies.

Por fim, a implantação agroflorestral seguirá a linha já desenvolvida e estudada da agricultura de processos, com princípios já estabelecidos e comprovados, cuja busca é pela otimização e não maximização dos recursos (PENEIREIRO, 2002). Para isso, dois modelos foram desenvolvidos para amparar o desejo de constatação de valor ambiental, entre as espécies utilizadas em diferentes consórcios, e ter a indicação de um conjunto de espécies para o primeiro estabelecimento de uma agricultura de processos com menor custo inicial.

2.5.1 Os SAFs, a Agricultura de Processos e a Agricultura Familiar

A agricultura brasileira vem apresentando ritmo crescente de expansão, atingindo recordes nas safras de grãos e produção bovina, produtos voltados para exportação. Esse crescimento rápido é positivo para a balança comercial, porém, deixa custo elevado aos recursos naturais (solo, água e floresta) que, na grande parte, são usados de modo não adequado, comprometendo a substancialidade da atividade agropecuária brasileira (ALVES et al., 2015).

Na busca por sistemas agrícolas que possam manter o uso dos recursos naturais a uma taxa segura de preservação, se apresentam os SAFs. Esses sistemas, ao contrário da agricultura convencional, preservam as boas propriedades físicas do solo através de uma combinação de adição de matéria orgânica e os efeitos das raízes das árvores (PENEIREIRO, 1999).

Para tal, é importante analisar o papel do agricultor familiar e a agricultura tropical brasileira.

2.5.1.1 Território nacional e área de ocupação do agricultor familiar

A agricultura familiar é responsável pela base alimentar do brasileiro produzindo cerca de 87% do que está no comércio, representando 76,82% dos estabelecimentos rurais e ocupando apenas 23,03% da área total dos estabelecimentos rurais no Brasil. Isso significa que quase 77% das áreas de produção agrícola, que são de grandes produtores, produziram em 2021, apenas 13% dos alimentos para o consumo interno (LANDAU; SILVA, 2020; LANDAU et al., 2020). Entretanto, esses dados são do último Censo Agrário de 2017 e, comparados aos de 2006, há diminuição tanto do número de estabelecimentos rurais quanto da área ocupada pela agricultura familiar (IBGE, 2006).

Isso deixa clara a preocupação em trazer cada vez mais tecnologia e desenvolvimento ao pequeno agricultor familiar, uma vez que a segurança alimentar brasileira depende dele. A elaboração de políticas públicas que fortaleçam a agricultura familiar é essencial, assim como o desenvolvimento de tecnologias e transferência de informações ao pequeno agricultor, para a manutenção e crescimento desses produtores.

Em termos de análises para o bioma Cerrado, quando observamos as informações dos estabelecimentos das Regiões Norte e Centro-Oeste, temos uma visão de como está a distribuição do pequeno agricultor familiar. A concentração das terras em 2006 era de 9,46% para a Região Norte e de 4,98% para o Centro-Oeste (LANDAU, 2015). Já em 2017, houve aumento, em que a Região Norte passou para 12,33% e para o Centro-Oeste foi de 5,73% (LANDAU; SILVA, 2020; LANDAU et al., 2020). Esses valores são relativamente baixos quando comparados com outras regiões, representando apenas um quarto do que é ocupado pelo agricultor familiar no território brasileiro. Porém, é extremamente relevante para a região, que precisa desses agricultores para manter a base alimentar da população.

Quando comparada área, em hectares (ha), das propriedades familiares dessas regiões no bioma Cerrado, nota-se que são as de maiores aéreas do Brasil. As propriedades têm em média 50 ha e 20% dessas áreas são destinadas ao pequeno agricultor familiar (LANDAU; SILVA, 2020; LANDAU et al., 2020). Neste aspecto, é uma boa dimensão de área a ser trabalhada e explorada pelo pequeno agricultor que queira implantar o SAF.

Em termos de valor econômico para a região, a participação do agricultor familiar não é expressiva no Bioma Cerrado. É de apenas 15%, o que é esperado, uma vez que nesse bioma estão concentrados os maiores latifundiários ou propriedades rurais de caráter empresarial do Brasil (LANDAU; SILVA, 2020; LANDAU et al., 2020).

2.5.1.2 Agricultura tropical brasileira e o Cerrado

O Brasil ocupa um lugar de destaque entre os maiores produtores de alimentos do mundo, além de ser um dos países de maior biodiversidade e cobertura natural. Porém, análises da mudança da cobertura natural brasileira pelo IBGE mostram que de 2000 a 2018 tivemos perdas, embora, em ritmo de decréscimo até 2018. As áreas mais afetadas estão nos biomas Amazônia e Cerrado; com destaque para o Cerrado que expandiu de forma contínua a agricultura. De tal forma que, em 2018, as áreas agrícolas brasileiras nesse bioma já eram 44% do total e as de silvicultura correspondem a 42% do total no Brasil (IBGE, 2020).

O bioma brasileiro de maior extensão depois do bioma Amazônico é o Cerrado. Possui mais de 2 milhões de quilômetros quadrados, representando 23% do território nacional, tornando, esse bioma um dos mais importantes para o Brasil pela sua extensão e características propícias para produção agrícola. O Cerrado brasileiro é muito próximo ao que conhecemos por Savana e está presente em 12 Estados brasileiros: Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná, São Paulo e Distrito Federal (MMA, 2020).

Inicialmente, o bioma Cerrado na região central do Brasil passou a ser explorado pela agropecuária, devido a uma série de fatores simultâneos, com destaque para processos migratórios e de colonização, programas de desenvolvimento do Governo Federal, adaptação tecnológica de produção, avanço da infraestrutura, aumento do preço da terra nos estados do Sul do Brasil e em São Paulo, e aumento da demanda interna de alimentos e das exportações (MATOS; PESSÔA, 2017). O crescimento da área agrícola no Cerrado faz perceber o quanto essa região sofre com a pressão de produzir alimentos. O segundo maior crescimento, a silvicultura, mostra a exploração para produção de madeira e celulose. O que pode ser um ponto positivo de avaliar SAFs neste bioma, pois a base de formação de sistemas agroflorestais está nas escolhas das arbóreas no desenho e planejamento multiestrato sucessional.

A expansão agrícola no Cerrado teve alta de 52% de 2000 a 2018 e as áreas de silvicultura de 104%. Toda a expansão agrícola está relacionada às commodities, concentradas na região centro-Sul (Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul), devido ao maior investimento e melhor aptidão agrícola das terras nessa região (IBGE, 2020). As áreas de Cerrado tornaram-se as principais produtoras de grãos do Brasil com aumento de 8 milhões de toneladas para 70,3 milhões de toneladas de 1975 a 2010, e expansão agrícola de 7 para 24,1 milhões de hectares neste período. Também foi observado em todo o Brasil um aumento de produtividade em média de 1,1 para 2,9 toneladas por hectare (IBGE, 2014).

Em termos de grãos, a soja e o milho são os grandes destaques com 56% e 36%, respectivamente, do volume de toda a produção de grãos no Cerrado no ano de 2010. Hoje as terras no bioma Cerrado são responsáveis por, aproximadamente, 15% de toda a soja produzida no planeta. Do ponto de vista econômico, a cultura da soja ganhou importância nos últimos anos, principalmente com a ampliação do mercado externo e das necessidades alimentícias asiáticas, em especial a China e a Índia. Em função disto, a produção mundial de soja foi multiplicada por 10 nos últimos 40 anos (IBGE, 2014). Já o milho produzido no Cerrado atingiu a marca de, aproximadamente, 27 milhões de toneladas produzidas em 2010, o que correspondeu a 48,7% da produção nacional, que ficou em 55,4 milhões de toneladas. Isso inclui um destaque ao desenvolvimento da segunda safra do milho, a safrinha (IBGE, 2014).

A região de mais recente ocupação agrícola, denominada de MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) também vem apresentando aceleração das mudanças de cobertura vegetal, com intensa remoção do Cerrado e mudanças no perfil dos produtores rurais, de familiares para grandes empresas ou propriedades. Essas regiões vêm sendo ocupadas por soja,

algodão e outras monoculturas de grãos e cereais (IBGE, 2020; INPE, 2013).

Por outro lado, o cerrado foi o bioma que mais perdeu vegetação nativa em termos proporcionais segundo IPAM (2020), são 21,3% do bioma sendo removidos. As reduções estão sobre as áreas de vegetação campestre e florestal, substituídas por pastagem com manejo e agricultura (IBGE, 2020). Nessa tese buscou-se analisar e até indicar a inclusão de Sistemas Agroflorestais (SAFs) nestas áreas.

Sendo assim, a região do bioma Cerrado concentra a maior expansão agrícola do território nacional o que justifica a importância de trabalhos nessa região, a fim de proporcionar conhecimento diferenciado, através do uso de modelos matemáticos de sistemas produtivos sustentáveis, como é o caso do SAF. O sistema de produção sustentável avaliado pelo nosso modelo é o de Sistemas Agroflorestais (SAF), e também um dos mais específicos, os Sistemas Agroflorestais multiestratos sucessionais (SAFms), que combina as práticas de produção agrícola com espécies arbóreas e forrageiras de uma forma mais intensa valorizando diferentes arranjos de espécies e suas alturas com diferentes ciclos de vida.

Para melhor representar e entender a dinâmica de um SAFms neste bioma tão amplo e biodiverso, buscou-se pelo menos uma propriedade rural de SAFms ou SAF nos 12 Estados. Matematicamente, o modelo receberá informações de produtores diferentes para otimizar e avaliar o melhor arranjo de SAF e assim chegar ao ótimo de uma produção agrícola no bioma Cerrado.

2.5.2 Os sistema de produção biodiverso através de processos

Seguindo os conceitos definidos pela Embrapa (KLUTHCOUSKI et al., 2015) sobre sistemas integrados temos o Sistema de Integração Lavoura-Floresta (ILF), ou Sistema Silvagrícola, que integra os componentes agrícola e florestal pelo arranjo de espécies arbóreas com cultivos agrícolas (anuais ou perenes). O componente agrícola pode ser utilizado na fase inicial de implantação do componente florestal ou em ciclos agrícolas anuais durante o desenvolvimento do sistema. Segundo os autores citados, este sistema é adotado onde existe demanda para produtos agrícolas e florestais e não há demanda para a produção pecuária ou restrições para a criação de animais. Geralmente, quando se utiliza o eucalipto como espécie florestal, adotam-se espaçamentos maiores entre renques ou com fileiras múltiplas, onde se pode, ou não, realizar os desbastes programados, visando à agregação de valor na produção florestal.

Em pequenas propriedades, o Sistema ILF é utilizado para a produção de diversas espécies agrícolas e florestais e é também conhecido como um dos tipos de Sistema Agroflorestal, sendo fundamental conhecer o comportamento das diferentes espécies quando cultivadas em arranjo, isto é, se há algum efeito negativo de uma espécie sobre a outra e as suas exigências por água, luz e nutrientes (ALVES et al., 2015). As espécies arbóreas são todas as espécies de árvores que se destinam principalmente à produção de madeira para usos múltiplos (lenha, construção civil, tratamento de estacas e mourões, serraria etc.). Este sistema pode contribuir na correção do solo e na implantação da floresta sendo o cultivo de grãos nas entrelinhas uma fonte de renda e uso do ambiente até que as espécies arbóreas estejam prontas. Na fase inicial da floresta há produção de culturas agrícolas e grãos que irão ajudar a amortizar os custos da sua implantação (NAIR, 1985).

Quando o agricultor tem o objetivo de ter pastos com árvores, ele pode optar pelo sistema que integra esses dois componentes chamado de Sistema Silvopastoril ou Silvopastoril, também conhecido como Integração Pecuária e Floresta (IPF). Esse sistema é muito utilizado na região que estamos explorando neste estudo. O bioma Cerrado, tem tradição na pecuária e, agora também, na produção de madeira e celulose através das árvores plantadas no sistema de

Silvicultura (NAIR, 1985). Estes sistemas são tidos como produção indireta, quando há uma carro-chefe de produção e a outra cultura é um complemento e também prestadora de serviços ambientais dentro do sistema (DOURADO, 2016). Este mesmo autor buscou estudos que apresentam experiências de cultivo de árvores no Cerrado utilizando diferentes técnicas como árvores em quintais, em áreas de produção agrícola, em áreas restritas como RL e APP. Entre as espécies mais citadas pelos pesquisadores foram mangueira, bananeira e laranjeira, para as exóticas e dentre as nativas estão mais citadas pequi e caju. Em seu estudo, Dourado (2016) concluiu que, nos locais analisados do Cerrado, os que mais cultivam árvores eram aqueles que utilizavam sistemas produtivos com a arbórea como uma componente do pasto.

Os sistemas tidos como agrossilvipastoril, conhecidos como Integração Lavoura Pecuária e Floresta (ILPF), combinam os três elementos, árvore, cultura agrícola e pasto, em um mesmo espaço podendo ter diversos arranjos e propósitos diferentes pelo agricultor. O agricultor pode utilizar as arbóreas tanto para produção de alimentos como para cobertura do solo e alimento para os animais através das podas, dependendo das espécies adotadas para compor. Este sistema seria o mais próximo do SAFms proposto para ser analisado neste estudo. Pois a multiplicidade e a diversidade das espécies podem ser trabalhadas de várias maneiras (NAIR, 1985). Este sistema pode ser utilizado em locais onde existem restrições de uso como as que possuem inclinações entre 25° e 45°, áreas de APP, para recomposição, podem ser plantados espécies arbóreas com espécies perenes ou de ciclo longo, exóticas com nativas em até 50% da área total para áreas de pequeno agricultor (MICCOLIS et al., 2016a).

Todos os sistemas apresentados acima têm a presença de arbóreas dentro do conjunto de espécies, o que é um grande diferencial tanto financeiro quanto ambiental. Assim, o Ministério do Meio Ambiente - MMA criou o Plano Nacional de Silvicultura com Espécies Nativas e Sistemas Agroflorestais - PENSAF com o objetivo de possibilitar e facilitar o cultivo da silvicultura e dos sistemas agroflorestais com espécies nativas. O PENSAF foi elaborado para funcionar em um período de dez anos com orçamento de R\$ 2,2 milhões a cada ano, em que o maior custo foi para os insumos de sementes e mudas (BAGGIO et al., 2006).

Os sistemas produtivos que utilizam a árvore, como o SAF vêm sendo estudados e desenvolvidos há anos e seus benefícios são citados por diversos autores não só no Brasil, mas em locais diferentes do planeta (MICCOLIS et al., 2016a; RIGHI et al., 2011).

Em se tratando dos benefícios e independente do sistema de integração adotado pelo agricultor, quando bem implementados podem gerar vários benefícios econômicos, sociais e ambientais para o produtor e a região, tais como (TOBERGTE; CURTIS, 2013):

1. diversificação das atividades na propriedade;
2. redução dos riscos climáticos e de mercado;
3. melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo;
4. redução na ocorrência de pragas, doenças e plantas daninhas, com consequente diminuição no uso de inseticidas, fungicidas e herbicidas;
5. mais eficiência no uso de fertilizantes pelas diversas culturas com diferentes sistemas radiculares;
6. otimização no uso de máquinas, equipamentos e mão de obra;
7. redução dos custos com insumos, tanto na atividade agrícola quanto na pecuária;
8. aumento da produção por unidade de área;

9. aumento da competitividade do agronegócio brasileiro;
10. agregação de valor à produção; e
11. aumento de renda da propriedade.

Segundo [Tobergte & Curtis \(2013\)](#), para o sucesso dos sistemas integrados e de múltiplos usos é fundamental que seja realizado um planejamento para implantação do sistema escolhido, levando-se em consideração diversos fatores, tais como:

1. condições edafoclimáticas (tipo de solo, topografia, altitude, precipitação, temperaturas máximas e mínimas, umidade relativa do ar e ventos);
2. atividades já desenvolvidas na propriedade e o saber local;
3. demanda de mercado para os diferentes produtos do Sistema;
4. recursos humanos, materiais e financeiros disponíveis;
5. possíveis fontes de financiamento;
6. disponibilidade de assistência técnica;
7. oferta de insumos (corretivos, fertilizantes, sementes e mudas), de serviços e de mão de obra;
8. infraestrutura disponível na propriedade e na região para armazenamento e/ou processamento da produção; e
9. logística de transporte da produção.

O modelo desenvolvido nesse estudo utilizou dados de SAFs reais que já aplicam e se beneficiam desses sistemas complexos. Neste sentido, é pressuposto que o produtor tenha executado seu projeto levando em consideração todas as etapas descritas anteriormente.

2.5.2.1 Planejando um SAFms

Para o sucesso de qualquer SAF e de múltiplas espécies é fundamental que haja um planejamento respeitando algumas etapas para a implementação de sistema produtivo que considera a combinação de várias espécies em um mesmo espaço. As fases para um bom planejamento, segundo técnicos extensionistas, são: diagnóstico da propriedade, planejamento da produção, estudo de mercado, escolha dos componentes do SAF e escolha do arranjo do plantio. Essa sequência também é observada em outras fontes quanto ao quesito plantações ([FRANKE et al., 2000](#); [PEREIRA et al., 2012](#)).

Via de regra um bom planejamento deve levar em consideração mudanças positivas tanto ao meio quanto à sociedade. Um ponto chave está na plantação de florestas que podem ser benéficas à sociedade porém devem também ser capazes de produzir benefícios ambientais. Uma inserção arbórea deve respeitar a floresta nativa do entorno ([BAGGIO et al., 2006](#); [MOREIRA et al., 2010](#); [PEREIRA et al., 2012](#)).

Uma Agrofloresta é uma combinação entre espécies de serviço, culturas e árvores que podem ter diferentes objetivos para o proprietário ([MICCOLIS et al., 2016a](#)). Sabendo que esta

combinação deverá respeitar a fauna e a flora nativa e garantir retorno financeiro para o proprietário da terra, o objetivo fica claro ao fazer uso de modelos matemáticos capazes de integrar as variáveis em questão. Neste sentido as variáveis compreendem: o espaço (tamanho disponível de terra própria para o uso) e que é dada com o diagnóstico da propriedade; no planejamento da produção devem ser levados em consideração as culturas da região e domínio do agricultor; com o estudo de mercado temos o preço de aquisição dos insumos de mudas e sementes para que o modelo possa indicar a melhor combinação de culturas para a minimização dos custos de implementação; com a escolha das componentes do SAF temos que observar o bioma no qual estamos trabalhando para indicar ao modelo espécies arbóreas que respeitem a biodiversidade local; e por fim, indicar ao modelo os tipos de arranjos existentes e assim, de forma randômica, o sistema poderá avaliar o melhor arranjo conforme princípios fundamentais entre as espécies arbóreas e culturas dentro de um SAFms.

O modelo que avalia as condições ambientais é apresentado neste capítulo e o modelo que minimiza os custos para implementação de um SAF na fase zero se encontra no Capítulo 3. Nos dois casos, o bioma considerado é o do Cerrado e as avaliações com espécies comuns tanto em sistemas complexos como para esse bioma.

Em se tratando da zona tropical do Planeta Terra, estudos que analisam o dinamismo de culturas plantadas juntas são amplamente estudados e informações de espécies que aceitam ou não outras espécies no mesmo espaço são encontradas com certa facilidade. Como exemplo disso, temos as palmeiras e coqueiros como espécies de fácil uso em sistemas integrados e a seringueira como uma espécie que não é viável em sistemas integrados devido ao seu hábito de crescimento e método de cultivo (YOUNG, 1994). Embora, Righi et al. (2011) verificaram maior umidade em locais de cultivo com seringueira mostrando o serviço dessa espécie para as camadas superiores do solo.

Conforme a literatura, espécies indicadas em sistemas integrados são, por exemplo, dendê, coco, cacau, café, caju, pimenta do reino, sisal e abacaxi sendo o coco e caju as menos rentáveis (YOUNG, 1994). Estas espécies já são verificadas em sistemas também no Brasil e podem compor um SAFms devido as suas morfologias e hábitos de crescimento. Também o uso nas entrelinhas do café de alguns leguminosas, com benefício para a produção do café ou quando não há aumento na produção é compensado pelo preço no café diferenciado deste sistema (LOPES et al., 2009). No caso do cacau é também conhecido o beneficiamento para a espécie quando sombreada por uma espécie arbórea que atinge patamares mais altos de dossel (PIASENTIN; SAITO, 2014).

Essas observações dentro de um SAFms são necessárias para que o sistema integrado possa seguir os princípios de formação e sem prejuízos tanto ambientais quanto de produção. Um bom sistema integrado será aquele que combina fatores econômicos, ambientais e sociais (BAGGIO et al., 2006).

Um grande produtor pode não ver e nem ter vantagens nessa diversificação, mas para pequenos proprietários de terras é comum observar a abundância em seus quintais, pela necessidade de alimentar a família além da comercialização da produção. Assim, se observa associação de safra anual com produção animal e espécies perenes. O cacau é um belo exemplo disso, sendo cultivado facilmente nos quatro primeiros anos com milho, mandioca, banana, pepino e batata doce nas regiões de Gana e Nigéria (YOUNG, 1994). Essas características também são associativas aos pequenos produtores brasileiros que são responsáveis por boa parte do que é encontrando de alimentos nos mercados locais.

No Cerrado, alguns sistemas de integração são utilizados com propósitos diferentes. Um exemplo de SAF nesta região do Brasil é formado com os componentes gueroba (*Syagrus ole-raceae*), mogno (*Swietenia macrophylla*) e o nim indiano (*Azadirachta indica*) (MICCOLIS et

al., 2016a).

Já as agroflorestas biodiversas sucessionais ou regenerativas, como é a característica dos SAFms, representam proposta mais avançada quanto à estrutura e função se comparadas aos SAFs comuns. O sucessional exige um manejo intensivo por meio de capina seletiva e podas seguindo a lógica da sucessão. Essa concepção de estruturas mais biodiversas chamadas de Sistema Sintrópico foi desenvolvida pelo agricultor-pesquisador Ernst Götsch, sendo encontradas experiências promissoras no Cerrado, na Caatinga, na Mata Atlântica e na Amazônia (MICCOLIS et al., 2016a).

Neste sentido, nosso estudo está analisando, cientificamente, essa prática de produção agrícola biodiversa. Para o modelo matemático foram priorizadas espécies que são fornecedoras de insumos para o sistema produtivo, forrageiras que podem ser usadas tanto para incorporação de insumo no solo como alimentação para animais criados na propriedade, com espécies de lavouras comuns e bem adaptadas ao Cerrado, arbóreas com valor econômico importante e também espécies que compõem a mata nativa para manter os serviços ambientais locais.

2.5.3 Etapas de implementação de um SAF

A exploração do ambiente de forma sustentável através da implementação de um SAF, requer sensibilidade e observação por parte de quem planeja a implementação. É fundamental perceber a paisagem, entender a dinâmica das espécies e aprender com elas. Uma forma de ter êxito na implementação de um SAF, de forma que o uso desse ambiente seja mais produtivo e longo, é seguir os passos apresentados no documento: Diagnóstico – Planejamento – Implantação – Manejo (MICCOLIS et al., 2016a), que serão detalhados nos itens abaixo.

2.5.3.1 Diagnóstico

Esse é o primeiro passo e faz-se necessário um mapa da propriedade, podendo ser até uma imagem de satélite simples, junto com conversas com o proprietário e um croqui a fim de entender a dinâmica de uso do solo e os elementos que compõem aquele ambiente, e se a propriedade possui impedimentos de usos da terra estabelecidos em lei.

O Icrat (Centro Internacional de Pesquisa em SAF) adota também metodologia inicial para implementação de SAF que segue com pré-diagnóstico, diagnóstico, desenho e planificação, denominada D & D (FRANKE et al., 2000; NAIR, 1985). Essa seria a parte que analisa o envolvimento humano com o meio ambiente e as tomadas de decisões que serão geradas a partir desse diagnóstico.

O desenho do SAF, com as espécies e suas complexidades, depende dos recursos humanos disponíveis da propriedade, ou seja, em casos de pouca mão de obra as espécies devem ser de manejo mais fácil, que demandem menos cuidado e que seja do conhecimento dos envolvidos. Dentro dessa abordagem, a mão de obra disponível deve amparar o tempo de plantio, o tempo de manejo. Em caso de beneficiamento também é necessária estrutura (MICCOLIS et al., 2016a).

Os recursos naturais podem ser limitantes na introdução das espécies, conforme a disponibilidade água, classe do solo, animais na propriedade, luz solar, entre outros. Essas condições oferecidas pelo ambiente são as que determinam o quanto de insumo externo demandará a implantação do sistema. Neste caso, informações como precipitação média local, calendário de plantio, períodos chuvosos, solo drenado ou não, nível de fertilidade, espécies encontradas no local ou entorno, presença de regeneradores naturais, vegetação nativa nas proximidades,

fragmentos florestais disponíveis, relevo declivoso, solo compacto, disponibilidade próxima de nutrientes como pó de rocha, esterco, subproduto da agroindústria, cinza e sementes e mudas são dados necessários para o diagnóstico.

Sabendo de todas essas limitações de implantação, o modelo matemático proposto aqui utilizou as informações das espécies mais comuns e conhecidas no bioma Cerrado. Sabendo dos custos altos de aquisição de mudas e sementes (BAGGIO et al., 2006), a função objetivo do modelo foi desenvolvida para minimizar os custos de aquisição na escolha das espécies dentro das restrições que avaliam uma formação de SAFms.

Os recursos físicos, equipamentos que estão disponíveis ou acessíveis (roçadeira, podões, facões, enxadas, enxadões e disponibilidade de energia elétrica para irrigação) não estão sendo computados pelo modelo.

2.5.3.2 Planejamento

Para um bom planejamento de SAFms deve-se considerar a vontade e vocação do agricultor, condições ambientais como clima, solo, relevo e vento, condições de mercado como a proximidade e o acesso dos mercados de determinados produtos para que essa atividade econômica seja viável em diferentes contextos (MICCOLIS et al., 2016a).

Um SAF bem planejado, já com pouco tempo depois da implementação, pode gerar lucro para uma família de agricultores independente do tipo de sistema adotado. A renda de 10 a 20 ha de SAF é similar ao retorno financeiro da pecuária em 400 a 1200 ha, segundo Pye-Smith (2014) apud (MICCOLIS et al., 2016b). Um outro fator importante no planejamento é saber se há acesso a insumos como sementes, mudas, adubo, irrigação, máquinas, ferramentas e equipamentos por parte do agricultor ou pelo grupo de agricultores, e como se dará a logística do que for produzido e disponibilidade de mão de obra.

Segundo Miccolis et al. (2016b), as principais causas de insucesso de um SAF no bioma Cerrado são: baixo acesso a conhecimento; baixa disponibilidade de mão de obra; fatores limitantes do meio físico; baixo acesso a insumos e falta de planejamento agroflorestal e econômico adequado. Sendo assim, o bom planejamento é o início de um SAFms economicamente viável e com grandes chances de proporcionar retorno financeiro e ambiental.

2.5.3.3 Implantação

A implantação de sistemas complexos envolve conhecimentos que embasam as decisões tomadas durante o processo de formação dos arranjos. Cada sistema é pensado conforme o local que ele será implantado e alguns princípios podem ser replicados em diferentes locais conforme descrito por Peneireiro (2007), através dos ensinamentos replicados por Gotsch em diferentes locais.

Os princípios que podem ser utilizados na implantação de um SAFms são: a) replicar os processos da natureza; b) compreender o ecossistema do localidade; c) criar consórcios que dão suporte mútuo; d) inserir espécies de interesse econômico dentro da sucessão natural, da evolução daquela espécie.

O princípio que rege a boa implantação de um sistema produtivo complexo segue a lógica natural das espécies que compõem aquele ambiente, associado a introdução de espécies chaves, que procuram manter a ciclagem dos nutrientes, retorno financeiro, manutenção do ambiente saudável. Quando iniciado o processo de implantação de SAFms em áreas extensas o conjunto de espécies de mudas e sementes devem ser maior em quantidade a fim de garantir uma alta

densidade (necessária) nos primeiros anos desse sistema (MICCOLIS et al., 2016a). Essa alta diversidade nos primeiros anos pode ser a maior dificuldade inicial do produtor, pois os custos iniciais são elevados, sendo assim o modelo utilizou os princípios de implantação aliados a escolha das espécies que resultem no menor custo de implantação.

2.5.3.4 Manejo

O manejo dos sistemas complexos também segue a lógica da natureza, em que as espécies que estão dentro do consórcio e são mais fortes e com crescimento favorecido permanecem e as que apresentam alguma dificuldade dentro do consórcio são retiradas, sendo incorporadas ao solo para provisão de nutrientes, cobertura do solo e umidade ao sistema. São combinadas espécies nativas com exóticas em uma faixa de tempo, em que uma dará suporte para outra dentro das condições dos seus ciclo de vida (PENEIREIRO, 2007).

Algumas práticas de manejo são indicadas por Peneireiro (2002), Peneireiro (2007) como: capina seletiva, raleamento e poda, seguindo a lógica de um sistema natural, possibilitando o avanço da sucessão sem deixar espaços. O maior benefício deste manejo deste sistema está na ciclagem dos materiais e no incremento de matéria orgânica no solo.

O manejo adequado dos sistemas proporciona a produtividade e uso do SAF por muito tempo, pois é através das podas das árvores, de um sistema já com mais de 15 anos por exemplo, que se pode alcançar a contínua produção das frutíferas, conservação ambiental, produção alimentar e objetivo comercial (MICCOLIS et al., 2016b).

2.5.4 O Uso de Espécies Arbóreas Nativas nos SAFs do Cerrado

O bioma Cerrado apresenta características próprias e grande diversidade de espécies de flora e de fauna. Segundo o Instituto Brasileiro de Florestas – IBF, as espécies arbóreas nativas do Cerrado possuem raízes profundas, que alcançam até 15 metros de profundidade do solo, as quais auxiliam na captação da água em época de seca. Os ramos das árvores são tortuosos e grossos e de pequeno porte chegando a 20 metros de altura. Se diferenciam também de outras arbóreas pelas cascas duras e grossas e as folhas cobertas por pelos em algumas espécies.

A determinação das escolhas arbóreas no sistema agroflorestal pode ser o diferencial no estabelecimento e sucesso, ou não, para o pequeno agricultor. Uma certa dificuldade está no desconhecimento de algumas espécies e suas interações no sistema ou ainda a escolha pode se dar pelo simples fato de gostar mais de trabalhar com certas espécies. Conforme descrito por Götsch (1997) sobre a percepção e vivência com o desenvolvimento do Sistema Sintrópico, um dos princípios da evolução do sistema é que sempre parte das formas simples evoluindo para formas mais complexas. Isso é devido ao tempo de evolução e o ciclo de vida de cada espécie, pois, inicialmente, as interações são simples com as espécies de ciclo curto, mas, com a evolução do sistema e o crescimento das espécies de ciclo longo, o sistema produtivo vai ganhando complexidades e, muitas vezes, há pouco entendimento ou conhecimento dessas interações.

Em levantamento de espécies realizado por Dourado (2016) foram observadas espécies nativas e exóticas, a maior presença de mangueiras, pequizeiro, laranjeira e o abacateiro, com a frequência de 90%, 80%, 75% e 75%, respectivamente. O pequizeiro, espécie nativa, é um dos mais utilizados entre os agricultores pelo valor econômico e cultural.

Analisando a Tabela 2.2 de espécies nativas do Bioma Cerrado de Duboc (2004), as espécies Jatobá e Ipê são de fácil adaptação em solos com baixa fertilidade natural e menor umidade do ambiente e do solo, podendo ser um diferencial em terras degradadas. Para infor-

mações sobre outras espécies e suas particularidades, segue tabela adaptada a partir de [Duboc \(2004\)](#), com Nome vulgar, Nome científico, Sucessão ecológica, Altura, Copa, Mata de galeria (úmido/seco), Cerrado, Consumo humano e Espaçamento (m x m).

De um registro de 38 espécies nativas catalogadas pelo Jardim Botânico do Rio de Janeiro ([MORAES et al., 2006](#)) e segundo levantamento feito por [Dourado \(2016\)](#), das 38 espécies, 14 foram encontradas como sendo utilizadas por pequenos agricultores usando sistemas Agroflorestais no Cerrado. Isso mostra a preferência por algumas espécies, porém, esta escolha pode ser mudada à medida que estudos de valor econômico das demais espécies forem crescendo. Foi também observada a preferência por árvores frutíferas pelos agricultores analisados por [Dourado \(2016\)](#). No levantamento de dados nesse estudo, nos diferentes cenários do bioma Cerrado, foi constatado o mesmo.

Além das espécies nativas, outras como o eucalipto também ocorrem, sendo esta a exótica mais utilizada pelos agricultores agroflorestais no Cerrado. O seu uso comum deve-se ao seu valor comercial madeireiro, o sombreamento em linha, a possibilidade de adensamento e de permitir o desenvolvimento de outras espécies no espaço entre as linhas ([DOURADO, 2016](#)).

2.5.5 O Uso de Espécies Arbóreas Exóticas nos SAFs do Cerrado

Em pesquisa de campo na região do Cerrado, [Silva et al. \(2012\)](#) destacaram as principais espécies nativas utilizadas em SAF conforme Tabela 2.3. Em seguida há breve descrição da forma de uso no campo de algumas espécies observadas nas visitas feitas em 2010. Das 72 espécies arbóreas identificadas nos SAFs estudados a maioria foi da família Fabaceae, com 14 espécies, seguida de Myrtaceae com 8, Rosaceae com 6 e Arecaceae com 5 espécies ([SILVA et al., 2012](#)). Sendo que essas espécies possuem multiplicidade de uso, o que garante a sustentabilidade do sistema para o pequeno agricultor.

A mangueira, por exemplo, é umas das espécies comercialmente viáveis e adaptáveis em solos menos drenados e é muito frequente em áreas tropicais e subtropicais do planeta ([SANTOS-SEREJO et al., 2009](#)). O fruto pode ser usado tanto para produção de polpa como a venda *in natura* e há a possibilidade de uso de forragem complementar para animais.

A acerola pode ser plantada dentro de um SAF em linhas espaçadas de 5 metros e 3 metros entre plantas, sendo ainda possível o cultivo do abacaxi, com linhas espaçadas de 35 centímetros e com densidade de 3 mudas por metro ([BARBOZA et al., 1996](#)).

O milho pode ser consorciado em sistemas de aléias com o guandu, o feijão de porco e o algodão, que são plantados em linhas alternadas com o milho. A semeadura do feijão, de ciclo curto, entra na segunda capina. O guandu é mais adensado, cerca de 20 sementes/m linear entre linhas de 15 metros e pode ser pastoreado pelo gado ao atingir 1,5m de altura no manejo rotativo ([GÖTSCH, 1997](#)).

Nas áreas mais secas do Cerrado, o uso de consórcio com pequi é ideal e podem ser introduzidas leguminosas, sendo que algumas são utilizadas na produção de celulose como a acácia (*Acacia mangium*), ingá-cipó (*Flemingia congesta*), grevileas, entre outras. Para a proteção das raízes das árvores é comum o uso da batata-doce consorciada com o estilosantes em linha e em canteiros mais elevados ([DOURADO, 2016](#)).

Para barreiras de vento e em projetos de recuperação de áreas de Cerrado é muito comum o uso da leucena, plantada em curvas-de-nível. Também pode ser usado com essa função o ingá, angico, grevilea, gliricídia, caliandra, goiaba e o bambu. A leucena também possui outras funções importantes para o ambiente, como na adubação verde com o uso de suas folhas e também disponibiliza fósforo para outras culturas do consórcio, pela associação com fungos micorrizos (*Mycorrhizae*) ([MICCOLIS et al., 2016b](#)).

Tabela 2.2: Espécies Arbóreas do Cerrado.

Nome Vulgar	Nome Científico	Sucessão ecológica	Altura(m) ¹	Copa (m)	Mata de galeria ²	Con- sumo Hu- mano	Espaça- mento (mxm)	Solos
Angelim	<i>Andira spp.</i>	Sombra parcial	até 35	-	seco		4 x 4	pobre
Araticum de casca lisa	<i>Annona coriacea</i>	sol	3 a 6	4 a 6	seca	x	4 x 4	arenosos e secos
Bacupari da mata	<i>Salacia elliptica</i>	Secundária sombra parcial	4 a 8	densa	seca	x	4 x 4	pobres
Barbatimão	<i>Stryphnodendron adstringens</i>	Pioneira	5	-	seca	x	3 x 3	Arenosos, drenagem rápida
Copaíba (Pau d'óleo)	<i>Copaifera langsdorffii</i>	Secundária, clímax	10 a 15	densa	exclusiva não inundável	-	4 x 5	indiferente
Embaúba	<i>Cecropia pachystachya</i>	sombreado	4 a 8	espaçada	úmido	-	4 x 4	indiferente
Embiruçu	<i>Pseudobombax longiflorum</i>	secundária	25	-	úmido	-	4 x 3	pobres
Faveira	<i>Dimorphandra mollis</i>	sol	8 a 14	espaçado	-	-	4 x 3	secos e pobres
Ipê rosa	<i>Tabebuia roseo-alba</i>	sol	7 a 16	piramidal	seca	-	4 x 3	secos e pedregosos
Jacarandá caroba	<i>Machaerium villosum</i>	sombra parcial	20 a 30	-	seco	-	5 x 5	bem drenados
Jatobá da mata	<i>Hymenaea courbaril</i>	Climax secundária	até 40	8 a 10	secos	x	10 x 10	indiferente
Mamica de porca	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	Pioneira	8	-	preferencial não inundável	-	3 x 3	indiferente
Marmelada de bezerro	<i>Alibertia edulis</i>	sol	3 a 8	2 a 3	seca	x	4 x 4	indiferente
Pinha de Brejo	<i>Talauma ovata</i>	sombra parcial	10 a 30	-	exclusiva inundável	x	4 x 3	úmidos e pobres
Sucupira Preta	<i>Bowdichia virgilioides</i>	pioneira secundária	8 a 16	-	seca	-	4 x 4	secos e pobres
Vinhático	<i>Plathymenia reticulata</i>	sol	6 a 12	-	-	-	4 x 4	arenosos boa drenagem

¹De 4 a 8m (pequeno), até 35m (médio). ²úmido/seco. Fonte: Adaptado de (DUBOC, 2004).

O uso dessas espécies identificadas por [Silva et al. \(2012\)](#) é também verificado por [Pott & Pott \(2003\)](#), em que as de múltiplas utilidades foram das espécies: bocaiúva, buriti, chico-magro, cumbaru, embaúba, ingá, jatobás, pequi, periquiteira e tarumã. Também há a mesma indicação do uso de guandu, que embora não seja nativa possui crescimento rápido e de ciclo curto e ótima planta fixadora de nitrogênio.

A escolha das arbóreas vai além do puro conhecimento de seu cultivo pois ao integrar outras espécies são necessárias informações do ambiente em que elas serão cultivadas e o ideótipo de espécies arbóreas para os SAFs (DONALD, 1968 apud [Alves et al. \(2015\)](#)) que possui objetivos distintos, sendo relevante para atender um arranjos satisfatório.

Segue a Tabela 2.3 com espécies nativas destacadas pelo seu potencial para SAF ([POTT; POTT, 2003](#)).

Tabela 2.3: Identificação e uso de espécies nativas brasileiras com potencial para compor SAF.

Nome comum	Nome científico	Fruta	Madeira	Forrageira	Medicinal	Artesanal	Apícola	Ciliar	Outro
Acuri, bacuri	<i>Attalea phalerata</i>			X		X	X	X	Cobertura
Águapomba, pitomba	<i>Talisia esculenta</i>	X					X		Sombra
Águapomba-macho	<i>Melicoccus lepidopetalus</i>	X	X				X		Sombra
Almécega	<i>Protium heptaphyllum</i>		X	X	X	X	X	X	Resina
Angico	<i>Anadenanthera colubrina</i>		X		X		X		Tanino
Angico-do-cerrado	<i>A. peregrina</i>		X				X		
Araçá	<i>Psidium guineense</i>	X	X		X		X	X	
Ariticum	<i>Annona crassiflora</i>	X							
Ariticum-do-brejo	<i>Annona montana</i>	X						X	
Ariticum-rasteiro	<i>Annona dioica</i>	X							
Aroeira	<i>Myracrodruon urundeuva</i>		X	X	X		X		
Ata-de-cobra	<i>Annona cornifolia</i>	X							
Babaçu	<i>Orbignya speciosa</i>	X			X				Palmito
Bálsamo	<i>Pterogyne nitens</i>	X	X				X		
Bocaiúva, macaúba	<i>Acrocomia aculeata</i>	X	X	X	X	X	X		Óleo alimentar
Buriti	<i>Mauritia flexuosa</i>	X			X	X	X	X	Cobertura
Butiá	<i>Butia paraguayensis</i>	X				X	X		Ornamental
Caapororoca	<i>Rapanea umbellata</i>		X				X	X	
Cabrito, cabriteiro	<i>Rhamnidium elaeocarpum</i>		X		X		X		
Cachuá	<i>Trichilia elegans</i>		X		X		X		Tanino
Cagaita	<i>Eugenia dysenterica</i>	X					X		
Caiá	<i>Spondias lutea</i>	X	X		X	X	X	X	
Caiarana, marinheiro	<i>Guarea spp.</i>		X				X	X	
Cajuzinho	<i>Anacardium humile</i>	X			X		X		
Camboatá	<i>Matayba guianensis</i>		X				X		
Canela-branca	<i>Nectandra spp.</i>		X		X		X	X	Aromática
Canela	<i>Ocotea spp.</i>		X				X		Aromática
Canela-preta	<i>Ocotea diospyrifolia</i>		X	X	X		X	X	Aromática
Capitão	<i>Terminalia argentea</i>		X		X		X		
Capitão-do-seco	<i>Terminalia fagifolia</i>		X				X		
Carandá	<i>Copernicia alba</i>		X	X	X		X	X	Fibra

Tabela 2.3 – continua na próxima página

Tabela 2.3 – Continuação

Nome comum	Nome científico	Fruta	Madeira	Forrageira	Medicinal	Artesanal	Apícola	Ciliar	Outro
Carne-de-vaca	<i>Combretum leprosum</i>		X				X		
Carvoeiro	<i>Sclerolobium paniculatum</i>		X				X		
Castanha-de-macaco	<i>Esch weilera nana</i>	X				X			
Caviúna-do-campo	<i>Dalbergia miscolobium</i>		X				X		Nitrogênio
Chapadinha	<i>Acosmium subelegans</i>		X		X		X		Nitrogênio
Chico-magro	<i>Guazuma ulmifolia</i>	X	X	X	X	X	X	X	Fibra
Coroa-de-frade	<i>Mouriri elliptica</i>	X			X		X		
Cumbaru, baru	<i>Dipteryx alata</i>	X	X	X	X		X		Nitrogênio
Cupari	<i>Rheedia brasiliensis</i>	X			X			X	
Embaúba	<i>Cecropia pachystachya</i>	X	X	X	X	X	X	X	Ornamental
Embaúba	<i>Cecropia saxatilis</i>	X	X	X	X	X	X		Ornamental
Erva-de-lagarto	<i>Casearia sylvestris</i>		X	X	X		X		
Esporão-de-galo, taleira	<i>Celtis pubescens</i>	X					X	X	
Farinha-seca, ingá-de-pobre, feijão-cru	<i>Samanea tubulosa</i>		X				X		Nitrogênio, Ornamental
Figueiras	<i>Ficus spp.</i>		X	X	X	X			Sombra
Figueira-do-brejo	<i>Ficus insipida</i>		X			X		X	
Figueirinha	<i>F. pertusa</i>	X	X	X	X				
Fruta-de-veado, graviola	<i>Pouteria glomerata</i>	X	X				X		
Frutinha-de-veado, cabritão	<i>P. gardneri</i>	X					X		
Gariroba, gueroba	<i>Syagrus oleracea</i>	X		X		X	X		Palmito
Guanandi	<i>Calophyllum brasiliense</i>	X	X		X			X	
Guavira	<i>Campomanesia spp.</i>	X			X		X		
Ingá	<i>Inga vera</i> ssp. <i>affinis</i>	X	X		X		X	X	Nitrogênio
Jaboticaba	<i>Myrciaria spp.</i>	X	X		X		X		Ornamental
Jaracatiá, mamãozinho	<i>Jacaratia spinosa</i>	X					X	X	
Jatobá-do-cerrado	<i>Hymenaea stigonocarpa</i>	X	X		X				
Jatobá-mirim	<i>Hymenaea courbaril</i>	X	X		X			X	Sombra
Jenipapo	<i>Genipa americana</i>	X	X	X	X			X	Colibri
Jequitibá	<i>Cariniana estrellensis</i>	X	X			X			Ornamental
Laranjinha	<i>Sebastiania brasiliensis</i>		X					X	
Leiteirinho, vermelhinho	<i>Chrysophyllum marginatum</i>	X	X				X		
Leiteiro	<i>Sapium haemospermum</i>		X				X	X	
Limãozinho	<i>Ximenia americana</i>	X			X		X		Óleo alimentar
Louro-mole	<i>Cordia sellowiana</i>		X				X	X	
Mama-cadela	<i>Brosimum gaudichaudii</i>	X		X	X				Aromática
Maminha-de-porca, maminha	<i>Zanthoxylum rigidum</i> (= <i>Fagara hassleriana</i>)		X		X		X	X	Aromática
Mandiocão	<i>Schefflera morototoni</i>		X				X		Ornamental
Mandovi (do Pantanal)	<i>Sterculia apetala</i>	X	X		X		X		Ornamental
Mandovi, chichá (de morro)	<i>Sterculia striata</i>	X			X		X		Ornamental
Mangaba	<i>Hancornia speciosa</i>	X	X	X	X		X		Látex
Maria-mole	<i>Erythrina dominguezii</i>		X			X			Nitrogênio
Maria-mole	<i>Dendropanax cuneatum</i>							X	

Tabela 2.3 – continua na próxima página

Tabela 2.3 – Continuação

Nome comum	Nome científico	Fruta	Madeira	Forrageira	Medicinal	Artesanal	Apícola	Ciliar	Outro
Marmelada-de-bola, marmelada	<i>Alibertia edulis</i>	X	X		X			X	Colibri
Marmelada-preta	<i>Alibertia sessilis</i>	X			X				Colibri
Mora, taiúva	<i>Maclura tinctoria</i>	X	X	X	X			X	Corante
Morcego, morcegueira	<i>Andira spp.</i>		X		X		X	X	Nitrogênio
Mulateira, angico-branco	<i>Albizia niopoides</i>		X				X	X	Nitrogênio
Murici	<i>Byrsonima verbascifolia</i>	X			X		X		Tanino
Murici-do-brejo	<i>Byrsonima umbellata</i>	X						X	
Novateiro, pau-de-novato	<i>Triplaris americana</i>						X	X	Ornamental
Olho-de-cabra	<i>Ormosia spp.</i>					X	X	X	Nitrogênio
Paratudinho-branco	<i>Tabebuia insignis</i>				X			X	Ornamental
Pateiro	<i>Couepia uiti</i>	X					X	X	
Pau-de-viola	<i>Citharexylon myrianthum</i>		X			X	X	X	Colibri
Pau-d'óleo, copaíba	<i>Copaifera langsdorffii</i>		X		X	X	X	X	
Pequi	<i>Caryocar brasiliense</i>	X	X		X				Óleo
Periquiteira, grandióva, crindióva, candióva	<i>Trema micrantha</i>		X	X	X	X	X	X	Nitrogênio, aves
Pimenta-do-mato, jaborandi	<i>Piper arboreum</i>				X			X	Aromática
Pimenteirinha	<i>Erythroxylum anguifugum</i>			X			X	X	
Pimentinha-brava	<i>Lacistema aggregatum</i>						X	X	
Pindaíba, pimenta-de-macaco	<i>Xylopia aromatica</i>		X		X				Aromática
Pindaíba-do-brejo	<i>Xylopia emarginata</i>		X					X	
Pinha-do-brejo	<i>Talauma ovata</i>		X		X			X	Aromática
Pitanga	<i>Eugenia pitanga</i>	X			X		X		Aromática
Piúva, ipê-roxo	<i>Tabebuia impetiginosa</i>		X		X		X	X	Ornamental
Piúva-cascuda, ipê-amarelo	<i>Tabebuia ochracea</i>		X		X		X		Ornamental
Pombeiro, pau-de-pombo, peito-de-pombo	<i>Tapirira guianensis</i>		X				X	X	Sombra
Quebracho	<i>Schinopsis balansae</i>		X				X		Tanino
Roncador	<i>Mouriri guianensis</i>	X			X		X	X	
Sangra-d'água	<i>Croton urucurana</i>		X		X		X	X	
Sarã, salso	<i>Salix humboldtiana</i>		X		X	X	X	X	Hormônio
Siputá	<i>Salacia elliptica</i>	X						X	
Siputá-do-cerrado	<i>Tontelea micrantha</i>	X					X		
Sobre	<i>Emmotum nitens</i>		X				X		
Sucupira-branca	<i>Pterodon emarginatus</i>		X		X		X		Nitrogênio
Suquiana	<i>Couepia grandiflora</i>	X					X		
Tamanqueira	<i>Aegiphila spp.</i>		X				X		
Taquaruçu	<i>Guadua paniculata</i>		X	X		X		X	
Tarumã	<i>Vitex cymosa</i>	X	X	X	X		X	X	Sombra
Tarumarana	<i>Buchenavia tomentosa</i>	X	X		X		X		
Tinge-cuia	<i>Agonandra brasiliensis</i>	X	X		X				Óleo
Urumbamba	<i>Desmoncus cuyabensis</i>	X		X		X		X	
Veludo-de-espinho	<i>Chomelia pohliana</i>						X		
Vinhático	<i>Plathymenia reticulata</i>		X		X		X		Nitrogênio

Tabela 2.3 – continua na próxima página

Tabela 2.3 – Continuação

Nome comum	Nome científico	Fruta	Madeira	Forrageira	Medicinal	Artesanal	Apícola	Ciliar	Outro
Ximbuva, timbaúva	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>		X					X	Nitrogênio

Fonte: Adaptado de (POTT; POTT, 2003).

2.5.6 O Uso de Modelos Matemáticos para Determinar Arranjos de SAF no Cerrado

Para entender como os modelos matemáticos podem ser uma ferramenta que auxilie os agricultores, diante de diferentes sistemas agrícolas, na obtenção de mais conhecimento e no entendimento dos processos que envolvem a produção, partimos da pergunta - o que é um modelo matemático? O Witelski & Bowen (2015) respondeu essa questão através de Rutherford Aris "Um modelo é um conjunto de equações matemáticas que ... fornecem uma descrição adequada de um sistema físico", ou seja, um conjunto de equações que matematicamente descrevem situações reais e que podem ser testadas em diferentes hipóteses.

Transcrevendo para nossa realidade, neste estudo foram desenvolvidos modelos matemáticos que, através do somatório dos conjuntos de equações matemáticas, fornecem como produto final, entendimentos avançados da complexidade que envolvem os sistemas agrícolas.

Os modelos matemáticos também foram avaliados por Engel (1984) e Naylor et al. (1977) apud Silva & Bergamasco (2001) como uma leitura mediante simplificação dos sistemas em linguagem matemática representada por componentes, variáveis, parâmetros e relações funcionais. Podem ser modelos determinísticos (não probabilísticos), estatísticos, estocásticos ou probabilísticos e dinâmicos.

O uso de modelos matemáticos em sistemas agrícolas no Brasil ainda é reduzido. Porém, eles apresentam grande potencial de aplicação pois, além de orientar a pesquisa, podem ter papel na gestão de tecnologia e até em decisões das políticas públicas. Essas análises interdisciplinares podem possibilitar simulações e análises acuradas da dinâmica do crescimento de lavouras e de diferentes sistemas agrícolas, podendo ser simplificados em submodelos para contemplar toda uma diversidade. Eles não substituem os experimentos convencionais, mas podem tornar a atividade de pesquisa mais ágil e menos onerosa (CORRÊA et al., 2011).

Sistemas complexos como o SAF são enigmáticos em sua formação e desenvolvimento, e podemos compreender os elementos envolvidos através de ferramentas como os modelos matemáticos. Utilizando diferentes dados e aspectos, encontrando parâmetros ou contrapontos e diminuindo a lacuna do conhecimento desta prática, parece viável e possível o seu uso para análises de diferentes sistemas agrícolas. O modelo matemático visa responder de maneira satisfatória o problema em questão através dos argumentos dados ou gerados. Como exemplo, Sousa (2019), ao modelar um sistema produtivo de mandala, conseguiu desenvolver estratégias de utilização do terreno mais eficientes.

Pesquisas analisam modelos matemáticos para entender sistemas agrícolas que podem ser possíveis utilizando equações de restrições, argumentação e função objetivo. Os modelos matemáticos determinísticos, cujas variáveis não podem ser aleatórias e suas características operacionais são exatas, desconsiderando as funções de probabilidade NAYLOR et al. (1977) apud (SILVA; BERGAMASCO, 2001), podem ser testados dentro de sistemas produtivos já estabelecidos em diferentes regiões.

Ao utilizar os modelos matemáticos temos a possibilidade de analisar elementos de comportamento distintos como o ensaio numérico realizado por [Delgado et al. \(2016\)](#), cuja receita ótima diminuía quando a lâmina de água disponível era em torno de 50 a 75% e para uma meta de aumento da produção em 25%. Ou seja, o estudo conseguiu verificar o potencial de aumento de produção em função da diminuição do volume de água disponível.

Considerando os tipos e potenciais dos modelos matemáticos e a baixa utilização no Brasil, foi desenvolvido neste estudo um modelo matemático determinístico para indicar as espécies ótimas para o arranjo de um SAFms. Seguindo os princípios de formação a um menor custo, o modelo desenvolvido entrega os valores ambientais das suas interações e maximiza as melhores combinações entre diferentes espécies. Esses modelos são apresentados nos capítulos 2 e 3, respectivamente.

O modelo matemático desenvolvido segue os princípios dos modelos não probabilísticos, ou seja, utiliza as relações exatas em sistemas de produção, que respeita às condições que foram formuladas a partir da proposta e, ao verificar as hipóteses definidas de forma clara, entregando soluções para o sistema real, tal como apresentado por Naylor et al. (1977) apud [Silva & Bergamasco \(2001\)](#).

O modelo desenvolvido na tese segue o embasamento teórico dos *softwares* que empregam Programação Linear (PL) e Programação Inteira (PI), apropriadas para a solução determinística e não estatística de problemas complexos, que não podem ser resolvidos satisfatoriamente com técnicas analíticas convencionais. Nos últimos anos, a PL e PI têm sido utilizadas em diversas áreas da ciência e em diferentes abordagens, como por exemplo, na otimização do carregamento de caixas quadradas dentro de uma linha de transporte ([JUNQUEIRA et al., 2010](#)). Em função dos avanços computacionais, cada vez mais se tem buscado utilizar as ferramentas que procuram maximizar lucros e minimizar custos, tornando a otimização uma área de pesquisa bastante atraente. Como os problemas gerados são cada vez maiores e de resoluções complexas (combinatória), devem ser procurados procedimentos matemáticos cada vez mais eficientes e simples para resolvê-los.

Por outro lado, utilizando PI, foi possível construir modelos que tratam com “otimização SAFms”. Entre os benefícios estão: produção diversificada de alimentos, melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, aumento da estabilidade da produção e redução de custos da atividade agrícola em virtude da otimização do uso dos insumos, controle de plantas daninhas, pragas e doenças.

2.6 CONCLUSÕES

Neste capítulo foi possível mostrar, através de pesquisa secundária, a interação positiva de árvores com a lavoura agrícola. São apresentados sistemas agrícolas que integram a presença das espécies arbóreas dentro de seu modelo produtivo. Em destaque, para estudos que mostram que as raízes podem obter água nas camadas mais profundas e distribuir nas camadas mais superficiais do solo, como na interação vertical e horizontal entre as raízes no solo seco. Segundo a literatura consultada, como serviços ambientais, o sistema agroflorestral, tem alto valor agregado, pois pode fornecer suporte para as culturas em solos mais secos e também adicionando material de cobertura ao solo, diminuindo o escoamento superficial da água no sistema agrícola, gerando impacto econômico positivo, uma vez que a perda da superfície do solo, dentro do sistema agrícola, demanda mais insumos, como os fertilizantes.

Algumas coberturas do solo têm impacto na infiltração e no escoamento das chuvas, como observado nas pesquisas, e também beneficiam a biodiversidade do solo, trazendo mais vida e qualidade para esse ambiente. Constatou-se também, na literatura, que as copas das árvores desaceleram a chegada da água ao solo, o que diminui o impacto da chuva sobre o solo. Esse tempo maior para chegada da água sobre o solo aumenta a infiltração e diminui a remoção de camadas do solo por erosão. Diante dessas constatações de serviços que uma árvore de sombreamento pode proporcionar para a cultura comercial, fica evidente a importância em analisar as interações e mesclar, criar os mosaicos da melhor forma possível, no sentido de viabilizar o uso de sistemas agroflorestrais na pequena propriedade ou agricultura familiar.

As atuais estruturas agrícolas apontadas como de agricultura sustentável têm como fonte o resgate histórico de modelos anteriormente utilizados, mais do que propriamente algo inovador, demandando um novo olhar para o conhecimento tradicional e a importância do seu resgate. Neste capítulo buscou-se a compreensão de aspectos de sistemas produtivos que interagem positivamente com o ambiente e beneficiam a conservação de recursos naturais, como o solo e a água. Assim, identificar os aspectos que influenciam o uso e manejo de sistemas agroflorestrais foi importante para definir padrões que podem tornar esse sistema agrícola interessante ambientalmente e economicamente.

Os serviços ambientais proporcionados pelo uso e prática de sistemas agroflorestrais em ambiente de Cerrado estão diretamente ligados tanto com os métodos de conservação dos solos como também em favorecer a infiltração e uso de águas em camadas mais profundas no solo. Esses serviços ambientais poderão garantir a disponibilização de água, ainda em um sistema de produção agrícola, também assegurando produção de alimentos e fibras, matéria-prima para geração de energia e potenciais fontes de medicamentos.

Conforme estabelecido na Avaliação Ecossistêmica do Milênio da ONU, em 2005, cujos serviços ambientais são divididos em Serviços de Provisão, Serviços de Regulação, Serviços Culturais e Serviços de Suporte, podemos observar que os SAFs podem garantir pelo menos um dentre esses quatro serviços estabelecidos pela ONU. Os SAFs garantem alimento, absorção de CO² pela fotossíntese das árvores e conservação do solo, além de uma aproximação maior do homem com a natureza.

Reunir essas informações e analisá-las conjuntamente, para verificar matematicamente arranjos viáveis dentro das condições oferecidas no Bioma Cerrado, permitindo produzir alimentos sem grandes prejuízos ambientais, pode ser o primeiro passo para divulgar o uso de modelos matemáticos determinísticos, que podem produzir informações relevantes tanto no aspecto do meio ambiente quanto das espécies a serem cultivadas.

3 CAPÍTULO II

ARRANJOS AGROFLORESTAIS PARA O BIOMA CERRADO INDICADOS ATRAVÉS DE MODELO MATEMÁTICO DE PROGRAMAÇÃO INTEIRA BINÁRIA

3.1 RESUMO

Um dos grandes desafios na adoção de sistemas agroflorestais (SAFs) é a compreensão do agricultor quanto às interações, viabilidade e os benefícios na produção de diferentes espécies, arbóreas e lavouras anuais, como um todo. Buscar metodologias que integrem informações ambientais locais e das espécies de plantas de interesse junto com a compreensão do agricultor sobre os métodos de cultivar a terra pode ser um caminho para propor arranjos possíveis dentro de um SAF. Sendo assim, neste capítulo foi desenvolvido modelo matemático, atribuindo pesos aos índices relacionados ao meio ambiente e de adaptação das culturas/frutíferas e arbóreas, junto com a produção das forrageiras, para indicar arranjos ótimos para sistemas de produção agrícola complexos, em andamento e em diferentes localidades do bioma Cerrado. Nesse modelo matemático de otimização foram identificados os arranjos que seriam ótimos, ou seja, cuja combinação dos pesos entrega o maior valor para os grupos de espécies produzidas pelo agricultor, tendo como requisito a melhor combinação entre os pesos utilizados em um sistema de Agrofloresta. Isso foi possível utilizando modelo matemático de Programação Inteira Binária (PIB) e resolvendo-o pelo pacote GLPK. Como resposta, o modelo indicou para cada cenário, conforme as espécies já trabalhadas pelo agricultor, os arranjos mais viáveis ambientalmente, conforme dados fornecidos e o peso ambiental atribuído por arranjo, classificando-os segundo níveis, de maior para menor viabilidade, para atingir a solução ótima no modelo PIB.

Palavras-chave: Consórcios agroambientais no Cerrado. Otimização de SAFs. Modelo matemático PIB.

3.2 ABSTRACT

One of the great challenges in the adoption of agroforestry systems (AFS) is the farmer's understanding of interactions, feasibility and benefits in production of different species, trees and crops, as a whole. Seeking methodologies that integrate local environment information and of the plant species along with the farmer's understanding of cultivating the land can be a way to propose possible arrangements within an AFS. Thus, in this chapter, a mathematical model was developed that, through weights assigned to the indices related to the environment and adaptation of crops/fruit and trees, together with forage production, was able to indicate optimal arrangements for agricultural production systems, projects in progress and in different locations of the Cerrado biome. In this mathematical model of optimization, the arrangements that would be optimal were identified, that is, those in which the combination of weights delivered the highest value for the groups of species produced by the farmer, with the requirement of the best combination between the weights used within an Agroforest. This was possible using a mathematical model of binary integer programming (BIP) and solving it by the GLPK package. As a response, the model indicated for each scenario, according to the species already used by the farmer, the most environmentally viable arrangements, according to data provided and the environmental weight assigned by arrangement, classifying them through levels, from higher to lowest viability to reach the optimal solution of the BIP model.

Keywords: Agri-environmental consortia in the Cerrado. Optimization of AFS. Mathematical model BIP..

3.3 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da agricultura e a produção de alimentos, para o mercado brasileiro e para exportação, têm relação direta com a informação de qualidade e o desenvolvimento de tecnologias para o setor. A disponibilidade desses componentes, de forma segura e clara, possibilita a ampliação de investimentos e mudanças significativas nas ações do governo, através de políticas públicas, e do próprio agricultor. Neste sentido, o resgate sucinto da história da agricultura e seu desenvolvimento com o tempo, com os pontos positivos e negativos dessas transformações, se faz necessário, para dar suporte a proposta dessa pesquisa, que é de contribuir com conhecimento e informação para a sustentabilidade de sistemas agroflorestais (SAFs) no bioma Cerrado.

Uma análise breve da evolução histórica dos sistemas agrícolas mostra que estes evoluem a partir de conhecimentos ancestrais das sociedades agrárias, e nos dá a amplitude dessa pesquisa. Assim sendo, não se busca simplesmente desenvolver um modelo matemático, e sim compreender a dinâmica de um processo de produção sustentável complexo e, através do uso de linguagem matemática, propor caminhos e produzir ferramentas que possam otimizar a dinâmica de produção agrícola em SAFs de forma sustentável.

A pesquisa está voltada aos pequenos agricultores rurais, e ou familiares, uma vez que outras iniciativas já privilegiam o desenvolvimento tecnológico para o grande produtor, devido ao potencial de rentabilidade desse setor, em especial na produção de grãos. Neste capítulo, é apresentado um modelo matemático de Programação Inteira Binária (PIB) que, a partir de restrições determinadas para o alcance de arranjos entre espécies diferentes, indicou combinações de agrícolas/frutíferas, forrageiras e espécies lenhosas de SAFs já consolidados em diferentes regiões no bioma Cerrado. Ainda, através de pesos ambientais, são indicados quais os arranjos, dentro do conjunto de espécies já trabalhadas pelo agricultor, podem obter um resultado melhor.

A escolha do bioma Cerrado está vinculada a utilização intensa pela agricultura de terras nesse bioma, com grande expansão das fronteiras agrícolas nos últimos anos, que, em muitas áreas, conduziu a um processo de degradação ambiental, devido ao uso de monoculturas, com mecanização intensa e sem adoção de práticas conservacionistas. Também está relacionado ao diferencial que sistemas produtivos sustentáveis podem trazer para o restabelecimento dessas áreas no Cerrado, que em se tratando das dimensões, são grandes até mesmo para uma propriedade de pequeno agricultor rural.

A decisão de desenvolver modelo matemático para SAF está associada à complexidade que esses sistemas produtivos têm em suas interações, ao ponto de a compreensão humana limitar-se a um padrão ou outro. Nair (1985) já havia percebido a necessidade de classificação desses sistemas para sua avaliação e melhoramento. Até aquele momento, já haviam sido reunidos conceitos e princípios de desenvolvimento de SAFs em diferentes locais do planeta e, através do *World Agroforestry Centre* (ICRAF), em um inventário global.

Sendo assim, o objetivo deste capítulo foi disponibilizar modelo matemático capaz de identificar arranjos ótimos (entende-se por ótimo o produto do julgamento estabelecido pelo próprio modelo matemático) entre as espécies já utilizadas pelos pequenos agricultores, que adotam SAFs dentro dos princípios e conceitos de formação de um sistema biodiverso. Para tal, foi feito estudo para cada agricultor e em locais diferentes, visando maximizar combinações ambientais e produtivas (caso das forrageiras) das espécies já utilizadas em SAFs, em propriedades localizadas em estados inseridos no bioma Cerrado.

3.4 EVOLUÇÃO SUCINTA DA AGRICULTURA

Alguns marcos históricos da chamada agricultura alternativa, que busca modelos para a produção de alimentos de forma sustentável são: I) o processo de compostagem de Sir Albert Howard e o surgimento da agricultura orgânica na Índia, em 1931; II) a agricultura biológica, na década de 60, na França por Claude Aubert com o uso de rochas moídas; III) a agroecologia, nos Estados Unidos— na década de 70, ao incorporar ideias ambientais e sociais na agricultura com William Albrecht, Atuart Hill e Fritz Schumacher; IV) a agricultura natural, por Mokit Okada no Japão, na década de 30, com a reciclagem de restos vegetais e os microrganismos efetivos; e V) a agricultura biodinâmica, que surgiu na Alemanha em 1924 por Rudolf Stainer, e trabalha a propriedade como um organismo vivo. Essas e outras formas são amplamente apresentadas em várias literaturas técnicas e científicas ([Embrapa Informação Tecnológica, 2006](#); [FELDENS, 2018](#))

Um outro exemplo de agricultura alternativa é a Agrofloresta que traz, através do uso combinado entre lavouras e espécies arbóreas, prestação de serviço ambiental tanto ao sistema agrícola, através de incorporação de matéria orgânica, por exemplo, como ao meio imitando o ambiente de floresta em sua complexidade. Isso permite o uso contínuo do ambiente, com menor dano e prejuízo, e mesmo recuperar áreas que se tornaram impróprias ao uso agrícola. Neste sentido, devemos também citar as mudanças do uso das espécies cultiváveis, uma vez que das 350 mil espécies antes conhecidas, hoje são exploradas em grande escala apenas cerca de 300 espécies, sendo 15 as mais importantes e hoje cultivadas, que contribuem em 90% para a alimentação mundial (arroz, milho, soja, sorgo, cevada, cana-de-açúcar, beterraba açucareira, feijão, amendoim, batatinha, batata doce, mandioca, coco e banana). Houve, portanto, uma forte seleção de espécies de plantas visando o maior potencial produtivo, tendo assim a diminuição da biodiversidade genética ([PATERNIANI, 2001](#)). Essa produção seletiva combinada a monocultura contribui ainda mais ao empobrecimento da biodiversidade local e expõe, tanto as produções quanto o produtor, a altos riscos, uma vez que a produção agrícola fica mais suscetível diante de mudanças climáticas locais e também introdução de pragas e doenças.

De uma forma geral, os sistemas agrícolas são divididos historicamente como os da agricultura tradicional e da agricultura moderna. Ao compararmos as formas de produção e seus resultados, tanto financeiros como ambientais, podemos concluir que a agricultura tradicional, incluindo a agrofloresta, pode ser tão competitiva em termos financeiros quanto a agricultura moderna, para o pequeno agricultor, por promover diversidade de espécies e oferecer ao mercado local e regional mais opções. Já em termos de ambiente, a agrofloresta irá fornecer infinitas opções de uso sem grandes impactos ao meio ambiente.

Já a agricultura moderna se distancia do SAF, por preconizar processos e uso da tecnologia intensificados, reduzindo a dependência de fatores físicos externos. Insumos como adubos minerais e a utilização de maquinário, que reduzem a necessidade de mão de obra, são apresentados como forma de aumentar a produtividade e renda ao agricultor. Porém, não garantem o uso contínuo e sustentável das terras e, em muitas áreas, até se mostra danoso ao ambiente. O conhecimento técnico sobre os sistemas e o meio ambiente e a aplicação de práticas conservacionistas são ainda mais necessários para evitar o esgotamento das terras.

Uma agricultura que atenda às necessidades humanas deve estar interligada às condições edafoclimáticas e socioeconômicas, em termos de conhecimentos técnicos. Os avanços científicos e tecnológicos alcançados hoje na agricultura são, de longe, a mais recente revolução na história da humanidade. As atividades agrícolas causam modificações ao ambiente, as quais podem levar a problemas como a degradação do solo e do meio ambiente, diante do uso de práticas agrícolas não adequadas. Mesmo em meio a crescente preocupação em proteger o meio

ambiente e ter uma atividade agrícola moderna, baseada em desenvolvimentos científicos que visem minimizar eventuais danos, ainda ocorrem muitas discussões e debates sobre a agricultura sustentável (PATERNIANI, 2001).

A agricultura sustentável tem sua distinção dos outros tipos de agricultura justamente pelo tipo de atividade agrícola e sua interferência no meio. Nesse modelo, além de considerar as plantas cultivadas e sua inserção dentro de um sistema, se observa o meio e se o cultivo daquelas espécies é adequado para aquele ambiente. Como definido pela FAO, em 1989, “*O objetivo de uma agricultura sustentável deve ser o de envolver o manejo eficiente dos recursos disponíveis, mantendo a produção nos níveis necessários para satisfazer as crescentes aspirações de uma também crescente população, sem degradar o meio ambiente*” (PATERNIANI, 2001).

A agricultura sustentável deve ser considerada dinâmica tanto em seu meio quanto em seu tempo, pois o que pode ter sido sustentável, anteriormente, pode não ser mais agora considerando as condições socioeconômicas, edafoclimáticas e demais características locais. Em um conceito mais amplo de sustentabilidade há de se ter dinamismo das mudanças temporais e das necessidades humanas, tanto em termos de uma população crescente quanto da relação ambiental com a agricultura (PATERNIANI, 2001). Sabendo desses desafios e as dinâmicas de uma agricultura sustentável há também a necessidade de compreender a aptidão agrícola das terras, bem como identificar as áreas em que o “empobrecimento” do ambiente compromete a produção de alimentos.

Os sistemas complexos para cultivar o solo são práticas de longa data e tradição; porém, ainda há demanda de estudos científicos nos diversos ambientes (FRANKE et al., 2000). Neste sentido, estudos como o dessa tese, analisando uma das modalidades de produção sustentável, a agrofloresta, pode ser de grande ajuda ao pequeno agricultor. Principalmente, para auxiliar na compreensão sobre a sua implementação para o cultivo de alimentos na sua propriedade, como também no desenvolvimento de tecnologias, podendo trazer benefícios no desenvolvimento de produtos tecnológicos, que irão contribuir no entendimento e uso dos SAFs. Nessa pesquisa é priorizado o bioma Cerrado e agricultores familiares, avaliando as diversas nuances dos SAFs em locais que compreendem este ambiente.

3.5 MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo analisou um modelo matemático determinístico capaz de escolher de forma algébrica e aleatória, combinações entre espécies agrícolas, forrageiras e arbóreas através de pesos, que são informações ambientais tanto do local como da formação das espécies, isso para o caso das culturas agrícolas/frutíferas e arbóreas, e também, conta com informações bromatológicas para o caso das forrageiras (DELGADO et al., 2021). Esse modelo combina essas informações e, através de um preço estipulado para os dados ambientais e bromatológicos, busca o arranjo ótimo para aquele conjunto de espécies existentes no SAF da propriedade analisada. Anteriormente, modelo similar foi validado com dados aleatórios (DELGADO et al., 2021). Verificamos a robustez desses modelos desenvolvidos e que foram antes testados com dados fictícios.

Nesse estudo, buscou-se, para estados brasileiros que possuem o bioma Cerrado, pelo menos um SAF que tenha sido objeto de estudo em artigos, teses ou dissertações para ser avaliado pelo modelo proposto. Um total de 14 SAFs foram tabulados, com informações de consórcios entre cultura agrícola anual, frutíferas, arbóreas e forrageiras.



Figura 3.1: Localização dos cenários selecionados para estudo dos SAFs.

Os locais estudados são: Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS (22°11' 37" S e 55°31' 28" W), Palmas - TO (22L 88628997 N / 791893 E), Filadélfia - TO (07°20'10"S e 47°29'25"W), Sinop - MT (11,94°S; 55,49°W), Assentamento Lagoa Grande de Dourados - MS (21°59'43" S e 55°19'387" W), Machado - MG (21°39' 59" S e 45°55' 16" W), Conceição do Almeida - BA (12°46'46" S e 39°10'12" W), Esperantina - PI (03°54'07" S e 42°14' 02" W), Ariquemes - RO (S 09°33'59.1" W 6°06'21.8"), Ponta Grossa - PR (25°25' 44"S 50°0' 21"W), Fazenda São Luiz de São Joaquim da Barra - SP (20°34'53"S 47°51'17"W), Sítio Geranium de Taguatinga - DF (15°30' S e 48°04' W), Mambáí - GO (14°29'38" S e 46°08'84" W), Luís Domingues - MA (1°19'26" S; 45°53'50" W), conforme localização na Figura 3.1.

Podemos notar na Figura 3.1 que alguns cenários (BA, PR e RO) não estão dentro dos limites geográficos do bioma Cerrado. Porém, os estudos utilizados indicam que estão em locais de transição entre biomas e apenas um cenário não está nessa condição. No estado da Bahia, na região do Cerrado baiano não encontramos trabalhos que tratam de SAFs com as informações completas sobre as espécies que o compõem, sendo assim, foi utilizado SAF em ambiente de transição entre a Mata Atlântica e a Caatinga.

Os estados do Maranhão - MA, Tocantins - TO, Piauí - PI e Bahia - BA fazem parte da grande fronteira agrícola nacional da atualidade, denominada de MATOPIBA. Essa área hoje corresponde a 71 milhões de hectares; já os demais estados no bioma Cerrado contam com 133 milhões de hectares. A região MATOPIBA foi demarcada pelo Grupo de Inteligência Territorial (GITE) da Embrapa e como critérios de demarcação foram utilizadas informações do quadro agrário, agrícola, infraestrutura, socioeconômico, natural e o bioma Cerrado, sendo este o último critério, pois ele corresponde a 90% dessa região (INPE, 2013).

Como o interesse maior da análise compreende o bioma Cerrado e SAFs, mais específico para os multiestratos sucessionais, foi buscada literatura sobre sistemas que possuíam mais do que 10 espécies diferentes consorciadas, a fim de garantir uma análise mais robusta das interações entre espécies. Até o momento, não encontramos estudos que apontem as combinações perfeitas ambientalmente entre as espécies que compõem os SAFs, e nem é esse o objetivo deste trabalho. Neste estudo, analisamos se o modelo matemático de programação inteira binária linear (PIB) é capaz de trazer uma certa conformidade e relação entre valores ambientais das espécies e do ambiente em que elas crescem, com as informações bromatológicas, no caso das forrageiras, e como resultado esperado os melhores arranjos segundo essas informações e as restrições de formação de SAFs já apontadas.

Nesse modelo, combinamos as espécies de SAFs já consolidados de diferentes regiões em Estados que possuem o bioma Cerrado. Para isso, foram calculados os índices: Adaptação Climática de uma cultura Agrícola (ACA), Radiação Solar de uma cultura (RS), Valor Nutricional de uma forrageira (VN), Conteúdo proteico (Carboidratos totais) de uma forrageira (CP), Digestibilidade de uma forrageira (D) e Adaptação climática de uma árvore (ALA).

Com essas informações (dados), todas em índices, o modelo binário buscou o ótimo entre elas e entregou as combinações entre agrícola/frutífera, forrageira e arbórea seguindo as restrições pré estabelecidas para o modelo. Nessa primeira etapa não há preocupação quanto ao valor econômico que os arranjos poderão entregar ao produtor, e sim, são trabalhados apenas os fatores ambientais e os valores de incremento e de melhoria ambiental.

Entre os fatores, destaque para o trabalho de Dubé (1999) apud Menezes (2008), que indicou o controle à erosão do solo com o uso de SAF com diferentes espécies e estratos no arranjo. Outro aspecto abordado pelos autores é o fato de arranjos de espécies com exigências solar, de água e nutrientes distintos otimizarem a produção e, conseqüentemente, conduzirem a maior produção de biomassa. Já Daniel et al. (1999) apud Menezes (2008) apontam que um SAF mal planejado, com aumento de competição entre as arbóreas e as culturas anuais por nutrientes,

espaço, luz e umidade do solo, pode resultar em redução na produção agrícola. Sendo assim, a busca por modelos que consideram esses efeitos negativos pode ser um diferencial na tomada de decisão do arranjo adotado entre as diferentes espécies pelo agricultor.

Para busca de bibliografia sobre o tema do estudo foi utilizado o Google acadêmico e buscadores através de palavras chaves, que combinavam SAF com os Estados no bioma Cerrado. Através da leitura desses trabalhos, foram retiradas informações sobre a localização, o sistema produtivo, o objetivo do estudo e suas conclusões. Foram utilizados tanto artigos científicos como teses e dissertações, pela dificuldade de encontrar nos artigos científicos informações completas sobre as espécies utilizadas pelos produtores nos SAFs. Um dos requisitos mais importantes de seleção para composição do conjunto de dados era a existência de propriedades rurais que utilizam o SAF e as espécies consorciadas estarem documentadas.

Assim que identificados os cenários foram geradas tabelas (Apêndice A) com informações de agricultura anual + frutífera, forrageira (quando ocorria seu uso) e arbórea. Procuramos utilizar a indicação do trabalho quanto aos critérios do que seria arbórea, forrageira e frutífera. Por exemplo, a Gliricídia é indicada como arbórea e algumas frutíferas como arbóreas e foram mantidas essas indicações particulares. Foi mantida a caracterização das espécies indicadas pelos autores pelo entendimento de que as espécies listadas podem ser utilizadas de maneiras diferentes pelos produtores rurais de cada SAF (DOURADO, 2016).

Com as tabelas de espécie por cenário (Estados brasileiros no bioma Cerrado) montadas, foram buscados trabalhos com as informações dos pesos necessários para o modelo inteiro binário avaliar a função:

conforme a equação 3.1.

$$p_{ijk} = AC_i g(AC_i) + ES_i g(ES_i) + VN_j g(VN_j) + CP_j g(CP_j) + D_j g(D_j) + AL_k g(AL_k). \quad (3.1)$$

Os coeficientes da função p são índices (pesos) de:

AC_i – Adaptação climática da cultura agrícola/frutífera $i \in I$,

ES_i – Exigência solar da cultura agrícola/frutífera $i \in I$,

VN_j – Valor nutricional da forrageira $j \in J$,

CP_j – Conteúdo proteico da forragem $j \in J$,

D_j – Digestibilidade da forrageira $j \in J$,

AL_k – Adaptação às condições locais da arbórea $k \in K$,

$g(\cdot)$ – Está dando à Função um valor do ganho econômico R\$ que se tem pela adaptação climática e exigência solar de cada cultura agrícola/frutífera i , valor nutricional, conteúdo proteico, e digestibilidade de cada cultura forrageira j e da adaptação às condições locais de cada cultura arbórea k . O peso atribuído ao g foi igual a 1R\$, ou seja, um valor unitário para os pesos ambientais e de produtividade.

Sendo $I = 1, 2, \dots, m$, $J = 1, 2, \dots, n$ e $K = 1, 2, \dots, l$, os conjuntos de culturas agrícolas, forrageiras e arbóreas em um SAF de cada cenário levantado e para cada $i \in I$, sejam:

$AEF_i = j \in J$: a cultura agrícola i aceita consórcio com a espécie forrageira j (conjunto das culturas forrageiras $j \in J$ que aceitam arranjo com a cultura agrícola i),

$AEA_i = k \in K$: a cultura i aceita consórcio sombreamento com o arbusto k (conjunto de arbóreas $k \in K$ que aceitam arranjo com a cultura agrícola i). Seguidamente introduzimos uma maneira de designar “pesos” ou benefícios econômicos de aceitabilidade que terá cada arranjo (i, j, k) no SAF dado através do coeficiente g igual a 1R\$ temos:

Para cada $i \in I$

Para cada $j \in AEF_i$

Para cada $k \in AEA_i$

fazer:

$$p_{ijk} = AC_i g (AC_i) + ES_i g (ES_i) + VN_j g (VN_j) + CP_j g (CP_j) + D_j g (D_j) + AL_k g (AL_k)$$

atingir o valor máximo satisfatório de arranjos viáveis para cada cenário seguindo as seguintes restrições (a, b, c) e função objetivo:

a) Cada cultura agrícola i deve estar em arranjo com exatamente uma cultura forrageira j baixo a cobertura de alguma cultura arbórea k .

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l x_{ijk} = 1, \quad i = 1, \dots, m. \quad (3.2)$$

b) Cada cultura arbórea k pode dar cobertura a mais de uma cultura agrícola i em arranjo com alguma cultura forrageira j .

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ijk} \geq 1, \quad k = 1, \dots, l. \quad (3.3)$$

c) Cada cultura forrageira j pode estar em arranjo ou não com alguma cultura agrícola i coberta por alguma cultura arbórea k .

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^l x_{ijk} \leq 1, \quad j = 1, \dots, n. \quad (3.4)$$

Função Objetivo

$$\text{Procura-se: Maximizar } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l p_{ijk} x_{ijk}. \quad (3.5)$$

O valor Z trazido pelo modelo representa o percentual de benefício total aceitável entre cultura agrícola/frutífera, forrageiras e arbórea em cada SAF estudado (14 cenários) e esse somatório tem contribuições diferenciadas por arranjo em cada consórcio e está representado por “Pesos para fmax” nas tabelas de resultados do modelo.

Programa Inteiro Binário associado ao problema:

$$\begin{aligned}
(\text{PIB}) \quad & \text{Maximizar} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l p_{ijk} x_{ijk}, \\
\text{Sujeito a:} \quad & \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l x_{ijk} = 1, \quad i \in I, \\
& \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ijk} \geq 1, \quad k \in K, \\
& \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^l x_{ijk} \leq 1, \quad j \in J, \\
& x_{ijk} \in \{0, 1\}, \quad i \in I, j \in J, k \in K.
\end{aligned} \tag{3.6}$$

O (PIB) possui mnl -variáveis e $m + n + l$ restrições, onde $m =$ agrícola/frutífera, $n =$ forrageira e $l =$ arbórea. Note que mesmo para m, n e l pequenos, o tamanho do (PIB) pode ser alto.

No item de Resultados e Discussão fica mais clara a relação entre as variáveis m, n, l com as restrições para m, n, l com as restrições para m, n e l e como os pesos de cada arranjo podem influenciar na decisão de escolha.

Como o modelo foi pensado como uma formação de sistema de múltiplas espécies para SAFs no bioma Cerrado, sabendo que os principais usos da terra nesse bioma são a pastagem e, em seguida, a produção de grãos, uma das restrições mais relevantes do modelo foi determinar que a solução ótima deve considerar o peso relevante da forrageira, ou seja, as espécies que devem apresentar o maior número dentro das propriedades seriam as variedades de forrageiras. Porém, em geral, nas propriedades dos agricultores dos SAF analisados não há essa informação detalhada, assim foi utilizado um conjunto de forrageiras indicado pela Embrapa para essa região (Tabela 3.1) para integrar as variedades de forrageiras já existentes. Quando não havia dados a respeito de forrageiras no Cenário, foram então utilizadas somente as forrageiras da Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Forrageiras mais utilizadas no bioma Cerrado brasileiro indicadas pela Embrapa.

Gênero ou Espécie	Área (10 ³ ha)	Distribuição relativa (%)
<i>Brachiaria spp.</i>	42,5	85
<i>B. decumbens</i>	27,5	55
<i>B. brizantha</i>	10,5	21
<i>B. humidicola</i>	4,0	8
<i>B. ruziziensis, B. dictyoneura</i>	0,5	1
<i>Panicum maximum</i>	5,5	11
Colônia <i>P. maximum</i>	3,5	7
Tanzânia, Tobiata, Mombaça <i>P. maximum</i>	2,0	4
Outros gêneros: Andropogon, Hyparrheria, Melinis, Cynodon	2,0	4
Total	50,0	100

Fonte: Zimmer et al. (1998), adaptado por Macedo (2000) apud (JÚNIOR; VILELA, 2002).

3.5.1 Cálculos dos Coeficientes

Para a determinação dos índices utilizados pelo modelo, calculou-se e criou-se a Tabela resposta (Apêndice B) a partir dos cálculos dos coeficientes a seguir:

1 - Cálculo da Adaptação Climática de uma cultura agrícola

Algoritmo (ACA)

Fixar um local L (município) na região.

Determine a temperatura média de L (TM_L) (Estação meteorológica)

Achar n -culturas desenvolvidas no local L da região nos últimos m anos

Para cada cultura $i = 1, 2, \dots, n$ (agrícola)

Determinar a temperatura média recomendável para o desenvolvimento da cultura i (T_i^R)

Fazer $ACA_i = \frac{T_i^R}{TM_L}$

2 - Cálculo da Radiação Solar de uma cultura

Algoritmo (RS)

Fixar um local L (município) na região.

Determine aproximadamente a Radiação Solar média de L (RS_L)

Achar n -culturas desenvolvidas no local L da região nos últimos m anos

Para cada cultura $i = 1, 2, \dots, n$

Radiação Solar recomendável para a cultura i (RS_i^r)

Fazer $RS_i = \frac{RS_i^r}{RS_L}$

3 - Valor Nutricional de uma forrageira

Algoritmo (VN)

Fixar um local L (município) na região.

Achar p -forrageiras desenvolvidas no local L da região nos últimos m anos

Para cada forrageira $j = 1, 2, \dots, p$

Fazer $VN_j = 100 - (PB_j + FDN_j + EE_j + MM_j)$

Em que:

PB_j – Fração de proteína bruta da forrageira j

FDN_j — Fibra bruta em detergente neutro da forrageira j

EE_j — Extrato etéreo da forrageira j

MM_j — Matéria mineral da forrageira j

4 - Conteúdo Proteico (Carboidratos totais) de uma forrageira

Algoritmo (CP)

Fixar um local L (município) na região.

Achar p -forrageiras desenvolvidas no local L da região nos últimos m anos

Para cada forrageira $j = 1, 2, \dots, p$

Fazer $CP_j = 100 - (\%PB_j + \%EE_j + \%MM_j)$

Em que:

PB_j — Fração de proteína bruta da forrageira j

EE_j — Extrato etéreo da forrageira j

MM_j — Matéria mineral da forrageira j

5 - Digestibilidade de uma forrageira

Algoritmo (D)

Foram utilizadas as informações de digestibilidade já calculadas e publicadas em artigos e teses, para as forrageiras listadas nesse estudo.

6 - Cálculo da Adaptação Local de uma árvore

Algoritmo (ALA)

Fixar um local L (município) na região.

Determine a temperatura média de L (TM_L) (Estação meteorológica)

Achar S -culturas arbóreas desenvolvidas no local L da região nos últimos m anos

Para cada cultura $s = 1, 2, \dots, s$ (agrícola, forrageira, arbórea)

Determinar a temperatura média recomendável para o desenvolvimento da cultura arbórea s (T_s^R)

Fazer $ALA_s = \frac{T_s^R}{TM_L}$

Esses coeficientes foram calculados a partir de dados secundários, que estão na Tabela do Apêndice A com as fontes de informação para os 14 cenários modelados.

Assim, com as tabelas prontas e os índices individuais por espécies foi resolvido o PIB utilizando o pacote GLPK, lembrando que para as forrageiras foram transformados os dados em % para índices, através da divisão por 100 de todos os valores obtidos das forrageiras.

O modelo trabalhado neste capítulo faz parte de um modelo já utilizado anteriormente, mas com dados gerados aleatoriamente, que apresentou resultados positivos quanto à robustez do modelo, como também, a certeza de que problema combinatório encontra arranjo ótimo (para o modelo) em um SAF aleatório (DELGADO et al., 2021). Neste capítulo da tese, além de testar se o modelo funciona em SAFs reais, foi verificada a melhor combinação e usados pesos diferentes para cada uma, sendo interpretados como uma variação de mais adaptável e menos adaptável ambientalmente, ou seja, a contribuição do arranjo ao ambiente.

Para entender a dinâmica do clima com as características específicas das plantas com relação ao ideal de temperatura e radiação solar, é resumida a condição climática dominante no bioma Cerrado. Possui baixa ocorrência de chuva na maior parte dos meses do ano, sendo a média de 1.450mm/ano, com os principais meses entre setembro e abril. A temperatura média anual fica entre 18°C e 23°C, que é a predominante na região centro-oeste brasileira (MMA, 2020). Para o estudo, quando não foi encontrada a temperatura média anual ideal para a espécie, foi utilizada a temperatura média identificada para o bioma Cerrado, para as espécies comumente encontradas no território brasileiro ou encontradas na zona tropical.

A irradiação solar média incidente no território brasileiro varia de 1500-2500 kWh/m², uma das mais elevadas do mundo (MACÊDO, 2015). O valor de radiação média anual por município foi extraído do trabalho de Tiba (2000), em MJ/m², com conversões de unidades de medidas, primeiramente para Wm⁻² (multiplicando por 11,6, conforme Allen et al. 1998, apud Oliveira (2015) e depois, para $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (multiplicando por 4,57 conforme indicação de McCree apud THIMIJJAN & HEINS (1983). Para a mensuração da Radiação solar ótima de cada espécie levou-se em consideração que no processo de fotossíntese, as plantas utilizam apenas uma fração da radiação incidente do comprimento de onda entre 0,4 e 0,7 micra, denominada de radiação fotossinteticamente ativa (RFA). A RFA é de, aproximadamente, 50% da radiação global incidente (VELOSO; Silva, Lucas Augusto Pereira da; Ferreira, 2020), sendo encontradas na literatura algumas informações diretas sobre cada espécie, e quando não encontrada foram utilizadas informações de pleno sol ou sombreada da região analisada, segundo Junior et al. (2013). Quanto as informações de espécies que se desenvolvem melhor a pleno sol utilizou-se a média (832.56 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) encontrada por esse mesmo autor, assim como no caso de plantas que crescem melhor ao sombreamento utilizou-se a média (231.71 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

No que se refere às forrageiras em geral, a temperatura ideal para forrageiras do tipo C3 fica ao redor de 20 C° e tipo C4 fica ao redor de 30 e 35 C°. Já para radiação solar na pastagem, nos dias de verão os valores podem chegar a 2000 micromol de fótons m² s⁻¹ (MONTEIRO, 2009). A radiação solar fotossinteticamente ativa é medida através de sensores quânticos que medem apenas a banda do visível, na banda da radiação fotossinteticamente ativa e expressa em mol de fótons por unidade de área e tempo (SENTELHAS; ANGELOCCI, 2012). No caso das forrageiras, o sombreamento pode reduzir a produção de matéria seca (MS) da *B. brizantha* cv. por exemplo, mas não altera a produção da proteína bruta (PB) e nem o valor dos teores de fibra em detergente neutro (FDN). Já os valores da fibra em detergente ácido (FDA) são maiores ao sombreamento, ou seja, o sombreamento reduz a degradabilidade in vitro da MS sem alterar a degradabilidade efetiva (CONDE; CARNEIRO, 2007).

Para elaborar a tabela com os dados bromatológicos das forrageiras, foram utilizados dados secundários de artigos, teses e dissertações e as fontes constam na Tabela do Apêndice

A. Sabe-se também, que ocorre variação desses dados conforme local e método de obtenção, e na literatura, foram encontrados trabalhos que traziam, quase que por completo, os coeficientes necessários para o modelo. Como o modelo desenvolvido leva em consideração que as forrageiras estão em maior número que as agrícolas/frutíferas e que as arbóreas presentes, buscou-se indicações de forrageiras para o Cerrado a partir de dados da Embrapa, acrescentado ao conjunto de espécies de cada localidade (JÚNIOR; VILELA, 2002).

3.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os pesos calculados e tabelados (Apêndice A), foi possível resolver o PIB utilizando o pacote GLPK para cada cenário. A seguir, apresentamos os 14 cenários avaliados computacionalmente através de estruturas algébricas do modelo PIB proposto.

A saída do modelo computacional trouxe como informação (dado de saída) o cenário (local do SAF) com a quantidade de espécies consorciadas (m, n, l) sendo m = agrícola/frutífera, n = forrageira e l = arbórea e f_{max} é o valor máximo de otimização entre os arranjos de consorciamento encontrados para uma decisão binária entre zero (não) e um (sim). Os pesos para f_{max} são as contribuições individuais dos arranjos dos SAFs com suas quantidades de m , n e l calculados.

Vamos seguir como exemplo $x_{1,1,1} = 1$ da resposta da localização de Ariquemes (RO) da Tabela 3.2. O primeiro 1 é a posição da agrícola/frutífera. Na Tabela do Apêndice B – Ariquemes (RO), o segundo 1 é a posição da forrageira e o terceiro 1 é a posição da arbórea.

Seguindo a explicação da localidade de Ariquemes (RO) temos: $m = 9$, $n = 10$, $l = 5$, cujo modelo analisou um SAF (9, 10, 5), ou seja, um arranjo com 9 agrícolas/frutíferas diferentes entre cada arranjo conforme restrição “a”. Dentre as 10 opções de forrageiras o modelo entregou opções iguais ou diferentes de forrageiras para ser consorciado com as 9 agrícola/frutíferas conforme restrição “c” e, dos 5 tipos de arbóreas existentes no SAF em Ariquemes (RO), pelo menos 1 vez entregou ao arranjo um tipo de arbórea existente na propriedade e, se possível, teve sua repetição nos demais arranjos conforme a restrição “b”.

Para verificação das restrições tivemos em Ariquemes (RO), por exemplo $x(1, 1, 1)$, $x(2, 2, 2)$, $x(3, 3, 3)$, $x(4, 4, 4)$, $x(5, 5, 1)$, $x(6, 6, 1)$, $x(7, 7, 1)$, $x(8, 8, 1)$ e $x(9, 9, 5)$, ou seja de 9 arranjos diferentes entre si pois, são 9 agrícolas/frutíferas diferentes, neste caso das 10 opções de forrageiras foram utilizadas 9 tipos diferentes sem repetir, sendo a repetição do tipo aceitável e, das 5 opções de arbóreas, as 5 foram utilizadas nos 9 arranjos e a espécie que estava na posição 1 da tabela (Apêndice B) apareceu com mais frequência.

Uma informação relevante do modelo é que ele sempre irá buscar a quantidade de arranjos conforme a quantidade de agrícola/frutífera existente no SAF, ou seja, se temos 10 agrícolas/frutíferas em um SAF distinto o modelo irá encontrar 10 arranjos distintos aceitáveis para cada agrícola/frutífera sendo uma das opções com um peso maior, sendo essa a melhor opção de arranjo para aquele ambiente, por exemplo. Esse modelo tem também a capacidade de buscar para cada espécie a melhor combinação entre as três categorias de forma a percorrer uma a uma as opções. No assentamento Itamarati (MS), o modelo rodou a espécie arbórea jatobá combinada com todas as espécies existente de agrícola/frutífera + forrageira e só encontrou uma única combinação $x_{12,12,12} = 1$, ou seja, dentre o conjunto de espécies existentes naquele SAF, a combinação ótima para o jatobá foi entregue apenas uma única vez.

Uma análise mais detalhada desse comportamento de solução do modelo foi feita para cada cenário e pode ser acompanhada a seguir.

3.6.1 Cenário Ariquemes, Rondônia

A Tabela 3.2 informa, através dos resultados para as espécies presentes na propriedade do agricultor de SAF de Ariquemes (RO), os arranjos ambientalmente aceitáveis em uma escala de pesos de mais a menos adaptável.

O estudo utilizado como fonte secundária da região de Ariquemes (RO), teve como objetivo avaliar as principais funções dos SAF e a relação com a fertilidade dos solos. Foram analisadas 35 propriedades com SAFs de 10 anos ou mais, em 7 municípios, e no nosso estudo

utilizamos dados e informações de uma propriedade em Ariquemes, Rondônia (MENEZES, 2008).

O Estado de Rondônia possui domínio de espécies dos biomas Floresta Amazônica e Cerrado e transicionais. Neste estudo o objetivo foi analisar SAFs no Bioma Cerrado, porém alguns estados apresentam essa complexidade de transição entre biomas, o que não está sendo levado em consideração pelo modelo. Segundo informações dos mapas gerados pelo TerraClass Cerrado 2013, INPE (2013), o local selecionado destina-se ao uso com conservação ou pecuária, tendo a agricultura sido identificada em 2014, mas não consta dentro das áreas consideradas como aptas à agricultura no zoneamento.

No caso do levantamento feito das espécies agrícolas, frutíferas, forrageiras e arbóreas utilizadas no modelo, as espécies de um SAF(9,10,5) indicadas no estudo de Menezes (2008). O modelo indicou os arranjos que melhor se adaptam às condições do ambiente e a produtividade da forrageira. Sendo este SAF composto apenas pela *Brachiaria brizantha* e *Cynodon*, foram acrescentadas ao modelo as forrageiras indicadas para o Cerrado pela Embrapa (JÚNIOR; VILELA, 2002), pois o modelo desenvolvido para região leva em consideração que a maior quantidade de espécies são as forrageiras, seguidas pelas agrícolas/frutíferas e, em menor quantidade, as arbóreas.

Como todos os cenários encontrados e trabalhados neste capítulo não cumpriam o requisito de que a forrageira seja a espécie em maior número, foram utilizadas as forrageiras indicadas pela Embrapa Cerrado, cuja indicação para a região visa a maior produção de carne bovina na atividade pecuária. Porém, um dos grandes problemas da região são as pastagens degradadas,

Tabela 3.2: Cenário dos arranjos aceitáveis da Agrofloresta da localidade de Ariquemes, Rondônia.

Arranjos	Agrícola	Forrageira	Arbórea	Pesos individuais para fmax
$x_{1,1,1} = 1$	Laranja (<i>Citrus sp.</i>)	Brachiaria (<i>B. decumbens</i>)	Teca (<i>Tectona grandis</i>)	4.7735
$x_{2,2,2} = 1$	Cacau (<i>Theobroma cacao</i>)	Brachiaria (<i>B. brizantha</i>)	Bandarra ou paricá grande da mata (<i>Schizolobium parahyba</i>)	4.6293
$x_{3,3,3} = 1$	Açaí (<i>Euterpe oleracea</i> da família Palmaceae)	Brachiaria (<i>B. humidicola</i>)	Freijó louro (<i>Cordia alliodora</i>)	3.6747
$x_{4,4,4} = 1$	Cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	Brachiaria (<i>B. ruzizensis, B. dictyoneura</i>)	Freijó cinza (<i>Cordia goeldiana</i>)	3.8096
$x_{5,5,1} = 1$	Milho (<i>Zea mays</i>)	Colonião (<i>Panicum maximum</i>)	Teca (<i>Tectona grandis</i>)	4.567
$x_{6,6,1} = 1$	Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	Tanzânia, Tobiatã, Mombaça (<i>Panicum maximum</i>)	Teca (<i>Tectona grandis</i>)	4.4225
$x_{7,7,1} = 1$	Mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)	Andropogon (<i>Andropogon gayanus</i>)	Teca (<i>Tectona grandis</i>)	4.5895
$x_{8,8,1} = 1$	Soja (<i>Glycine max</i>)	Capim-Jaraguá (<i>Hyparrhenia rufa</i>)	Teca (<i>Tectona grandis</i>)	4.497
$x_{9,9,5} = 1$	Café (<i>Coffea spp.</i>)	Capim-gordura (<i>Melinis minutiflora</i>)	Seringueira (<i>Hevea brasiliensis</i>)	3.908
fmax				38.871

Local = Ariquemes

m=9, n=10, l=5

fmax = 38.871

$x_{1,1,1} = 1, x_{2,2,2} = 1, x_{3,3,3} = 1, x_{4,4,4} = 1, x_{5,5,1} = 1, x_{6,6,1} = 1, x_{7,7,1} = 1, x_{8,8,1} = 1, x_{9,9,5} = 1$

que dificultam o estabelecimento de uma pecuária bovina sustentável. Sendo assim foi utilizada a base indicada de forrageiras de pasto para o Cerrado para integrar a análise de arranjos em SAFs (JÚNIOR; VILELA, 2002).

Como resultado obtivemos 9 arranjos diferentes para as espécies já existentes e indicadas (caso das forrageiras). O modelo considerou que, ambientalmente, os arranjos com as espécies agrícola/frutíferas de Açaí (*Euterpe oleracea* da família Palmaceae), Brachiaria (*B. humidicola*) para forrageira e Freijó louro (*Cordia alliodora*) para arbórea seriam os menos indicados pelo conjunto de espécies apresentado, conforme a resposta do peso que foi o menor valor (3,674) mas, mesmo assim, consta na resposta como possível pois o valor do arranjo foi igual a 1.

As forrageiras já utilizadas nas propriedades tiveram a não indicação no modelo para *Cynodon*, sendo esta também uma das indicações da Embrapa. O modelo analisou as forrageiras e verificou que as menos indicadas para esse ambiente seria a *Cynodon*, porém neste modelo não há uma base de comparação específica para as forrageiras isoladamente.

O estudo de Menezes et al. (2016) deixa claro que a introdução de espécies forrageiras de menor adaptação à região gera degradação ambiental com impactos comparáveis aos da desertificação. Neste sentido, nosso modelo para esse cenário de Ariquemes (RO) já apresenta uma resposta positiva ao retirar umas das espécies utilizadas no sistema produtivo da propriedade analisada. Ficou também indicado no mesmo estudo o uso de forrageiras leguminosas, para garantir o suprimento de N (nitrogênio) adicionado através da incorporação da biomassa vegetal à matéria orgânica do solo. Neste caso, seria interessante para uma próxima rodada do modelo, adicionar algumas espécies leguminosas forrageiras que já são conhecidas nos arranjos de SAFs, para avaliar se o modelo, rodando apenas com esses pesos para as forrageiras, indicaria os arranjos com as leguminosas.

No estudo citado acima, o autor destacou a importância do SAF para a região de Ariquemes (RO) como sendo não somente econômica, mas também social e cultural. Como neste modelo não existe um peso para o valor econômico das espécies e sim os pesos ambientais e de produtividade, deixando a função mais objetiva para trazer o ótimo neste aspecto, quando relacionamos com o interesse social e cultural, temos mais uma resposta positiva quanto a utilização do SAF neste cenário. Como o modelo trabalha os arranjos das culturas de interesse do agricultor ele mostra uma sensibilidade para o cultural ou social, pois irá avaliar os arranjos mais indicados entre a variedade de espécies de interesse do produtor rural.

O arranjo que teve resultado maior de peso para f_{max} de 4,7735 foi $x(1,1,1)$, sendo posições $x(m, n, l)$ ou $x(\text{agrícola/frutífera, forrageira, arbórea})$, ou seja, Laranja (*Citrus sp.*) + Brachiaria (*B. decumbens*) + Teca (*Tectona grandis*). Pode-se ver que os pesos são diferentes entre cada arranjo, ou seja, o modelo entrega sim a melhor combinação entre as espécies existentes, conforme as informações de cada espécie e as restrições introduzidas no modelo.

Em relação a escolha das arbóreas, todas as 5 existentes no SAF de Ariquemes (RO) entraram pelo menos uma vez em um arranjo, respeitando assim a restrição b, com uma ressalva para a espécie Teca (*Tectona grandis*), que foi a espécie mais indicada nos 9 arranjos diferentes.

Se a decisão de escolha for de utilizar os arranjos entre espécies que entregam o melhor valor econômico e ambiental, o produtor pode optar por quase todos os arranjos indicados como viáveis pelo modelo e, até mesmo, substituir as combinações que entregaram o menor peso pelas que tiveram maior peso. A decisão de reorganizar o SAF pode estar vinculada, por exemplo, às novas modalidades financeiras existentes no mercado global, como o crédito de carbono para os produtores que têm suas áreas naturais cadastradas. Neste sentido, poderia ser um incentivo de criação de uma nova moeda de troca ambiental. Esse tema e abordagem ficará como proposta a ser explorada em estudos voltado para essa nova economia.

Analisando o arranjo com maior peso temos Laranja (*Citrus sp.*) para agrícola/ frutífera,

indicação muito interessante pelo fato de ser uma espécie que pode trazer bom valor econômico ao produtor. Conforme indicado na tese de [Menezes \(2008\)](#), a espécie é utilizada em SAFs no Cerrado e é uma planta de porte arbóreo de uso alimentício ([SILVA et al., 2012](#)). A laranja não é nativa, mas é muito citada entre os trabalhos analisados e, em geral, os frutos são destinados para o consumo direto pelos pequenos agricultores ([DOURADO, 2016](#)).

Uma particularidade dos pequenos produtores rurais, que utilizam sistemas agroflorestais em suas propriedades, é a preferência por arbóreas frutíferas, pois fornecem alimento a família e, geralmente, fazem parte de um sistema produtivo mais próximo das casas. Outro uso da espécie é para sombreamento, conforme a necessidade do agricultor ([DOURADO, 2016](#)). Como o arranjo indicado tem a presença de outra espécie arbórea, a Teca (*Tectona grandis*), é provável que essa última teria a função de sombreamento e também a obtenção de madeira de uso nobre, função bastante citada pelos agricultores, o que traz um valor econômico acentuado a esse arranjo ([PELISSARI et al., 2014](#)).

Sobre a espécie arbórea mais indicada entre os arranjos pelo modelo, a Teca é natural do continente asiático, sendo cultivada em regiões da África e das Américas. Em termos de valor econômico, é uma das espécies com o maior valor econômico e considerada uma ótima opção para a indústria de base florestal. O seu aproveitamento já é possível desde os primeiros desbastes, para a geração de energia ([PELISSARI et al., 2014](#)).

No Cerrado o cultivo da Teca é ideal devido às condições climáticas serem muito próximas as da sua área de ocorrência natural; porém, essa espécie é sensível à acidez do solo e as elevadas concentrações de alumínio, muito comuns nos solos do Cerrado ([PELISSARI et al., 2014](#)). Esse seria um ponto importante a ser amenizado antes de sua introdução ao sistema agroflorestal. E um ponto positivo de seu uso em sistemas abundantes de vida como o SAF é a alta oferta de matéria orgânica ao solo, que favorece o fornecimento de nutrientes e a estabilização de valores adequados do pH do solo ([SUZUKI et al., 2007](#), apud ([PELISSARI et al., 2014](#))), principalmente nas camadas superiores do solo, onde a maior parte do sistema radicular da teca se encontra ([MATRICARDI, 1989](#), apud ([PELISSARI et al., 2014](#))).

Analisando a forrageira sugerida no arranjo com o maior peso temos a *Brachiaria (B. decumbens)*, que é muito frequente em pastagens em regiões no Cerrado e também indicada em sistemas de integração lavoura pecuária e em arranjos de culturas de grãos, pela melhoria da qualidade do solo em sistema com plantio direto ([VILELA et al., 2011](#)). A *Brachiaria* tem baixa exigência de nutrientes, é perene ou semi-perene, e, dentre as espécies de forrageira, é considerada de estrato alto, sendo boa produtora de biomassa para os animais ([MICCOLIS et al., 2016b](#)).

De modo geral, a resposta do modelo para o cenário Ariquemes (RO) o arranjo de SAF com o maior peso mostrou consistência com essa avaliação, uma vez que, ambientalmente, foi o mais viável. Portanto, em uma visão de produção e de entrega econômica é uma ótima opção para ser implementada pelo produtor.

3.6.2 Cenário Assentamento Itamarati, Ponta Porã, Mato Grosso do Sul

O Assentamento Itamarati, localizado no Município de Ponta Porã - MS, faz fronteira com o Paraguai e está localizado na região do bioma Cerrado. A precipitação média anual é de 1.529 mm e a principal classe de solo identificada é o Latossolo Vermelho Distroférico ([SALOMÃO et al., 2012](#)). Esta localidade, segundo dados TerraClass 2013 ([INPE, 2013](#)), está inserida em zona com aptidão agrícola entre alta e média, sendo indicada a presença de uso agrícola nos dados levantados em 2014, além de pastagens.

A Tabela [3.3](#) traz os dados de saída para este cenário e as sequências das espécies estão

no Apêndice B.

Tabela 3.3: Cenário dos arranjos aceitáveis da Agrofloresta do Assentamento Itamarati, Ponta Porã, Mato Grosso do Sul.

Arranjos	Agrícola	Forrageira	Arbórea	Pesos individuais para fmax
$x_{1,1,1} = 1$	Goiaba (<i>Psidium guajava</i>)	Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>)	Alecrim (<i>Holocalyx balansae</i>)	4.6852
$x_{2,2,2} = 1$	Ingá-feijão (<i>Inga marginata</i>)	Crotalária juncea (<i>Crotalaria juncea</i>)	Amendoim-bravo (<i>Pterogyne nitens</i>)	4.8507
$x_{3,3,3} = 1$	Jenipapo (<i>Genipa americana</i>)	Guandu (<i>Cajanus cajan</i>)	Aroeira (<i>Myracrodruon urundeuva</i>)	4.6575
$x_{4,14,4} = 1$	Manga (<i>Mangifera indica</i>)	Capim tifton 85 (<i>Cynodora</i>)	Candeia (<i>Gochnatia polymorpha</i>)	4.2987
$x_{5,5,5} = 1$	Pitanga (<i>Eugenia uniflora</i>)	Brachiaria (<i>B. decumbens</i>)	Candiúva (<i>Trema micrantha</i>)	4.1517
$x_{6,6,6} = 1$	Tamarindo	Brachiaria (<i>B. brizantha</i>)	Jacarandá (<i>Jacaranda cuspidifolia</i>)	4.5437
$x_{7,7,7} = 1$	Abacaxi (<i>Ananas comosus</i>)	Brachiaria (<i>B. humidicola</i>)	Cedro (<i>Cedrela fissilis</i>)	4.4627
$x_{8,8,8} = 1$	Feijão-caupi (<i>Vigna unguiculata</i>)	Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Chico-magro (<i>Guazuma ulmifolia</i>)	4.7643
$x_{9,9,9} = 1$	mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)	Colonião comum (<i>P. maximum</i>)	Fumo-bravo (<i>Solanum mauritianum</i>)	4.6522
$x_{10,10,10} = 1$	Quiabo (<i>Abelmoschus esculentus</i>)	Colonião da Tanzânia (<i>P. maximum</i>)	Ipê-amarelo (<i>Tabebuia serratifolia</i>)	3.8987
$x_{11,11,11} = 1$	Abóbora (<i>Cucurbita moschata</i>)	Andropogon gayanus (<i>Andropogon gayanus</i>)	Ipê-roxo (<i>Tabebuia impetiginosa</i>)	4.6316
$x_{12,12,12} = 1$	Milho (<i>Zea mays</i>)	Capim-Jaraguá (<i>Hyparrhenia rufa</i>)	Jatobá (<i>Hymenaea courbaril</i>)	4.5264
$x_{13,13,2} = 1$	Banana (<i>Musa spp.</i>)	Capim-gordura (<i>Melinis minutiflora</i>)	Amendoim-bravo (<i>Pterogyne nitens</i>)	4.8503
fmax				58.974

Local = Asitamarati

m=13, n=14, l=12

fmax = 58.974

$x_{1,1,1} = 1, x_{2,2,2} = 1, x_{3,3,3} = 1, x_{4,14,4} = 1, x_{5,5,5} = 1, x_{6,6,6} = 1, x_{7,7,7} = 1, x_{8,8,8} = 1, x_{9,9,9} = 1, x_{10,10,10} = 1, x_{11,11,11} = 1, x_{12,12,12} = 1, x_{13,13,2} = 1$

No estudo realizado por [Salomão et al. \(2012\)](#) em SAF com área de 0,25 ha, as espécies foram distribuídas em curvas de nível com as arbóreas espaçadas de 4 em 4 metros e em 13 linhas, com distância de 2 em 2 metros de uma espécie pioneira seguida por uma secundária e uma bananeira. Entre esses intervalos também foi plantado o abacaxi e nas entrelinhas são cultivadas leguminosas para uso como adubos verdes, como sorgo, crotalária, guandu e feijão de porco, e espécies agrícolas alimentares como feijão caupi, mandioca, quiabo, abóbora e milho. Essa distribuição mostra um bom planejamento para o SAF e nosso modelo indicou diferentes arranjos para essa diversidade de espécies.

O estudo apontou as arbóreas com maior diversidade de uso dentre as presentes no SAF, tais como amendoim bravo, mourão vivo, candeia, chico-magro, jenipapo, alecrim, aroeira, candiúva, ipê roxo, jatobá do cerrado, oiti, ipê amarelo, sangra d'água e tamboril. Dentre essas espécies arbóreas a que não está dentro do modelo para ser analisada é a oiti, devido aos limites de informações encontrados para essa espécie. Já a espécie apontada pelos autores como de

maior frequência dentro do SAF foi a Candiúva *Trema micrantra* (L.) e o modelo entregou somente um arranjo, $x_{5,5,5} = 1$, e isso deixa o modelo mais interessante pois mostrou que existe outras combinações ambientais favoráveis e o agricultor pode ter mais liberdade de escolha para as arbóreas. O importante é entender o porquê da frequência maior dessas espécies.

Quanto às espécies forrageiras, também foram acrescentadas a esse cenário as indicadas pela Embrapa Cerrado, para atender a quantidade superior de forrageiras exigida no modelo. Este cenário já possuía no arranjo algumas espécies forrageiras leguminosas. Essas espécies são muito utilizadas em sistemas agroflorestais para melhorar a qualidade nutricional e o solo também é beneficiado no sistema. Estudos comprovam que o uso de biomassa de alta qualidade na cobertura do solo minimiza e até pode ser um fator positivo na recuperação de solos degradados (MICCOLIS et al., 2016b).

O SAF (13,14,12) foi modelado, mas não foram utilizadas todas as espécies arbóreas indicadas neste cenário. As 13 espécies agrícolas/frutíferas foram indicadas uma em cada arranjo, respeitando a restrição a, assim como as restrições b e c.

O arranjo com o maior peso foi $x_{2,2,2} = 1$, com um valor de 4,8507 e as espécies são Ingá-feijão (*Inga marginata* Willd.) para agrícola/frutífera, Crotalaria (*Crotalaria juncea*) para forrageira e Amendoim-bravo (*Pterogyne nitens* Tul) para arbórea. Essa indicação parece interessante pelo fato de apresentar a espécie Ingá-feijão, uma espécie que tem ocorrência em beira de rios, planícies aluviais e também em toda região sul do Brasil (MICCOLIS et al., 2016b; CORADIN et al., 2011). Para essa espécie o modelo encontrou dois arranjos possíveis, ou seja, dois arranjos ambientalmente viáveis pelos tipos de espécies usadas pelo agricultor, em que os pesos para função de maximização são praticamente os mesmos. Um outro dado interessante é a associação das espécies leguminosas com bactérias fixadoras de nitrogênio, além do grande volume de biomassa aceitando podas anuais intensivas, sendo altamente recomendadas em consórcios agroflorestais (MICCOLIS et al., 2016b). Na literatura, esta espécie é muito indicada para compor SAFs e no nosso modelo foi bem indicada com peso ambiental relevante, ou seja, o modelo apresentou bons fundamentos para a decisão de escolha neste cenário.

O amendoim-bravo, indicação de espécie arbórea, pode ser utilizado como matéria prima na propriedade rural, em mourões para cercas, cabos de ferramentas, lenha, móveis, e também tem uso medicinal (SALOMÃO et al., 2012). Além disso, essa indicação fica mais interessante pois, essa espécie, é indicada para restauração de áreas degradadas no Cerrado, pela baixa exigência de fertilidade do solo (SANTOS et al., 2008).

A escolha, de espécies arbóreas quando o único fator de relevância do modelo for a adaptação climática, poderá indicar espécies nativas nos arranjos. Porém a tabela de espécies arbóreas possui diversas nativas, com base no princípio de formação que os SAFs priorizem o uso de espécies nativas para o aumento da biodiversidade do local.

Na modelagem do cenário Assentamento Itamarati, Ponta Porã (MS) podemos perceber que o conjunto apresentava espécies nativas e algumas obtiveram um peso melhor que outras em seus arranjos possíveis. Isso mostra que o modelo binário busca a combinação entre as três variáveis de espécies, assim, algebricamente entrega o número 1 para sim ou zero para não. O modelo mostrou-se eficiente na busca pela espécie jatobá, dentre as outras categorias de espécies agrícolas e forrageiras.

Não podemos afirmar que o jatobá, por exemplo, só teria essa formação de arranjo como ótima. O modelo avalia os pesos dados para cada cenário. É possível que, rodando todas as espécies e todos os cenários ao mesmo tempo, o modelo indique vários tipos de arranjos ótimos com a espécie jatobá, mas não no modelo desenhado para analisar as particularidades de cada ambiente dentro do bioma Cerrado. Para isso, o modelo deve ter uma única particularidade ambiental, que seria a média para o bioma, e um conjunto de espécies que são indicadas ou

normalmente consorciadas em SAFs no Cerrado.

A indicação da crotalária e capim gordura, nos dois arranjos com maior peso, revela duas forrageiras com exigências diferentes. O capim gordura, comum nas pastagens no Cerrado, é uma planta forrageira rústica e adaptada a solos com baixa fertilidade e boa drenagem. Já a crotalária é uma leguminosa com maior exigência de fertilidade, sendo uma das espécies chave para inserir em faixas com o propósito de adubo verde dentro dos SAFs (MICCOLIS et al., 2016b).

Quando avaliada a parte agrícola/frutífera da tabela dos arranjos com os melhores pesos temos Ingá e Banana, duas espécies bem diferentes em todos os aspectos. O ingá não tem valor econômico atrativo como a banana, porém, o seu fruto é muito apreciado localmente e pela fauna. Já a banana é uma das frutíferas mais utilizadas nos arranjos dos SAFs e tem valor de mercado atrativo ao produtor, podendo ser produzida com menores custos e menor mão de obra durante o seu crescimento, sendo o Brasil o segundo maior produtor mundial. Cultivada em todo o território nacional, a banana, após a colheita, tem ciclo curto até a comercialização, dificultando a venda para mercados distantes (MONTEIRO, 2009).

3.6.3 Cenário Conceição do Almeida, Bahia

O SAF estudado em Conceição do Almeida, no Estado da Bahia, está em uma região de transição entre o bioma Cerrado e outros. A região onde está o SAF tem clima tropical seco e subúmido, no que é muito similar às regiões do Cerrado (SILVEIRA et al., 2012). A Tabela 3.4 apresenta informações de resposta para o cenário de Conceição do Almeida (BA).

Tabela 3.4: Cenário dos arranjos aceitáveis da Agrofloresta da localidade de Conceição do Almeida, Bahia.

Arranjos	Agrícola	Forrageira	Arbórea	Pesos para fmax
$x_{1,1,1} = 1$	Acerola (<i>Malpighia puniceifolia</i>)	Brachiaria (<i>B. decumbens</i>)	Jacarandá (<i>Jacaranda cuspidifolia</i>)	4.354
$x_{2,2,2} = 1$	Graviola	Brachiaria (<i>B. brizantha</i>)	Açoita cavalo (<i>Luehea divaricata</i>)	4.1503
$x_{3,3,3} = 1$	Siriguela (<i>Spondias purpurea</i>)	Brachiaria (<i>B. humidicola</i>)	Pau-cigarra (<i>Senna multijuga</i>)	4.34
$x_{4,4,4} = 1$	Tamarindo	Brachiaria (<i>B. ruzizensis</i> , <i>B. dictyoneura</i>)	Aroeira (<i>Myracrodruon urundeuva</i>)	4.5627
$x_{5,5,5} = 1$	Palmeiras (<i>Cocos nucifera</i>)	Colonião (<i>Panicum maximum</i>)	Ipê-amarelo (<i>Tabebuia serratifolia</i>)	4.0253
$x_{6,8,6} = 1$	Jabuticaba	Capim-Jaraguá (<i>Hyparrhenia rufa</i>)	bálsamo (<i>Myroxylon peruiferum</i>)	3.38
$x_{7,7,7} = 1$	Manga (<i>Mangifera indica</i>)	Andropogon (<i>Andropogon gayanus</i>)	Sucupira (<i>Acosmium subelegans</i>)	4.4798
$x_{8,9,8} = 1$	Caju (<i>Anacardium occidentale</i>)	Capim-gordura (<i>Melinis minutiflora</i>)	Nim indiano (<i>Azadirachia indica</i>)	4.6248
fmax				33.923

Local = Conceição do Almeida

m=8, n=10, l=8

fmax = 33.923

$x_{1,1,1} = 1, x_{2,2,2} = 1, x_{3,3,3} = 1, x_{4,4,4} = 1, x_{5,5,5} = 1, x_{6,8,6} = 1, x_{7,7,7} = 1, x_{8,9,8} = 1$

O SAF (8, 10, 8) do estudo era cultivado em uma área de 0,5 ha que tinha capim *Brachiaria decumbis*. O objetivo foi implantar e monitorar SAF em unidade familiar do Recôncavo

Baiano para controle das formigas saúvas *Atta spp.* A conclusão dos autores foi que as formigas fazem parte do sistema sucessional e a presença delas pode ser positiva se bem manejada com “vasos pets” e “cobertura morta”.

Em nosso modelo, as oito opções de agrícola/frutífera obtiveram arranjos ótimos (entenda ótimo segundo a metodologia aplicada no modelo matemático) com ressalvas aos valores de pesos máximo e mínimo, 4,6248 e 3,38, respectivamente. A diferença entre eles é significativa e deve ser analisado esse distanciamento pelo conjunto das espécies do arranjo indicado, pois os pesos não deveriam apresentar grandes distâncias entre si, já que espera-se que os SAFs implantados pelos agricultores tenham composição de espécies aceitáveis na região.

A seguir é analisado o arranjo que obteve o peso máximo, $x(8, 9, 8)=1$, com Caju (*Anacardium occidentale*), Capim-gordura (*Melinis minutiflora*) e Nim indiano (*Azadirachia indica A. Juss.*). O caju é uma frutífera nativa do Cerrado (ROSKOV et al., 2016 apud (DOURADO, 2016)DOURADO2016) e, levando em consideração que o modelo valoriza pesos ambientais, essa espécie resulta em peso relevante para a sua escolha. Quando analisamos a forrageira indicada e a espécie arbórea, temos duas espécies muito comuns no bioma Cerrado, adaptadas a condições de baixa fertilidade e boa drenagem (MICCOLIS et al., 2016b).

A arbórea indicada pelo modelo para o peso máximo é originada de região árida do subcontinente indiano, sendo usada a mais de dois anos na Índia para controle de insetos, pragas, fungos, bactérias e vírus, na medicina humana e animal. Amplamente usada em reflorestamentos, como madeira de lei, produção de adubo verde e também como paisagismo. Uma boa opção para compor a parte arbórea de um SAF, pois seu crescimento é rápido, podendo atingir até 15 metros de profundidade, o que é um diferencial para locais de solos profundos, auxiliando no fluxo de água para as plantas de raízes mais superficiais (NEVES et al., 2003).

Sendo assim, a entrega da composição ótima pelo modelo está de acordo com as condições do ambiente, contribuindo com um serviço a mais, dentre as espécies, no sentido ambiental.

Analisando a composição que deu o menor valor de peso, $x(6, 8, 6)=1$, jabuticaba, capim-Jaraguá (*Hyparrhenia rufa*) e bálsamo (*Myroxylon peruiferum*), observa-se que essas são espécies encontradas comumente em SAFs já consolidados. O bálsamo é, geralmente, espécie companheira do abacaxi, mandioca, margaridão, feijão, andú, cagaita, angico, soja, bananeira, piteira, mucuna, paineira e ipê (MOREIRA et al., 2010). Assim, o modelo mostra fragilidade de identificação de espécies já utilizadas e bem adaptadas em arranjos SAFs. Portanto, a inclusão de uma categoria a mais de arranjos comumente utilizados poderia suprir essa fragilidade do modelo.

No cenário do SAF em Conceição do Almeida (BA), o ipê apresenta um ótimo valor ambiental, juntamente com palmeiras e o panicum. Essa arbórea é adaptada às condições de baixa fertilidade do solo, se desenvolve a pleno sol, o que permite bom consórcio com as palmeiras, e sua copa tem estrutura piramidal. Portanto, é recomendada para consórcios com forrageiras (DUBOC, 2004), ou seja, possui um bom arranjo, como indicado pelo modelo.

3.6.4 Cenário Município de Esperantina, Piauí

Para o estado do Piauí, foi utilizado estudo realizado no município de Esperantina, localizado ao norte do estado, na microrregião do Baixo Parnaíba, dentro do bioma Cerrado. A principal classe de solo foi o Argissolo Vermelho-Amarelo e a vegetação é identificada como de transição entre o Cerrado e Floresta secundária mista (IWATA et al., 2012). Esta área é classificada no zoneamento como área de pastagem com possibilidade para expansão agrícola e está dentro do perímetro denominado de MATOPIBA (INPE, 2013). A Tabela 3.5 apresenta os dados de saída do modelo matemático para o cenário no Piauí.

A análise dos SAFs mostrou que os sistemas de 6 e 13 anos promoveram melhoria de indicadores químicos do solo, com o aumento do pH, redução da saturação do alumínio, aumento dos teores de nutrientes, com maior estabilidade da qualidade química do solo em função da sazonalidade. Também verificou-se aumento dos teores de carbono e nitrogênio, através da adição de material orgânico, e as estruturas diversas que compõem esses sistemas garantiram melhor distribuição dos nutrientes ao longo do perfil do solo (IWATA et al., 2012).

No modelo, verificou-se uma combinação ambiental entre as espécies utilizadas nos SAFs avaliados. Como já visto em outros cenários, os pesos de cada arranjo possuem certa similaridade, ou seja, quando muito distantes da média podemos entender que são viáveis ambientalmente mas podem não ser a melhor escolha dentre os outros indicados. Neste caso, foi a combinação entre Pinha (*Annona squamosa*), Brachiaria (*B. Humidicola*) e Gergelim (*Sesamum indicum*) que, dentro deste conjunto de espécies, seria o arranjo menos interessante porém é viável.

Quando vemos o peso maior para um arranjo que tem o arroz como espécie agrícola, percebemos que as respostas podem ser as menos prováveis ao olhar dos produtores de SAFs. O cultivo do arroz nas terras altas do Cerrado é feito em sistema de sequeiro e com irrigação suplementar, via aspersão, em fases críticas da lavoura, forma bem diferente do arroz cultivado na região sul do Brasil (MONTEIRO, 2009).

A exploração de arroz na região do Cerrado é importante por diversos motivos, entre eles: não ter apenas uma região no país responsável pela produção (segurança alimentar) e questões logísticas, principalmente transporte, aumentando o valor desse produto que faz parte da cesta básica brasileira (MONTEIRO, 2009). Sendo assim, esta resposta de arranjo possível

Tabela 3.5: Cenário dos arranjos aceitáveis da Agroflorestra localizada no município de Esperantina, Piauí.

Arranjos	Agrícola	Forrageira	Arbórea	Pesos para fmax
$x_{1,1,1} = 1$	Manga (<i>Mangifera indica</i>)	Brachiaria (<i>B. decumbens</i>)	Mufumbo (<i>Combretum sp.</i>)	4.2159
$x_{2,2,2} = 1$	Acerola (<i>Malpighia punicifolia</i>)	Brachiaria (<i>B. brizantha</i>)	Urucum (<i>Bixa orellana</i>)	4.2322
$x_{3,3,3} = 1$	Pinha (<i>Annona squamosa</i>)	Brachiaria (<i>B. humidicola</i>)	Gergelim (<i>Sesamum indicum</i>)	3.6964
$x_{4,4,4} = 1$	Goiaba (<i>Psidium guajava</i>)	Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i> , <i>B. dictyoneura</i>)	Ipê-roxo (<i>Tabebuia impetiginosa</i>)	4.4129
$x_{5,5,5} = 1$	Arroz (<i>Oryza sativa</i>)	Colonião (<i>Panicum maximum</i>)	Babaçu (<i>Attalea ssp.</i>)	4.6796
$x_{6,6,6} = 1$	Milho (<i>Zea mays</i>)	Tanzânia, Mombaça (<i>Panicum maximum</i>)	Gonçalo-alves (<i>Astromium fraxinifolium</i> Schott)	4.1028
$x_{7,7,7} = 1$	Abóbora (<i>Cucurbita moschata</i>)	Andropogon (<i>Andropogon gayanus</i>)	Tamboril (<i>Enterolobium contortisiliquum</i>)	4.2712
$x_{8,8,8} = 1$	Mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)	Capim-Jaraguá (<i>Hyparrhenia rufa</i>)	Jatobá (<i>Hymenaea courbaril</i>)	4.133
$x_{9,9,9} = 1$	Banana (<i>Musa spp.</i>)	Capim-gordura (<i>Melinis minutiflora</i>)	Aroeira (<i>Myracrodruon urundeuva</i>)	4.2625
fmax				38.006

Local = Esperantina

m=9, n=10, l=9

fmax = 38.006

$x_{1,1,1} = 1, x_{2,2,2} = 1, x_{3,3,3} = 1, x_{4,4,4} = 1, x_{5,5,5} = 1, x_{6,6,6} = 1, x_{7,7,7} = 1, x_{8,8,8} = 1, x_{9,9,9} = 1$

poderia ser uma indicação interessante com outras espécies consorciadas. No entanto, não há estudos indicando a possibilidade de consórcio de arroz com a forrageira colômbio, que foi o arranjo encontrado pelo modelo. Sendo assim, a restrição de combinações não possíveis deve ser implementada ao modelo.

Em se tratando do sombreamento as espécies arbóreas de crescimento mais longo ou de copas mais abertas, que permitem a passagem da radiação solar, seriam as mais interessantes, pois a produtividade do arroz é afetada com a baixa incidência solar (MONTEIRO, 2009). No modelo foi indicado o babaçu no arranjo com arroz e essa palmeira é nativa da Amazônia, mas com distribuição também no Cerrado, muito usada em sistemas silvipastoris e de boa adaptação em SAFs, sendo uma boa indicação para consorciar com o arroz pelo baixo sombreamento (SIQUEIRA, 2017).

3.6.5 Cenário Fazenda São Luiz, São Joaquim da Barra, São Paulo

Para analisarmos um SAF da região de São Paulo, utilizamos dados da Agrofloresta da Fazenda São Luiz, que é uma referência em promover conhecimento a respeito das técnicas e princípios de formação de sistemas agrícolas complexos. A resposta de saída do modelo é apresentada na Tabela 3.6.

O local escolhido no Estado de São Paulo fica em São Joaquim da Barra e os SAFs são conduzidos desde 1997, através do grupo mutirão agroflorestral que surgiu um ano antes, através da troca de experiências com o pesquisador e produtor Ernst Götsch, pioneiro em SAFs no Brasil e o criador da Agricultura sintrópica. As áreas instaladas na Fazenda São Luiz visam produção agrícola e florestal, restauração ambiental e educação ambiental sobre as práticas de cultivo e manejo deste sistema (Mutirão Agroflorestral, 2021).

Um excelente cenário para o teste do modelo, pois a propriedade tem o cultivo e manejo de SAF a mais de 20 anos e, através de cursos e encontros anuais na fazenda, transferem conhecimento há muitos anos sobre as práticas de cultivo em sistemas complexos. Além disso, está dentro de uma região do Cerrado, que foi classificada para possível expansão agrícola em área de pastagem (INPE, 2013). O SAF (9,10,7) ocupa área de 10 ha e tem como propósitos de sua formação: restaurar a mata ciliar, pomares, horta agroflorestral e floresta produtiva com café, teca e baru, como principais culturas comerciais. As áreas manejadas com café e teca usam as entrelinhas para frutíferas e algumas culturas anuais que são tolerantes ao sombreamento.

O modelo matemático, ao rodar com todas as espécies neste local, encontrou três arranjos possíveis ambientalmente com a teca. Um foi com o abacate, outro com mamão e o terceiro com o café. Esse resultado é muito interessante, pois nenhuma informação de formação de SAF com uso dessas espécies foi dada ao modelo, porém as espécies indicadas pelo modelo são as descritas para o arranjo com a espécie arbórea pelo grupo mutirão agroflorestral.

Da combinação do arranjo de maior peso ambiental nesse cenário, temos a gliricídia indicada como arbórea, que pode ter também a função de forrageira pois é uma leguminosa arbórea com ótimo valor proteico, além do uso para sombreamento, cerca-viva, quebra-vento e madeira, também tolera estresse hídrico. Ou seja, mostra potencial de uso muito interessante para ambientes de Cerrado. Além disso, em termos de regeneração do ambiente é uma ótima aliada pois apresenta associação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio do gênero *Rhizobium* (MICCOLIS et al., 2016b). Essa indicação pelo modelo como a espécie que compõe o arranjo de melhor peso ambiental está de acordo com os objetivos do SAF deste cenário.

As forrageiras indicadas no nosso modelo fazem parte da lista indicada pela Embrapa, pois a Fazenda São Luiz não menciona o uso de espécies forrageiras diretamente. Indiretamente é citado o uso das podas das espécies para cobrir e incorporar nutrientes ao solo. Sendo assim,

fica como opção de uso nas entre linhas as forrageiras Capim-Jaraguá (*Hyparrhenia rufa*), *Andropogon* (*Andropogon gayanus*) e *Brachiaria* (*B. Decumbens*) que, além de serem usadas na alimentação animal, são excelentes na cobertura do solo e adição de biomassa vegetal através da parte aérea e sistema radicular. Cabe aqui também uma ressalva para o uso dessas espécies, pois são exóticas e chamadas de invasoras biológicas, ou seja, se não manejadas ganham expansão sobre o território e acabam inibindo as espécies nativas de se estabelecerem no local (MICCOLIS et al., 2016b).

Como referência, o Sítio Semente, no Distrito Federal, faz o manejo das forrageiras, em sistema chamado de “adubadeiras”, através de canteiros sucessionais com culturas anuais e hortaliças consorciadas com linhas de espécies adubadeiras (*Andropogon e brachiaria*) e espécies nativas (MICCOLIS et al., 2016b). Os sistemas implantados nesses locais não tem a intenção de mudar completamente o que é cultivado na região. Como essas espécies estavam ali presentes quando os produtores chegaram, foram buscadas formas de transformar essas terras, que estão muitas vezes subutilizadas, em áreas abundantes e restauradas ambientalmente.

Outro resultado obtido no modelo foi que os arranjos indicados estão com pesos mais próximos, variando em torno do valor 4,0. Podemos supor que as espécies escolhidas pelos produtores para essa localidade foram muito assertivas no quesito ambiental, ou seja, se retomado um dos objetivos dos SAFs da Fazenda São Luiz, o de restauração ambiental, segundo o modelo matemático os valores estão dentro da média. Não é possível afirmar que esse resultado se repita usando as mesmas espécies em outros locais, mas para o cenário e regiões próximas similares seria uma ótima opção de produção de alimentos com restauração ambiental.

Tabela 3.6: Cenário dos arranjos aceitáveis da Agrofloresta da Fazenda São Luiz, São Joaquim da Barra, SP.

Arranjos	Agrícola	Forrageira	Arbórea	Pesos para fmax
$x_{1,1,1} = 1$	Abacate (<i>Lauraceae</i>)	<i>Brachiaria</i> (<i>B. decumbens</i>)	Teca (<i>Tectona grandis</i>)	4.2814
$x_{2,2,2} = 1$	Mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)	<i>Brachiaria</i> (<i>B. brizantha</i>)	Tamboril (<i>Enterolobium contortisiliquum</i>)	4.7543
$x_{3,3,3} = 1$	Milho (<i>Zea mays</i>)	<i>Brachiaria</i> (<i>B. humidicola</i>)	Urucum (<i>Bixa orellana</i>)	4.6559
$x_{4,4,4} = 1$	Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	<i>Brachiaria</i> (<i>B. ruziziensis, B. dictyoneura</i>)	Mogno-africano (<i>Khaya spp.</i>)	4.758
$x_{5,5,5} = 1$	Mamona (<i>Ricinus communis</i>)	Colonião (<i>Panicum maximum</i>)	Gliricídia (<i>Gliricidia sepium</i>)	4.9198
$x_{6,6,6} = 1$	Banana (<i>Musa spp.</i>)	Tanzânia, Mombaça (<i>Panicum maximum</i>)	Jatobá (<i>Hymenaea courbaril</i>)	4.649
$x_{7,7,1} = 1$	café (<i>Coffea spp.</i>)	<i>Andropogon</i> (<i>Andropogon gayanus</i>)	Teca (<i>Tectona grandis</i>)	4.5375
$x_{8,8,1} = 1$	Mamão (<i>Carica papaya</i>)	Capim-Jaraguá (<i>Hyparrhenia rufa</i>)	Teca (<i>Tectona grandis</i>)	4.7775
$x_{9,9,7} = 1$	Palmito pupunha (<i>Bactris gasipaes</i>)	Capim-gordura (<i>Melinis minutiflora</i>)	Baru (<i>Dipteryx alata</i>)	4.5389
fmax				41.872

Local = Fazsaoluis

m=9, n=10, l=7

fmax = 41.872

$x_{1,1,1} = 1, x_{2,2,2} = 1, x_{3,3,3} = 1, x_{4,4,4} = 1, x_{5,5,5} = 1, x_{6,6,6} = 1, x_{7,7,1} = 1, x_{8,8,1} = 1, x_{9,9,7} = 1$

3.6.6 Cenário Filadélfia, Tocantins

O estudo do SAF (9,10,2) localizado no município de Filadélfia, Tocantins, teve como objetivo avaliar indicadores econômicos no período de 10 anos, utilizando planilha em Excel, em uma área de 2 ha. A conclusão do estudo é de que o SAF pode ser uma alternativa de investimento para a diversificação da renda, de produção, criação de novos mercados para comercialização e tecnologia e na recuperação ambiental (JOELMA PONTES MAIA, 2019). A análise desse cenário é apresentada através dos arranjos na Tabela 3.7.

Tabela 3.7: Cenário dos arranjos aceitáveis da Agrofloresta da localidade de Filadélfia, Tocantins

Arranjos	Agrícola	Forrageira	Arbórea	Pesos para fmax
$x_{1,2,2} = 1$	Tangerina (<i>Citrus reticulata</i>)	Brachiaria (<i>B. brizantha</i>)	Cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	4.6001
$x_{2,1,2} = 1$	Goiaba (<i>Psidium guajava</i>)	Brachiaria (<i>B. decumbens</i>)	Cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	4.5116
$x_{3,3,1} = 1$	Acerola (<i>Malpighia punicifolia</i>)	Brachiaria (<i>B. humidicola</i>)	Cajá (<i>spondias lutea</i>)	4.2515
$x_{4,4,2} = 1$	Açaí (<i>Euterpe oleracea</i>)	Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i> , <i>B. dictyoneura</i>)	Cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	3.7413
$x_{5,5,2} = 1$	maracujá amarelo (<i>Passiflora edulis</i>)	Colonião (<i>Panicum maximum</i>)	Cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	4.5021
$x_{6,8,2} = 1$	melancia (<i>Citrullus lanatus</i>)	Capim-Jaraguá (<i>Hyparrhenia rufa</i>)	Cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	4.2798
$x_{7,7,2} = 1$	mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)	Andropogon (<i>Andropogon gayanus</i>)	Cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	4.4106
$x_{8,9,2} = 1$	melão (<i>Cucumis melo</i>)	Capim-gordura (<i>Melinis minutiflora</i>)	Cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	4.5069
fmax				34.804

Local = Filadélfia

m=9, n=10, l=2

fmax = 34.804

$x_{1,2,2} = 1, x_{2,1,2} = 1, x_{3,3,1} = 1, x_{4,4,2} = 1, x_{5,5,2} = 1, x_{6,8,2} = 1, x_{7,7,2} = 1, x_{8,9,2} = 1$

De forma similar, o modelo verificou as melhores combinações ambientais dentre as espécies que já foram validadas quanto aos aspectos financeiros e o menos indicado entre os arranjos viáveis seria o $x(4, 4, 2)=1$, que obteve um peso de 3,7413 para a combinação entre as espécies açaí, brachiaria e cupuaçu.

Como só foram utilizados cupuaçu e cajá como arbórea nesse cenário, o modelo buscou combinações possíveis para essas espécies e indicou somente uma única vez o cajá, que não é nativa. Já o cupuaçu, muito utilizado em SAFs da região de Tocantins, é uma espécie nativa da Amazônia, adaptada ao clima tropical, sendo esse o motivo de ser mais recomendável ambientalmente para compor os arranjos em Filadélfia, Tocantins (DOURADO, 2016).

A região do cenário avaliado em Tocantins está classificada como destinada a restauração ou intensificação da pecuária (INPE, 2013). Logo, é um ótimo local para utilizar as informações geradas pelo modelo, cuja inserção das componentes de forrageira pode trazer diferencial para o agricultor pois a maioria dos arranjos são ambientalmente ideais, com uma restrição apenas para o arranjo $x(4,4,2)$.

3.6.7 Cenário do Município de Luís Domingues, Maranhão

O cenário modelado no Município de Luís Domingues, Maranhão, possui um SAF (3,10,3) que foi base de estudo para avaliar o comportamento de cultivares de açaí inseridas em uma agrofloresta. A cultivar BRS-Pará teve melhor crescimento que a espécie nativa de açaí, tendo o monocultivo o melhor resultado (SAGRILO; SERAFIM, 2009).

Neste SAF, as espécies agrícolas mencionadas são as arbóreas existentes em outro local. Ou seja, o modelo pode ter um comportamento diferente para este cenário pois, a restrição que obriga todas as agrícolas estarem uma vez em cada arranjo resultou na indicação de cupuaçu com o sombreiro e *Andropogon*, e para o cajá foi indicada a andiroba e *Brachiaria*. Nesta combinação pode haver uma competição por radiação solar e a utilização das técnicas de multiestrato, com podas frequentes pode ser um diferencial. Os dados de saída do modelo matemático para o cenário do Estado do Maranhão, estão na Tabela 3.8.

Tabela 3.8: Cenário dos arranjos aceitáveis da Agrofloresta localizada no município de Luís Domingues, MA.

Arranjos	Agrícola	Forrageira	Arbórea	Pesos para fmax
$x_{1,7,1} = 1$	Cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	<i>Andropogon (Andropogon gayanus)</i>	Sombreiro (<i>Clitoria fairchidiana</i>)	3.7326
$x_{2,5,2} = 1$	Açaí (<i>Euterpe oleracea</i>)	Colonião (<i>Panicum maximum</i>)	Gliricídia (<i>Gliricidia sepium</i>)	3.7011
$x_{3,4,3} = 1$	Cajá (<i>Spondias mombin</i>)	<i>Brachiaria (B. ruzizensis, B. dictyoneura)</i>	Andiroba (<i>Carapa guianensis</i>)	4.5246
fmax				11.958

Local = Luisdom

m=3, n=10, l=3

fmax = 11.958

$x_{1,7,1} = 1, x_{2,5,2} = 1, x_{3,4,3} = 1$

No modelo o resultado para o açaí não foi um dos melhores, obtendo um peso de 3,7011, o menor entre os demais, e o destaque foi para o cajá, que no cenário anterior, em Filadélfia (MA), teria sido usado uma única vez como arbórea, e aqui, em Luís Domingues (MA), se sobressaiu como agrícola/frutífera. Fato relevante a ser analisado é que o açaí em nenhum cenário teve peso superior a 3,0. Este resultado pode indicar que não seja um uso ambientalmente ideal para o Cerrado, ou mesmo como o que foi concluído no estudo utilizado nesse cenário, que seria uma espécie melhor otimizada em monocultivo.

O açaí é nativo da Amazônia brasileira e tem o estado do Pará como principal centro de dispersão natural desta palmácea, adaptada às condições elevadas de temperatura, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar. O Pará é o principal produtor, sendo também cultivada no Amapá, Maranhão, Mato Grosso e Tocantins (NOGUEIRA et al., 2005). Ainda, um dos fatores que interferem na associação e arranjo de plantas está relacionado com a direção do sol (NOGUEIRA et al., 2005) Para o melhor uso deste recurso natural no SAF, deve-se dispor as linhas das espécies arbóreas no sentido que fará menor sombreamento às demais. O açaí, em sua fase inicial e adulta, não tolera sombreamento excessivo, diferente do cupuaçu que não tem sua produtividade afetada com até 20% de sombreamento.

Um dos benefícios do açaí em SAFs avaliados pelo mesmo autor (SAGRILO; SERAFIM, 2009), seria na diversificação e distribuição da produção, racionalização do uso da mão de obra e maior equilíbrio ambiental. Em arranjos de SAFs são recomendadas culturas anuais como caupi, milho, mandioca, e semi perenes como maracujá, banana, mamão e abacaxi diminuindo,

assim, os custos de implantação dos açazais.

No modelo o açaí entrou como espécie agrícola/frutífera e a resposta não foi muito favorável de arranjo com a gliricidia e o *Panicum*; porém, o resultado pode ser diferente se entrar como arbórea, como no caso citado acima. Neste sentido, uma outra análise e ajuste no modelo seria interessante para essa espécie, pela grande contribuição ambiental e econômica.

3.6.8 Cenário do bairro Canaã, Machado, Minas Gerais

O cenário escolhido no Estado de Minas Gerais está localizado na região sul, no município de Machado, bairro Canaã. A região possui o título de capital mundial do café orgânico devido ao seu pioneirismo e as exportações para Europa, Estados Unidos e Japão. A classificação desta área, segundo Terraclass 2013 (INPE, 2013), é destinada para agricultura ou pecuária, tendo aptidão agrícola entre alta e média. A tabela 3.9 apresenta o resultado do modelo para o SAF do Bairro Canaã, MG.

Tabela 3.9: Cenário dos arranjos aceitáveis da Agroflorestra localizada no bairro Canaã, Machado, MG.

Arranjos	Agrícola	Forrageira	Arbórea	Pesos para fmax
$x_{1,1,1} = 1$	Manga (<i>Mangifera indica</i>)	Brachiaria (<i>B. decumbens</i>)	Eucalipto (<i>Eucalyptus spp.</i>)	4.881
$x_{2,2,1} = 1$	Acerola (<i>Malpighia puniceifolia</i>)	Brachiaria (<i>B. brizantha</i>)	Eucalipto (<i>Eucalyptus spp.</i>)	4.89
$x_{3,3,1} = 1$	Goiaba (<i>Psidium guajava</i>)	Brachiaria (<i>B. humidicola</i>)	Eucalipto (<i>Eucalyptus spp.</i>)	4.999
$x_{4,4,1} = 1$	Abacate (<i>Lauraceae</i>)	Brachiaria (<i>B. ruziziensis, B. dictyoneura</i>)	Eucalipto (<i>Eucalyptus spp.</i>)	4.3719
$x_{5,5,1} = 1$	Café (<i>Coffea spp.</i>)	Colonião (<i>Panicum maximum</i>)	Eucalipto (<i>Eucalyptus spp.</i>)	4.5443
$x_{6,6,1} = 1$	Banana (<i>Musa spp.</i>)	Tanzânia, Tobiatã, Mombaça (<i>Panicum maximum</i>)	Eucalipto (<i>Eucalyptus spp.</i>)	4.8459
$x_{7,7,1} = 1$	Arroz (<i>Oryza sativa</i>)	Andropogon (<i>Andropogon gayanus</i>)	Eucalipto (<i>Eucalyptus spp.</i>)	5.4346
$x_{8,8,1} = 1$	Milho (<i>Zea mays</i>)	Capim-Jaraguá (<i>Hyparrhenia rufa</i>)	Eucalipto (<i>Eucalyptus spp.</i>)	4.8068
$x_{9,9,1} = 1$	Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	Capim-gordura (<i>Melinis minutiflora</i>)	Eucalipto (<i>Eucalyptus spp.</i>)	4.8106
fmax				43.584

Local = Machado

m=9, n=10, l=1

fmax = 43.584

$x_{1,1,1} = 1, x_{2,2,1} = 1, x_{3,3,1} = 1, x_{4,4,1} = 1, x_{5,5,1} = 1, x_{6,6,1} = 1, x_{7,7,1} = 1, x_{8,8,1} = 1, x_{9,9,1} = 1$

O estudo utilizado como base teve como objetivo analisar a produtividade, os aspectos econômicos e ambientais de um SAF com onze anos, no sul de Minas Gerais, de produtor de café orgânico, banana e madeira (LOPES et al., 2009). Todas as espécies agrícolas/frutíferas mencionadas na tabela 3.9 constam como cultivadas em algum momento na propriedade e foram utilizadas como melhores opções ambientais para o conjunto de espécies nesta região.

Como não constam no estudo espécies forrageiras, indicamos ao modelo dez espécies citadas pela Embrapa como viáveis no Cerrado. O modelo indicou para cada espécie agrícola forrageira o melhor arranjo possível ambientalmente tendo como a única arbórea o Eucalipto.

Como não consta no estudo espécies forrageiras, indicamos ao modelo dez espécies citadas pela Embrapa como viáveis no Cerrado. O modelo indicou para cada espécie agrícola forrageira o melhor arranjo possível ambientalmente tendo como a única arbórea o Eucalipto.

O resultado do modelo foi positivo e favorável para todas as espécies que constam na lista inicial, com arranjos viáveis para todas as forrageiras, o que foi uma resposta bem incomum comparada aos outros cenários, em que sempre ao menos uma foi excluída. Os pesos são extremamente altos, variando sempre em torno do valor 4,0 e mesmo um arranjo com peso acima, ou seja, o arranjo que iria contribuir mais no quesito ambiental. Esse resultado pode ser também devido ao menor número de opções de espécies, pois o modelo sempre entrega uma combinação. Neste sentido, o modelo mostra uma fragilidade ao não indicar arranjo quando não há viabilidade com as espécies indicadas.

3.6.9 Cenário do Município de Mambaí, Goiás

O estudo, que traz o Estado de Goiás, aborda a experiência do SAF em assentamentos da reforma agrária na região Nordeste do Estado, muito rica tanto em beleza natural quanto cultural, porém é uma das regiões de maior índice de pobreza. Os assentamentos estudados ficam no município de Mambaí e estão localizados dentro da APA do Rio Vermelho. Foram avaliados SAFs implantados como alternativa à agricultura extrativista de derrubada e queima (REIS, 2014). É um bom cenário para a nossa análise, considerando a classificação de área destinadas à agricultura ou pecuária, com aptidão média, ou seja local apto a receber sistema produtivo como o SAF (INPE, 2013). A tabela 3.10 traz os arranjos ambientalmente ideais para o SAF analisado no município de Mambaí, GO.

Segundo as resposta do modelo para as espécies agrícolas/frutíferas utilizadas pelo assentamento mais as forrageiras e arbóreas pode-se inferir que são ótimas opções de espécies para compor um SAF nesta região. Os pesos individuais por arranjos indicados têm valores de 4,0 e um com valor acima. O arranjo que indica o arroz como espécie agrícola teve o maior peso junto com o mogno africano e a brachiaria, o que é um resultado muito positivo devido à expansão do cultivo de arroz de sequeiro, necessário para garantir a segurança alimentar.

Outro dado interessante é a presença do mogno africano, com resposta tão positiva ambientalmente, pois é uma madeira nobre com valor econômico elevado e importante para agricultores familiares, com baixa renda na região examinada. E por fim, a brachiária, uma ótima forrageira para a região, como cobertura do solo e para alimentação animal.

Podemos também observar que os pesos estão todos elevados para os outros arranjos indicados pelo modelo, ou seja, a continuidade do cultivo dessas espécies será muito benéfica ao meio ambiente e aos produtores. Uma ressalva para as forrageiras capim-gordura, capim-elefante e capim-jaraguá, que estão indicadas e faziam parte já das utilizadas pelos produtores. A forrageira tifton foi a única não incluída na indicação pelo modelo.

Tabela 3.10: Cenário dos arranjos aceitáveis da Agrofloresta localizada no município de Mambai, Goiás.

arranjos	Agrícola	Forrageira	Arbórea	Pesos para fmax
$x_{1,1,4} = 1$	Mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)	Capim Elefante (<i>Came-roon</i>)	Mogno-africano (<i>Khaya spp.</i>)	4.67
$x_{2,2,2} = 1$	Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	Brachiaria (<i>B. decumbens</i>)	Pequi (<i>Caryocar brasiliense camb</i>)	4.575
$x_{3,3,3} = 1$	Milho (<i>Zea mays</i>)	Brachiaria (<i>B. brizantha</i>)	Aroeira (<i>Myracrodruon urundeuva</i>)	4.668
$x_{4,4,4} = 1$	Arroz (<i>Oryza sativa</i>)	Brachiaria (<i>B. humidicola</i>)	Mogno-africano (<i>Khaya spp.</i>)	5.0431
$x_{5,5,5} = 1$	Melancia (<i>Citrullus lanatus</i>)	Brachiaria (<i>B. ruzizensis, B. dictyoneura</i>)	Acácia (<i>Acacia mearnsii</i>)	4.3247
$x_{6,6,4} = 1$	Abóbora (<i>Cucurbita moschata</i>)	Colonião (<i>Panicum maximum</i>)	Mogno-africano (<i>Khaya spp.</i>)	4.6836
$x_{7,7,4} = 1$	Amendoim (<i>Arachis hypogea</i>)	Tanzânia, Mombaça (<i>Panicum maximum</i>)	Tobiatã, (<i>Panicum spp.</i>)	4.937
$x_{8,8,4} = 1$	Mamão (<i>Carica papaya</i>)	Andropogon (<i>Andropogon gayanus</i>)	Mogno-africano (<i>Khaya spp.</i>)	4.7078
$x_{9,9,1} = 1$	Abacaxi (<i>Ananas comosus</i>)	Capim-Jaraguá (<i>Hyparrhenia rufa</i>)	Baru (<i>Dipteryx alata</i>)	4.6578
$x_{10,10,6} = 1$	Maracujá amarelo (<i>Passiflora edulis</i>)	Capim-gordura (<i>Melinis minutiflora</i>)	Eucalipto (<i>Eucalyptus spp.</i>)	4.6362
fmax				46.903

Local = Mambai

m=10, n=11, l=6

fmax = 46.903

$x_{1,1,4} = 1, x_{2,2,2} = 1, x_{3,3,3} = 1, x_{4,4,4} = 1, x_{5,5,5} = 1, x_{6,6,4} = 1, x_{7,7,4} = 1, x_{8,8,4} = 1, x_{9,9,1} = 1, x_{10,10,6} = 1$

3.6.10 Cenário de Palmas, Tocantins

O cenário de Palmas, no Estado de Tocantins, faz parte de material bibliográfico do curso: Agrobiodiversidade em sistemas familiares, e tem como objetivo apresentar a viabilidade de arranjos de espécies comerciais e de importância ecológica seguindo princípios agroecológicos (SANTOS et al., 2018c). A região também está classificada como área de pastagem, maiores que 100 ha, e com aptidão agrícola em alguns locais (INPE, 2013). O cenário de Palmas, Tocantins teve como saída de arranjo a tabela 3.11, conforme as espécies existentes no SAF.

O resultado para o modelo do SAF (9,10,2) mostra algumas combinações com peso menor que 4,0. Isto ocorre devido a exigência imposta pela restrição de ter espécies agrícolas, obrigatoriamente, em cada arranjo indicado. As culturas indicadas, tomate-cereja, hortaliças, cupuaçu e palmeiras, não seriam as mais viáveis ambientalmente nessa região, porém são de rápido crescimento e existe a possibilidade de renda para as famílias em pouco tempo. Por outro lado, limitando as culturas em função do mercado consumidor, Palmas é a capital do Estado do Tocantins, pode-se gerar outro problema relacionado a segurança alimentar.

A conclusão do estudo mostra que a implementação do SAF é viável na transição da produção convencional para produção orgânica, no aspecto econômico, pois, uma vez implantado, os SAFs são autossustentáveis e ainda tornam o ambiente mais equilibrado através de controle biológico e adubação feita pelos resíduos orgânicos (SANTOS et al., 2018c).

Tabela 3.11: Cenário dos arranjos aceitáveis da Agrofloresta localizada em Palmas, Tocantins.

arranjos	Agrícola	Forrageira	Arbórea	Pesos para fmax
$x_{1,1,2} = 1$	Palmeiras (<i>Cocos nucifera</i>)	Brachiaria (<i>B. decumbens</i>)	Moringa (<i>Moringa oleifera</i>)	3.8983
$x_{2,8,2} = 1$	Cacau (<i>Theobroma cacao</i>)	Capim-Jaraguá (<i>Hyparrhenia rufa</i>)	Moringa (<i>Moringa oleifera</i>)	4.3998
$x_{3,3,2} = 1$	Cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	Brachiaria (<i>B. humidicola</i>)	Moringa (<i>Moringa oleifera</i>)	3.6359
$x_{4,4,2} = 1$	Tomate-cereja	Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i> , <i>B. dictyoneura</i>)	Moringa (<i>Moringa oleifera</i>)	3.6882
$x_{5,5,1} = 1$	Hortaliças folhosas alface (<i>Lactuca sativa</i>)	Colonião (<i>Panicum maximum</i>)	Eucalipto (<i>Eucalyptus spp.</i>)	3.6885
$x_{6,7,2} = 1$	Mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)	Andropogon (<i>Andropogon gayanus</i>)	Moringa (<i>Moringa oleifera</i>)	4.3987
$x_{7,6,2} = 1$	Milho (<i>Zea mays</i>)	Tanzânia, Mombaça (<i>Panicum maximum</i>)	Moringa (<i>Moringa oleifera</i>)	4.2281
$x_{8,2,2} = 1$	Banana (<i>Musa spp.</i>)	Brachiaria (<i>B. brizantha</i>)	Moringa (<i>Moringa oleifera</i>)	4.4243
$x_{9,9,2} = 1$	Café (<i>Coffea spp.</i>)	Capim-gordura (<i>Melinis minutiflora</i>)	Moringa (<i>Moringa oleifera</i>)	4.0145
fmax				36.376

Local = Palmas

m=9, n=10, l=2

fmax = 36.376

$x_{1,1,2} = 1, x_{2,8,2} = 1, x_{3,3,2} = 1, x_{4,4,2} = 1, x_{5,5,1} = 1, x_{6,7,2} = 1, x_{7,6,2} = 1, x_{8,2,2} = 1, x_{9,9,2} = 1$

No modelo, pode-se inferir que as conclusões são similares pois, em uma visão geral, o modelo entregou várias possibilidades viáveis de arranjos, que estão de acordo com o ambiente em Palmas (TO), e alguns são mais promissores que outros no quesito de ser auto sustentável e tornar o ambiente mais harmônico.

3.6.11 Cenário na Microrregião de Ponta Grossa, Município de Palmeira, Paraná

O SAF escolhido na Microrregião de Ponta Grossa, Município de Palmeira, Paraná, não está dentro da demarcação geográfica do bioma Cerrado. Porém foi considerado como relevante analisar local que possui tal complexidade de informações para verificação do modelo. O SAF (5,10,5) está em região classificada como Floresta Ombrófila Mista, e o estudo analisou e testou espécies adaptadas para o cultivo local, a fim de suprir uma lacuna de informações. A tabela 3.12 apresenta a resposta de saída do modelo para o SAF na Microrregião de Ponta Grossa (PR).

Tabela 3.12: Cenário dos arranjos aceitáveis da Agrofloresta localizada na microrregião de Ponta Grossa, município de Palmeira, Paraná.

arranjos	Agrícola	Forrageira	Arbórea	Pesos para fmax
$x_{1,1,1} = 1$	Guabiroba (<i>Campomanesia xanthocarpa</i>)	Brachiaria (<i>B. decumbens</i>)	Canela-sassafrás (<i>Ocotea odorifera</i>)	5.1007
$x_{2,2,2} = 1$	Cerejeira (<i>Eugenia involucrata</i>)	Brachiaria (<i>B. brizantha</i>)	Espinheira-santa (<i>Maytenus ilicifolia</i>)	3.9623
$x_{3,5,3} = 1$	Pitanga (<i>Eugenia uniflora</i>)	Colonião (<i>Panicum maximum</i>)	Erva-mate (<i>Ilex paraguariensis</i>)	4.6813
$x_{4,4,4} = 1$	feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i> , <i>B. dictyoneura</i>)	Pinheiro-do-Paraná (<i>Araucaria angustifolia</i>)	5.0023
$x_{5,7,5} = 1$	Milho (<i>Zea mays</i>)	Andropogon (<i>Andropogon gayanus</i>)	Aroeira (<i>Schinus terebinthifolius</i>)	5.3459
fmax				24.092

Local = Ponta Grossa

m=5, n=10, l=5

fmax = 24.092

$x_{1,1,1} = 1, x_{2,2,2} = 1, x_{3,5,3} = 1, x_{4,4,4} = 1, x_{5,7,5} = 1$

Como base para a avaliação, foi utilizado estudo que verificou a possibilidade de arranjo agroflorestal multiestrato com 15 espécies nativas, com potencial madeireiro e não madeireiro, em ambientes de APP (PEREIRA et al., 2012).

No modelo podemos verificar o quanto distante ficaram os arranjos indicados, com os pesos variando entre 5 e 3. Isso pode decorrer da diferença ambiental entre as espécies escolhidas para o local do estudo, ou seja, o modelo indica fortemente o uso do arranjo milho, *Andropogon* e aroeira, e recomenda com um peso de 5,3459. Essa distância na recomendação dos arranjos está ligada ao uso de espécies não adequadas ambientalmente. A cerejeira, por exemplo, ocorre no Brasil, de Minas Gerais até o Rio Grande do Sul. Essa espécie não é comum entre as espécies frutíferas nos pomares e menos ainda no arranjo de um SAF. Como ponto positivo para a localidade avaliada é o interesse em explorar essa espécie, pelo valor econômico dos frutos *in natura*, como também, na forma de doces, geleias e licores ou até como componente de recuperação de áreas degradadas LORENZI, (2002) apud (DEGENHARDT et al., 2007).

O valor baixo do peso atribuído pode estar relacionado com o fato de as outras espécies terem índices mais favoráveis, para o clima da propriedade estudada, e o arranjo viável para a cerejeira deve-se a restrição do modelo, de que todas as espécies agrícolas/frutíferas devem encontrar um arranjo viável. Essa restrição levou ao efeito nítido, de como o uso de algumas espécies não seria indicado se não houvesse a exigência do modelo de rodar com todas as espécies agrícolas utilizadas pelo produtor e que sempre entregasse um arranjo viável. Com essa restrição, buscou-se respeitar tanto as práticas de cultivo de algumas espécies quanto aspectos

sociais e culturais do produtor, relacionadas com o local e o consumo de certos produtos. O modelo não pode ficar restrito unicamente ao que ambientalmente seria viável, sem levar em consideração as preferências do agricultor.

3.6.12 Cenário Sinop, Mato Grosso

O estudo que traz o cenário de Sinop faz parte de levantamento feito pela Embrapa Agrosilvopastoril para o desenvolvimento agropecuário da região. A técnica explorada no estudo de SAFs produtivos para o norte do Estado de Mato Grosso foi a de cultivo em aléias (alley cropping), com arranjo em fileiras alternadas de árvores, de rápido crescimento, combinadas com culturas agrícolas nas entrelinhas (KANG, 1993, apud (SILVA et al., 2019). A área está classificada com de alta a média aptidão agrícola e pastagem maior que 100 ha (INPE, 2013), É uma boa área para uso do SAF, seguindo as recomendações de arranjo resultantes do modelo, pois são ambientalmente favoráveis para sua implementação. A Tabela 3.13 apresenta as informações de saída referente ao SAF de Sinop, no Estado de Mato Grosso.

Tabela 3.13: Cenário dos arranjos aceitáveis da Agrofloresta localizada em Sinop, Mato Grosso.

arranjos	Agrícola	Forrageira	Arbórea	Pesos para fmax
$x_{1,5,1} = 1$	Mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)	Colonião (<i>Panicum maximum</i>)	Eucalipto (<i>Eucalyptus spp.</i>)	4.4458
$x_{2,2,2} = 1$	Abóbora (<i>Cucurbita moschata</i>)	Brachiaria (<i>B. brizantha</i>)	Acácia (<i>Acacia mearnsii</i>)	4.1514
$x_{3,7,3} = 1$	Banana da Terra Banana (<i>Musa spp.</i>)	Andropogon (<i>Andropogon gayanus</i>)	Taxi branco (<i>Tachigali vulgaris</i>)	4.6335
$x_{4,4,4} = 1$	Banana da terra d'angolaBanana (<i>Musa spp.</i>)	Brachiaria (<i>B. ruzizensis, B. dictyoneura</i>)	Casuarina (<i>Casuarina equisetifolia</i>)	4.4767
fmax				17.707

Local = Sinop

m=4, n=10, l=4

fmax = 17.707

$x_{1,5,1} = 1, x_{2,2,2} = 1, x_{3,7,3} = 1, x_{4,4,4} = 1$

A espécie agrícola mais utilizada no estudo foi a bananeira, amplamente cultivada no país e adaptada a todos os biomas do Brasil. É de fácil inserção em arranjos com outras espécies e possui grande mercado mundial. O Brasil é o 4º produtor mundial de banana depois da Índia, China e Indonésia, e o mercado brasileiro consome 99% da produção (SILVA et al., 2019).

O SAF (m,n,l), (4,10,4) analisado é pioneiro na produção e comercialização de banana na região norte do Estado de Mato Grosso. A escala do SAF foi planejada para uma produção comercial, sendo utilizada, 2000 plantas por hectare. Os arranjos indicados pelo modelo ficaram na média com o peso 4, o que mostra que as espécies escolhidas para implementar o SAF nessa região estão ambientalmente adequadas.

O estudo analisado (KANG, 1993, apud (SILVA et al., 2019) indicou o melhor arranjo no SAF para o componente florestal taxi branco e, em segundo, a casuarina, o que foi coincidente com a resposta do modelo. Essas semelhanças são interessantes pois o modelo avaliou a parte ambiental e o estudo priorizou aspectos agrônômicos e a viabilidade econômica do SAF.

3.6.13 Cenário Sítio Gerânium, Taguatinga, Distrito Federal

Para a localidade do Distrito Federal, escolhemos o Sítio Gerânium, em Taguatinga, devido ao uso da palmeira Juçara como espécie estratégica de resiliência em épocas de estiagem (PRADO; CASTRO, 2016). O que seria um requisito importante para modelar, o de inserção de espécies resistentes a períodos longos de estiagem, típicas do Cerrado. A Tabela 3.14 traz as informações de saída do modelo para o SAF do Sítio Gerânium, Distrito Federal.

Tabela 3.14: Cenário dos arranjos aceitáveis da Agrofloresta localizada no Sítio Gerânium, Taguatinga, Distrito Federal.

arranjos	Agrícola	Forrageira	Arbórea	Pesos para fmax
$x_{1,5,1} = 1$	Palmeiras juçara (<i>Euterpe Edulis</i>)	Colonião (<i>Panicum maximum</i>)	Baru (<i>Dipteryx alata</i>)	4.2949
$x_{2,2,2} = 1$	Banana (<i>Musa spp.</i>)	Brachiaria (<i>B. brizantha</i>)	Jatobá (<i>Hymenaea courbaril</i>)	4.8229
$x_{3,7,1} = 1$	Hortaliças folhosas alface (<i>Lactuca sativa</i>)	Andropogon (<i>Andropogon gayanus</i>)	Baru (<i>Dipteryx alata</i>)	4.2537
$x_{4,4,3} = 1$	Milho (<i>Zea mays</i>)	Brachiaria (<i>B. ruzizensis, B. dictyoneura</i>)	Mutamba (<i>Guazuma ulmifolia</i>)	4.8172
fmax				18.189

Local = Sítio

m=4, n=10, l=3

fmax = 18.189

$x_{1,5,1} = 1, x_{2,2,2} = 1, x_{3,7,1} = 1, x_{4,4,3} = 1$

O SAF (4,10,3) apresentou o baru como a espécie arbórea ideal para dividir o espaço com a palmeira Juçara. O baru também foi indicado para arranjos com as hortaliças. Essa espécie é nativa do Cerrado, tem um bom valor de mercado para seu fruto e é muito utilizada como quebra vento, por ter um porte médio, sendo plantada em linhas (DOURADO, 2016). No SAF é necessário otimizar o emprego das espécies escolhidas. Geralmente, são adotadas para compor os sistemas espécies que têm múltiplos usos, como nesse caso do baru.

Quando verificamos os pesos por arranjos, vemos certa conformidade, pois os pesos estão dentro da média da faixa do valor 4. O que é interessante, já que não foram informadas preferências de espécies para o modelo por região e sim, atributos relacionados ao ambiente e espécies, ou seja, ambientalmente o modelo respondeu muito bem. No Sítio Gerânium há um conjunto pequeno de espécies usadas no SAF, sendo o agricultor tradicional no cultivo e manejo de agrofloresta, usando técnicas que definem espécies chave, do ponto de vista ambiental. Também o modelo indicou arranjos possíveis para esse ambiente com pesos dentro da média.

A agrofloresta desenvolvida no Sítio Gerânium faz parte de um número de locais que utilizaram os conhecimentos, ensinamentos e orientações de Ernst Götsch. Os solos possuem média a alta fertilidade, com áreas de baixa regeneração e predominância de forrageiras exóticas como a braquiária e colonião, estando a área de APP, de mata ciliar, dentro do bioma Cerrado (MICCOLIS et al., 2016b). A indicação de uso das espécies a serem modeladas decorreu de trabalho analisando a presença de insetos em SAFs com esses arranjos. O Sítio Gerânium possui várias área de SAF, com o objetivo principal de produção para o mercado e secundário de restauração e segurança alimentar.

O modelo utilizou as 10 espécies forrageiras indicadas pela Embrapa e como resultado trouxe as que já são utilizadas na região. Estas são substituídas por espécies de estratos inferiores nos SAFs com mais idade, para manter o microclima úmido e ajudar a evitar incêndios florestais, muito comuns na região (MICCOLIS et al., 2016b).

3.6.14 Cenário Assentamento Lagoa Grande, Dourados, Mato Grosso do Sul

O estudo no Assentamento Lagoa Grande, em Dourados, Mato Grosso do Sul, analisou oito SAFs diversificados e foram identificadas as arbóreas, se eram nativas ou exóticas e a multiplicidade do uso dessas espécies (SILVA et al., 2014). Os resultados do modelo são apresentados na Tabela 3.15.

Tabela 3.15: Cenário dos arranjos aceitáveis da Agrofloresta localizada no Assentamento Lagoa Grande, Dourados, MS.

arranjos	Agrícola	Forrageira	Arbórea	Pesos para fmax
$x_{1,1,1} = 1$	Araticum-do-campo (<i>Annona coriacea</i>)	Crotalária juncea (<i>Crotalaria juncea</i>)	Acácia (<i>Acacia mangium</i>)	3.9609
$x_{2,2,2} = 1$	Laranja (<i>Citrus sp.</i>)	Guandu (<i>Cajanus cajan</i>)	Angico-branco (<i>Psrepiptedenie rigida</i>)	4.7551
$x_{3,14,3} = 1$	Acerola (<i>Malpighia punicifolia</i>)	Capim-gordura (<i>Melinis minutiflora</i>)	Gliricidia (<i>Gliricidia sepium</i>)	4.56
$x_{4,13,4} = 1$	Abacaxi (<i>Ananas comosus</i>)	Capim-Jaraguá (<i>Hypparrhenia rufa</i>)	Moringa (<i>Moringa oleifera</i>)	4.6891
$x_{5,5,5} = 1$	Quiabo (<i>Abelmoschus esculentus</i>)	Feijão-bravo (<i>Capparis flexuosa</i>)	Eucalipto (<i>Eucalyptus spp.</i>)	4.0161
$x_{6,6,6} = 1$	Abóbora (<i>Cucurbita moschata</i>)	Brachiaria (<i>B. decumbens</i>)	Jatobá (<i>Hymenaea courbaril</i>)	4.602
$x_{7,7,7} = 1$	Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	Brachiaria (<i>B. brizantha</i>)	nim indiano (<i>Azadirachia indica</i>)	4.6829
$x_{8,8,8} = 1$	Mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)	Brachiaria (<i>B. humidicola</i>)	Jenipapo (<i>Genipa americana</i>)	4.5434
$x_{9,9,9} = 1$	Banana (<i>Musa spp.</i>)	Brachiaria (<i>B. ruzizensis, B. dictyoneura</i>)	Ipê-amarelo (<i>Tabebuia serratifolia</i>)	4.7271
$X_{10,10,7} = 1$	Milho (<i>Zea mays</i>)	Colonião (<i>Panicum maximum</i>)	nim indiano (<i>Azadirachia indica</i>)	4.754
$x_{11,12,10} = 1$	Hortaliças folhosas alface (<i>Lactuca sativa</i>)	Colonião (<i>Panicum maximum</i>)	Jurubeba (<i>Solanum paniculatum</i>)	4.114
fmax				49.405

Local = Aslagoagrande

m=11, n=15, l=10

fmax = 49.405

$x_{1,1,1} = 1, x_{2,2,2} = 1, x_{3,14,3} = 1, x_{4,13,4} = 1, x_{5,5,5} = 1, x_{6,6,6} = 1, x_{7,7,7} = 1, x_{8,8,8} = 1, x_{9,9,9} = 1, X_{10,10,7} = 1, x_{11,12,10} = 1$

O SAF analisado neste local foi o de composição (11,15,10) e, seguindo a lógica do modelo, temos 11 opções ótimas de arranjos para as condições do ambiente e do conjunto de espécies trabalhadas pelo produtor.

A combinação entre espécies para um arranjo de maior peso para a função de maximizar foi a $x_{2,2,2} = 1$ com arranjo entre as espécies de Laranja (*Citrus sp.*), Guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) e Angico-branco (*Psrepiptedenie rigida* (Bentham) Brenan). Este cenário também trouxe com maior peso a espécie agrícola/frutífera Laranjeira. Embora não seja nativa do Cerrado ou do Brasil, é uma opção comercialmente importante e tem boa adaptação na região, em função do manejo. Essa cultura é uma ótima opção para compor os SAFs, uma vez que ela pode trazer renda elevada com a venda dos frutos (DOURADO, 2016).

A laranjeira é uma planta de estrato médio e tem boa tolerância ao sombreamento, admitindo até cerca de 45% (MONTEIRO, 2009)), sendo considerada como espécie-chave no SAF e pode ser a principal lavoura para o produtor. Pode ser plantado de 3 em 3 metros e nos espa-

çamentos cultivada a mandioca, mamão, algodão e outras; nas entre linhas as indicações são de milho, quiabo e hortaliças (MICCOLIS et al., 2016b; MONTEIRO, 2009).

Como opção de forrageira na composição ótima, o modelo apresenta como resposta o guandu, uma forrageira muito utilizada nas agroflorestas. É uma planta de crescimento rápido, muito utilizada para o sombreamento inicial de algumas espécies sensíveis a radiação direta, ou em locais propensos a geada. O guandu pode também ser uma opção para feno. Neste uso constatou-se boa alternativa alimentar para ovinos na região semiárida associada à palma (WANDERLEY et al., 2012).

Em muitos locais o uso do guandu está mais associado à adubação verde, pois aumenta a relação C/N e em sistemas de plantio direto permite cobertura do solo por maior tempo. A colheita da fitomassa pode ocorrer tanto com os grãos verdes ou secos, para alimentação humana ou animal. Outro uso muito interessante é na composição de pastagens no Cerrado, essa espécie de forrageira é muito indicada na associação com gramíneas (WUTKE et al., 2007).

A indicação da arbórea foi Angico-branco (*Psrepiptedenie rigida* (Bentham) Brenan), com porte de 4 a 20 metros de altura e de ocorrência natural em Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina (CARVALHO, 2002). Sendo assim, podemos supor que está dentro do cenário de ocorrência natural no bioma Cerrado.

Uso muito adequado para essa espécie arbórea em SAFs é o sombreamento de pastagens, pois apresenta copa ampla. Por estar em lista das espécies ameaçadas de extinção, a indicação pelo modelo de análise ambiental coloca o Angico-branco em destaque, dentro do conjunto de espécies analisadas. Em termos de utilização, cita-se a construção rural ou civil, carpintaria em geral e também postes e peças torneadas. Para uso energético é considerada madeira de alta qualidade (CARVALHO, 2002).

Sendo assim, o arranjo ótimo, de maior peso, indicado para este cenário é muito interessante pelas suas contribuições tanto ambientais, como também no aspecto econômico para o agricultor, e o Angico-branco poderia entrar com mais frequência nos SAFs. Não esquecendo que outros arranjos indicados pelo modelo também possuem peso elevado para o cenário em Dourados, Mato Grosso do Sul.

3.7 CONCLUSÕES

Trazer modelos matemáticos para representar sistemas dinâmicos e vivos, que interagem de inúmeras maneiras, tanto com efeitos positivos quanto negativos, com o meio ambiente, é desafiador e deve ser feito aos poucos, seguindo princípios lógicos, ambientais e culturais.

O modelo matemático de Programação Inteira Binária (PIB) apresentado nesta tese, desenhado de maneira simples e utilizando apenas algumas informações ambientais, já foi capaz de indicar arranjos viáveis para SAFs e qualificá-los, uns melhores que outros, seguindo as restrições estabelecidas, mostrando a robustez que um modelo PIB pode ter para as decisões de escolha de espécies e arranjos, nos cenários estudados e no bioma Cerrado. Porém, em alguns cenários foi possível detectar onde poderiam ser aplicadas melhorias, para que o modelo faça melhores escolhas de arranjos possíveis e viáveis ambientalmente.

Ficou claro que existem muito mais interações entre as espécies agrícolas e arbóreas nos SAFs para serem analisadas e entendidas na sua relação com o meio ambiente. Entretanto, os sistemas agrícolas integrados, consolidados e com as práticas já bem definidas, podem ser um bom caminho para o desenvolvimento de diferentes sistemas agrícolas em diferentes localidades.

O estudo contribuiu com caminho viável de análise ambiental das interações entre espécies em arranjos nos SAFs, além de apontar para novos estudos com modelos mais complexos e que utilizem mais variáveis e restrições de formação. Esperamos que esta pesquisa seja só o início do desenvolvimento de modelos matemáticos determinísticos capazes de traduzir e identificar interações favoráveis ambientalmente, sugerindo-se que o próximo passo seja a inclusão de dados sobre tipos de solos e topografia em vários cenários.

Uma ideia final para este mesmo modelo seria preparar tabela de dados com todas as culturas viáveis para o bioma Cerrado, incluindo as arbóreas nativas e as exóticas indicadas pela literatura; as forrageiras, tanto gramíneas como espécies para adubação verde, cobertura do solo e silagem, e aplicar as mesmas restrições, porém maximizando a função para o bioma como um todo. Será que os arranjos indicados pelo modelo teriam como resposta as melhores espécies para serem consorciadas ambientalmente em SAFs no bioma Cerrado? Possivelmente, como a resposta do modelo para os SAF já implementados foi interessante e coincidente nos cenários com SAFs melhor planejados e de sucesso, acreditamos que a resposta seria ampla e positiva.

4 CAPÍTULO III

USO DE MODELO MATEMÁTICO DE PROGRAMAÇÃO INTEIRA BINÁRIA PARA OBTER O MENOR CUSTO DE UM ARRANJO AGROFLORESTAL MULTIESTRATO SUCESSIONAL PARA AGRICULTOR FAMILIAR NO CERRADO

4.1 RESUMO

A busca por arranjos ótimos de espécies agrícolas distintas, dentro da proposta de princípios para formação de Sistema Agroflorestal com diferentes estratos, é um desafio para os agricultores familiares que visam agricultura sustentável. Alinhar esse desafio, com o menor custo inicial, dentro do entendimento da sucessão natural das espécies, foi a base para a modelagem matemática desenvolvida neste capítulo. Para compor um Sistema Agroflorestal multiestrato sucessional (SAFms), tendo como princípio de formação a abundância de espécies convivendo em um mesmo espaço, que deve ser utilizado ao máximo, independente se todas as espécies serão viáveis ao longo do tempo, foram tabeladas espécies comumente utilizadas em propriedades rurais no bioma Cerrado. Sendo assim, o objetivo foi modelar matematicamente um SAFms e, mantendo os princípios de formação, desenvolver modelo de programação inteira binária (PIB) para minimizar os custos iniciais de implementação, relacionados a aquisição de mudas e sementes. O modelo desenvolvido indicou, dentre as 72 espécies tabuladas, quais seriam viáveis e teriam menor custo do SAFms independente do tamanho. Como resultado, o modelo selecionou 29 espécies para o início do sistema produtivo, respeitando alguns dos processos e funções que cada espécie irá assumir com o passar do tempo, conforme argumentos dados para tomada de decisão dentro do modelo matemático PIB.

Palavras-chave: Custo de implantação de SAF. Agricultura de processo. Modelagem matemática PIB..

4.2 ABSTRACT

The search for optimal arrangements, within the proposal of principles for the formation of an Agroforestry System with different strata, is a challenge for family farmers in the search for a sustainable agriculture. To align this, with the lowest initial cost, with the understanding of the natural succession of species, was the basis for the mathematical modeling developed in this chapter. In order to compose a successional multistratum Agroforestry System (SAFms), having as principle of formation the abundance of species living in the same space that must be used to the fullest, regardless of whether all species will be viable over time, species commonly used in rural properties of the Cerrado biome were tabulated. Therefore, the objective was to mathematically model a SAFm and, keeping the SAF formation principles, to develop a binary integer programming model (GDP) in order to minimize the initial implementation costs related to the acquisition of seedlings and seeds. For this, the model indicated which of the 72 species would be viable at a lower cost of implementing a SAFms regardless of the size to be applied. The model was able to designate 29 species for the commencement of the production system, respecting some of the processes and functions that each species will assume over time according to the arguments given for the model's decision making.

Keywords: SAF starting cost. Process agriculture. PIB mathematic modelling..

4.3 INTRODUÇÃO

Sistemas Agroflorestais – SAF são sistemas de uso do solo cujas as espécies lenhosas perenes são manejadas em associação com culturas herbáceas, arbustivas, arbóreas, agrícolas e forrageiras, na mesma parcela e de acordo com a interação desses componentes conforme o passar do tempo (NAIR, 1985).

O Sistema Agroflorestal multiestrato sucessional (SAFms) procura utilizar todos os espaços adensando as espécies arbóreas junto com as culturas anuais, perenes e forrageiras entre estratos. Desta forma, durante o desenvolvimento dos indivíduos vegetais, as interações positivas irão permanecer no sistema agrícola e aquelas plantas que mostrem interações negativas (onde a planta não apresentou bom desenvolvimento) são retiradas ou realizada a sua poda, produzindo material para cobertura do solo. Esse processo contribui na manutenção da umidade e adiciona carbono ao solo (PENEIREIRO, 2002).

Um dos desafios para implementação de um SAFms é a determinação dos arranjos das espécies agrícolas dentro de um sistema produtivo biodiverso. Diante das muitas espécies viáveis, fica difícil determinar quais serão os critérios de decisão de escolha das espécies vegetativas que irão iniciar um sistema produtivo de SAFms. Um fator importante para a escolha das espécies costuma ser a relação custo-benefício entre implementação e rentabilidade.

A entrada de novas espécies no sistema agrícola deve seguir os princípios de formação de sistemas biodiversos para maximização da produção. Essa entrada pode ser gradual e aleatória, conforme princípios explanados no decorrer do capítulo

Neste capítulo, buscou-se determinar um modelo matemático de programação inteira binária (PIB) que, através de restrições matemáticas, criadas a partir dos princípios de formação de SAFms, como a classificação das espécies entre ciclo anual e perene e seu tempo de vida dentro do sistema agrícola, explorasse o máximo de entradas das espécies indicadas ao modelo matemático, com um menor custo inicial possível.

4.4 SISTEMA AGROFLORESTAL MULTIESTRATO SUCESSIONAL - SAFms

Observa-se na literatura o aumento no número de publicações que analisam os SAFs, o que potencializa o aumento na implementação de novos sistemas agrícolas biodiversos. Muitos estudos indicam esses sistemas como aliados à preservação e conservação do meio ambiente, mitigação às mudanças climáticas e impulsionador da segurança alimentar. Além de produção de alimentos, estes sistemas interferem e modificam muito pouco o meio ambiente, sendo, em muitos casos, promotores da recuperação de áreas degradadas (DIAS, 2016). Porém, há a necessidade de investigar se qualquer prática no Sistema Agroflorestal tem mesma resposta favorável ao meio ambiente.

A restauração de ambientes que utilizam a combinação de agricultura com alta variedade de espécies, explorando diferentes estratos e tempo de vida, é preconizada e aplicada largamente pelo agricultor e pesquisador Ernst Götsch, que através de arranjos e estruturas de SAF multiestrato sucessionais (SAFms) definiu e denominou sua técnica de Sistema Sintrópico (GÖTSCH, 1997).

Assim, o SAFms busca mimetizar o curso natural de uma floresta, cujo manejo das diferentes estruturas e espécies visa aumentar a produtividade dentro dos princípios de formação, apresentados na Tabela 4.1, para que a produtividade de espécies agrícolas seja a mais próxima possível de um sistema natural. Esse sistema usa grande variedade de espécies arbóreas exóticas e nativas, com aplicações e propósitos diversos, combinando espécies agrícolas anuais e perenes (frutíferas, forrageiras, etc), dentro do ciclo de vida de cada uma, e respeitando as diferentes alturas que podem atingir, sendo essas interações manejadas pelo agricultor.

Sobre as estruturas de formação que compõem esse sistema, os consórcios são um conjunto de espécies com ciclo de vida semelhante e que fazem parte do mesmo grupo sucessional. Podem ser mais diversificados entre espécies de mesma função como o exemplo do pequi que pode ser substituído por araucárias em regiões mais frias ou o jatobá que traz o papel de floresta emergente, da floresta do futuro conforme Tabela 4.2. Uma outra modalidade de consórcio, pode ser o arranjo entre as espécies, que visa a exploração das diferentes alturas independente do ciclo de vida delas, conforme Tabela 4.3 (PENEIREIRO, 2002).

Os estratos das espécies são os andares que elas compõem no ambiente em meio a competição por espaço. Os estratos podem ser emergentes, alto, médio e baixo (PENEIREIRO, 2002). Esta definição pode variar conforme o grupo de espécies que está compondo o arranjo. Por exemplo, no consórcio 3 da Tabela 4.2 o urucum foi definido como estrato baixo em relação as outras espécies, que o colocam nessa posição.

Tabela 4.1: Princípios para formação de um SAF desenvolvidos por Ernst Götsch em diferentes locais.

Princípios	Descrição dos processos
Princípio 1	Conhecer e replicar os processos naturais, otimizando os processos de vida e gerar acúmulo de material orgânico no solo.
Princípio 2	Sistemas de produção que contemplem as semelhanças em forma e função ecossistêmicas locais
Princípio 3	Ter ciclos de vidas diferentes e estrato diferentes entre as espécies análogo a uma sucessão natural.
Princípio 4	Observar, perceber as relações entre espécies para então realizar um bom plantio e manejo.
Princípio 5	Inserir as espécies dentro da lógica sucessional. Ter o controle do ambiente como fertilidade e profundidade do solo, vegetação dominante, posição do terreno entre face sul ou norte, relevo entre declividades e uso legal podem ter um papel decisório na escolha das espécies.

Fonte: Adaptado de (PENEIREIRO, 2007).

Já a sucessão está relacionada com o tempo de vida de cada espécie (PENEIREIRO,

Tabela 4.2: Exemplo de consórcios de espécies agrícolas possíveis no mesmo arranjo em períodos distintos.

Consórcios	Grupo de espécies
Consórcio 1	milho, feijão trepador, girassol e abóbora
Consórcio 2	abacaxi, mandioca, guandu e mamão
Consórcio 3	urucum, ingá de macaco, pupunha e guapuruvu
Consórcio 4	ipê roxo, cedro, juçara, tangerina, jabuticaba e café

Fonte: Adaptado de (PENEIREIRO, 2002).

Tabela 4.3: Exemplo de arranjo de consórcios conforme os estratos das respectivas espécies.

Consórcios	Grupo de espécies / estratos
Consórcio 1	milho / emergente, girassol / alto, feijão trepador / médio, feijão de moita / baixo e maxixe / rasteiro
Consórcio 2	mamão / emergente, mandioca / médio, abacaxi / baixo
Consórcio 3	guapuruvu / emergente, jerivá / alto, banana prata / médio, urucum / baixo.
Consórcio 4	ipê roxo / emergente, cedro / alto, juçara / alto, tangerina / médio jabuticaba / baixo, café ou marmelada / baixo

Fonte: Adaptado de (PENEIREIRO, 2002).

2007), assim como, o tempo de retorno financeiro ou que a espécie deve permanecer para prestar o serviço ambiental proposto. No modelo, foram utilizado grupos sucessionais de meio ano, de um a três, de três a dez, de dez a vinte, de vinte a cinquenta e por fim com mais de cinquenta anos.

No bioma Cerrado, geralmente, encontramos dois estratos bem distintos, como o estrato lenhoso, constituído por árvores e arbustos, e o estrato herbáceo, que não é formado por espécies tolerantes ao sombreamento (umbrófilas), sendo uma limitante para a presença desse estrato em locais de vegetação mais densa (Ribeiro, J. F., Walter, 1998).

Sabendo do impacto do sombreamento sobre o desenvolvimento de algumas espécies, optou-se por aquelas que, comprovadamente, possuem respostas positivas como o capim marandu e massai, com boa tolerância ao sombreamento e alta capacidade produtiva. Portanto, são ótimas forrageiras para compor um arranjo agroflorestal com diferentes objetivos como alimentação animal ou cobertura do solo. O capim-pensacola também tem boa tolerância ao sombreamento, porém, a produção é menor. A forrageira com melhor adaptabilidade às condições de sombreamento e escassez hídrica é a *Arachis pintoi* (ANDRADE et al., 2004). Para assegurar que são atendidos os princípios de um SAFms, foi elaborada tabela 4.4 de espécies variáveis em função do estrato e tempo de vida, além de espécies nativas do Cerrado.

Um SAFms ideal é aquele que contempla a utilização de espécies com diferentes estratos, ou seja, o máximo do uso vertical com plantas com ciclo de vida distintos para compor a parte horizontal da produção. Segundo Götsch (1997), essa é uma forma inteligente de otimizar a energia do sol e aproveitar a adição de biomassa durante o início de um SAF e um exemplo de formação está na Tabela 4.3. Sendo assim, um modelo que visa entregar um conjunto ótimo de espécies de composição do SAFms e com o menor custo de implementação ao agricultor, respeitando o ambiente que irá compor, deve-se atentar para especificidades das espécies e do ambiente tais como, as estruturas vegetais e exigências de ambiente, e seguir os 3 princípios descritos por Ernst Götsch, indicados na Tabela 4.1.

Segundo Götsch apud Andrade & Pasini (2014) além da implementação, esse sistema depende primordialmente do manejo, como poda, remoção de espécies menos adaptadas, entre

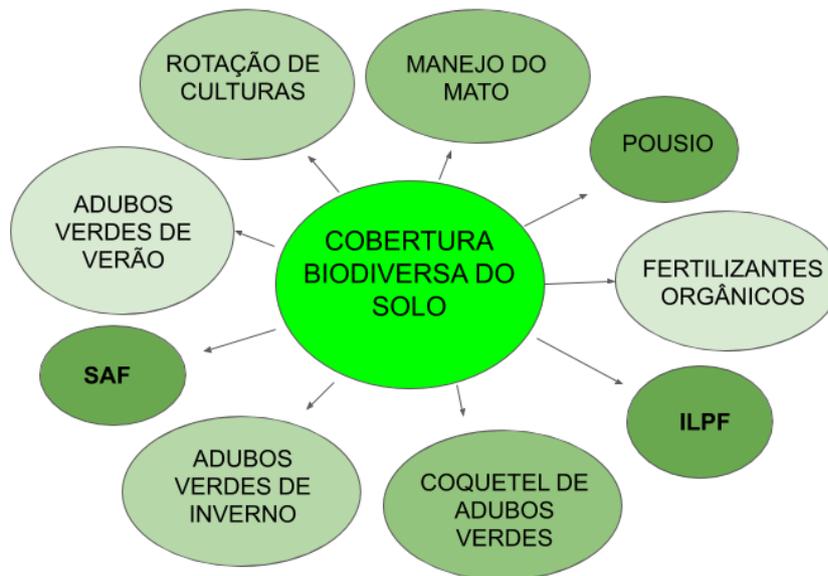


Figura 4.1: Cobertura biodiversa do solo (Fonte: Da autora).

outros. Então, um modelo matemático que segue os princípios e orientações para boa implementação de sistemas complexos seria um avanço e diferencial. Buscar entender as interações entre as espécies e como elas podem compor o SAFms, através do uso de modelo matemático PIB, é o desafio deste capítulo.

O modelo desenvolvido neste capítulo seguiu princípios de formação de um SAFms, onde sua resposta está mais direcionada a minimização dos custos de implementação, através de arranjos de decisões criados pelas restrições. Desta maneira, seguiu-se com o propósito de assegurar uma formação natural das espécies com o desafio de ter uma cobertura biodiversa do solo conforme mostrado na Figura 4.1.

Um dos grandes custos do manejo do solo para a produção agrícola são os insumos, especialmente de fertilizantes para prover os nutrientes essenciais, tanto para o crescimento e desenvolvimento das plantas como para evitar o empobrecimento do solo. Conforme esquema da Figura 4.1, a cobertura do solo, proveniente de diferentes técnicas de sistemas agrícolas, pode ser um diferencial em reduzir esses custos ou até mesmo zerar em casos como o do SAF que, conforme o estágio evolutivo, é capaz de produzir material com valores significativos para o sistema como um todo.

Outro custo relevante na implementação de um SAF é a aquisição de mudas e sementes. Conforme o Plano Nacional de Silvicultura, que orienta o uso de espécies nativas em sistemas agroflorestais, com estimativa de orçamento de projeto de 10 anos, a etapa mais onerosa é a compra de mudas e sementes, seguida do custo de ciência e tecnologia (BAGGIO et al., 2006).

Assim, na formulação do modelo matemático a etapa que considera os custos iniciais de implementação de SAFms é crucial ao pequeno agricultor, que possui limitações financeiras e de espaço. Esse estudo buscou trabalhar com as variáveis de arranjo para minimizar as incertezas do processo, buscando atingir o melhor balanço entre esses fatores, para maximizar a rentabilidade e proporcionar potencial competitivo.

4.4.1 Escolha das Espécies Arbóreas Conforme o Objetivo do SAF

Desse ponto em diante serão analisadas as questões do SAF do ponto de vista da modelagem matemática proposta. Existem inúmeras maneiras de introduzir espécies florestais no sistema agrícola e a mais adequada dependerá do objetivo da implementação e do local que será iniciado o SAF.

O primeiro modelo pode ser de Sistema de Associação de Árvores com Cultivos Agrícolas, muito utilizado em propriedades pequenas que utilizam sistemas de derrubada e queima em suas atividades agrícolas, e as componentes arbóreas são distribuídas de maneira irregular. O plantio agrícola é feito entre as árvores, com o auxílio de plantadeiras manuais e o arranjo espacial das espécies varia conforme a região. Este é o caso do sistema de agrossilvicultura (PEREIRA et al., 2012).

O segundo modelo pode ser de árvores intercaladas, muito similar ao primeiro modelo porém, agora as arbóreas são dispostas de forma regular, em maior número e não aleatórias, com o uso da prática de desbaste e poda. A prática pode ser de caráter temporário ou permanente e os objetivos podem ser proporcionar sombreamento inicial ou permanente de culturas tolerantes à sombra, produção de material para adubação verde ou para cobertura morta, adição de nitrogênio ao sistema, produção de lenha e madeira entre outros (ENGEL, 1999; PEREIRA et al., 2012).

Nesse segundo modelo, são encontrados sistemas com o sombreamento temporário do café, cacau e chá.

Espécies arbóreas pioneiras são indicadas pelo crescimento rápido e ciclo de vida relativamente curto. Uma outra utilidade dessas espécies é a produção de lenha e adubação verde para as espécies sombreadas. No segundo uso, existe a necessidade de podas frequentes com a deposição de seus ramos no solo, o que ajuda na manutenção de umidade ao solo, e ao se degradarem liberam nutrientes para o cultivo sombreado (MICCOLIS et al., 2016a). Esse sistema, também de agrossilvicultura porém mais biodiverso, descreve muito bem um sistema abundante como os de multiestratos sucessionais utilizados no modelo desenvolvido na tese.

Os arranjos das estruturas arbóreas são de várias maneiras possíveis, a depender do objetivo. Se o ambiente necessita de restauração do solo, são indicadas espécies como *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala*, *Leucaena diversifolia* e *Guazuma ulmifolia*, que apresentam fixação de nitrogênio e produção de biomassa elevada, podendo receber podas anuais para uso como cobertura e proteção do solo. Nesse caso, o plantio é feito de forma mais densa, com espaçamentos variando entre 1m x 2m ou 2m x 2m, e uma forma de ter custos menores nesta modalidade seria iniciar o SAF com sementes. Também é possível associar valor madeireiro, com espaçamentos maiores entre espécies e o espaçamento entre linhas é utilizado para as lavouras agrícolas, que trazem renda anual, diminuindo os custos até a fase da retirada da madeira no sistema (MICCOLIS et al., 2016a). Independente do arranjo a ser adotado pelo agricultor, o objetivo de minimizar os custos de implantação para o produtor em seu sistema agrícola é sempre válido e relevante.

Dentre os tipos de SAF apresentados destaca-se o caráter de multi propósito das lenhas perenes geradoras de produtos tangíveis como alimento, madeira, lenha e forragem, como também, de serviços como: sombra, quebra vento e melhoria da fertilidade dos solos. Um outro benefício é o socioeconômico, com a diversificação da renda e da mão de obra.

4.5 MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliar os modelos existentes de SAF em uma visão de multiestrato sucessional, interpretamos os princípios de formação juntos com os diferentes objetivos que podem ter o SAFms usando um modelo matemático de programação inteira binária (PIB). Este modelo visa avaliar as combinações entre espécies (cultura agrícola, forrageira e arbórea) para minimizar os custos iniciais de formação de um SAFms. O pacote utilizado para rodar o modelo foi o GLPK.

Para um grupo de espécies E , passíveis de serem escolhidas para composição de um arranjo SAFms, considerando custo de aquisição único para o bioma Cerrado e sabendo dos tipos e princípios utilizados para formação de um sistema complexo e biodiverso, foi iniciada a construção do modelo com as seguintes informações:

sendo o um conjunto $E = \{i : i \text{ é uma espécie agroflorestal}, i = 1, 2, \dots, n\}$ e considerando os seguintes indicadores: $l = 1, 2$ (cultivo anual e perene), $k = 1, 2, 3, 4$ (tipo de estrato no consórcio a que pertence: emergente, alto, médio, baixo) e $j = 1, 2, \dots, 6$, os grupos sucessionais ou arranjos (pioneiras até meio ano, segundo consórcio a dominar de 1 a 3 anos, terceiro consórcio a dominar de 3 a 10 anos, quarto consórcio a dominar de 10 a 20 anos, quinto consórcio de 20 a 50 anos e o sexto consórcio com mais de 50 anos).

Também seja $E_j^l(k) = \{i \in E : i \text{ é tipo } l \text{ com estrato } k \text{ no consórcio } j\}$, podemos definir as variáveis binárias para cada espécie $i \in E$ através de: $x_i = 1$ se a espécie agroflorestal i é plantada para compor um arranjo agroflorestal, se não $x_i = 0$.

Construiu-se o modelo matemático determinístico através das restrições para culturas anuais e culturas perenes, sendo que as culturas anuais estarão presentes em arranjos de SAFms de diferentes épocas e estágios de sucessão, seguindo as determinações dos princípios de formação e exploração desse sistema produtivo. Da mesma forma, as espécies perenes também estarão presentes de alguma forma nos diferentes períodos e estágios de sucessão de um SAFms. A seguir as restrições foram montadas matematicamente para que isso seja possível.

4.5.1 Restrições (Cultivos anuais)

a)

$$\sum_{i \in E_1^1(1)} x_i \geq 1$$

cultura anual em SAFms de até meio ano deve ter pelo menos uma no arranjo com uma emergente,

b)

$$\sum_{i \in E_1^1(k)} x_i = 1 \quad k = 2, 3, 4$$

cultura anual em SAFms de até meio ano necessariamente terão arranjo com um estrato alto, médio e baixo,

c)

$$\sum_{i \in E_2^1(k)} x_i = 1 \quad k = 1, 4$$

cultura anual em SAFms de 1 a 3 anos necessariamente terão no arranjo uma emergente e uma baixa,

d)

$$\sum_{i \in E_2^1(3)} x_i \geq 1$$

cultura anual em SAFms de 1 a 3 anos devem ter pelo menos um arranjo com estrato médio,

e)

$$\sum_{i \in E_3^1(k)} x_i = 1 \quad k = 1, 2, 3$$

cultura anual em SAFms de 3 a 10 anos, necessariamente, terão no arranjo estrato emergente, alto e médio,

f)

$$\sum_{i \in E_4^1(4)} x_i = 1 \quad k = 1, 2, 3$$

cultura anual em SAFms de 10 a 20 anos, necessariamente, terão um estrato emergente, alto e médio,

g)

$$\sum_{i \in E_4^1(4)} x_i \geq 1$$

cultura anual em SAFms de 10 a 20 anos devem ter pelo menos um estrato baixo,

h)

$$\sum_{i \in E_5^1(3)} x_i = 1$$

cultura anual em SAFms de 20 a 50 anos, necessariamente, terão um arranjo com estrato médio,

i)

$$\sum_{i \in E_5^1(k)} x_i \geq 1 \quad k = 1, 2$$

cultura anual em SAFms de 20 a 50 anos devem ter pelo menos um arranjo com estrato emergente e estrato alto.

4.5.2 Restrições (Cultivos perenes)

a)

$$\sum_{i \in E_1^2(k)} x_i \geq 1 \quad k = 1, 2, 4$$

cultura perene em SAFms de meio ano devem ter pelo menos um arranjo com emergente, alto e baixo,

b)

$$\sum_{i \in E_2^2(2)} x_i \geq 1$$

cultura perene em SAFms de 1 a 3 anos devem ter um arranjo com estrato alto,

c)

$$x_i = 1 \quad i \in E_3^2(4)$$

o modelo precisa entregar uma arranjo de cultura perene em SAFms de 3 a 10 anos com estrato baixo,

d)

$$x_i = 1 \quad i \in E_3^2(1)$$

o modelo precisa entregar um arranjo de cultura perene em SAFms de 3 a 10 anos com estrato emergente,

e)

$$\sum_{i \in E_4^2(k)} x_i \geq 1 \quad k = 3, 4$$

cultura perene em SAFms de 10 a 20 anos com pelo menos um arranjo com estrato médio e baixo,

f)

$$\sum_{i \in E_5^2(k)} x_i \geq 1 \quad k = 2, 3, 4$$

cultura perene em SAFms de 20 a 50 anos com pelo menos um arranjo com estrato alto, médio, e baixo,

g)

$$x_i = 1 \quad i \in E_5^2(1)$$

o modelo precisa entregar um arranjo de cultura perene em SAFms de 20 a 50 anos com estrato emergente,

h)

$$\sum_{i \in E_6^2(4)} x_i \geq 1$$

Cultura perene em SAFms de mais de 50 anos devem ter pelo menos um arranjo com estrato baixo,

i)

$$x_i = 1 \quad i \in E_6^2(3)$$

o modelo precisa entregar um arranjo de cultura perene em SAFms de mais de 50 anos com estrato médio,

j)

$$x_i = 1 \quad i \in E_6^2(2)$$

o modelo precisa entregar um arranjo de cultura perene em SAFms de mais de 50 anos com estrato alto,

k)

$$x_i = 1 \quad i \in E_6^2(1)$$

o modelo precisa entregar um arranjo de cultura perene em SAFms de mais de 50 anos com estrato emergente.

Essas restrições seguem a classificação de grupos sucessionais com as diferentes alturas em diferentes idades que, seguindo o ciclo de vida das espécies conforme seus estratos, estarão dentro de um consórcio viável.

Em se tratando de sistemas naturais, essa classificação é mutável conforme o desenvolvimento das espécies e os objetivos do agricultor, como também, no desenvolver da própria ciência, que poderá trazer cada vez mais informações sobre as espécies e suas interações (PENEIREIRO; BRILHANTE, 2002).

Conforme o objetivo de indicar espécies que contemplem essas etapas na implantação, com menor custo, para que nos anos subsequentes se tenha um SAFms com diferentes estratos, agrupamos algumas espécies agrícolas, frutíferas e forrageiras da Tabela 4.4 indicando seu comportamento inicial de crescimento e desenvolvimento, com uma estimativa do futuro desse arranjo.

4.5.3 Função Objetivo

Após a definição do modelo, a função objetivo vem para direcionar as escolhas, que neste caso, foi para obter o mínimo custo de implementação, quando existe uma decisão de: quais sementes e mudas das espécies E comprar para compor um SAFms que segue todos os parâmetros descritos nas restrições, e, assim, indicar as espécies mais viáveis para o arranjo inicial do modelo conforme função:

seja p_i o preço em R\$ de aquisição no mercado da espécie i (sementes ou mudas). Procura-se então:

$$\text{Minimizar } \sum_{l=1}^2 \sum_{j=1}^6 \sum_{k=1}^4 \sum_{i \in E_j^l(k)} p_i x_i. \quad (4.1)$$

4.5.4 Dados

Para que o modelo possa identificar a que grupo pertence cada espécie, foram feitos conjuntos de agrupamentos para anual e perene, em função dos estratos e ciclo de vida. Observe que essa indicação é uma abordagem livre, que segue o princípio de um sistema de produção múltiplo e complexo desde o seu início, ou seja, as espécies de ciclo de vida mais longo estarão presentes desde o início do SAF bem como as de ciclo curto, e vão permanecer no sistema conforme decisão do agricultor, que acompanhará o desenvolvimento do sistema agrícola como um todo (PENEIREIRO, 2002).

Tabela 4.4: Conjunto de espécies indicadas para formar um SAFms no bioma Cerrado.

$^a i$	$^b E$	$^c p_i$ (R\$). uni.	$^a i$	$^b E$	$^c p_i$ (R\$). uni.
1	Milho	39,79	37	Manga	22,93
2	Sorgo	39	38	Tangerina	34,39
3	Arroz	25	39	Jaboticaba	17,22
4	Feijão de Corda	22	40	Ciriguela	24,90
5	Caupi	23	41	Angico	11,46
6	Jiló	16,50	42	Caju	29,76
7	Mucuna	35	43	Carnaúba	30
8	Gergelim	22,80	44	Embaúba	19,36
9	Berinjela	34,21	45	Muda Baru	49,80
10	Tomate cereja	39,88	46	Muda Angelim do cerrado	22
11	Feijão trepador	24,97	47	Muda Barbatimão	23,81
12	Abóbora	48,44	48	Muda Jacarandá do Cerrado	22,93
13	Abacaxi	15,80	49	Muda Jatobá do Cerrado	26,60
14	Abóbora de rama	28,44	50	Muda Mangaba	22,93
15	Pepino	65,46	51	Muda Mutamba	17,90
16	Coentro	15	52	Muda Tamboril	14,86
17	Amendoim	40	53	Eucalipto	18,85
18	Mamão	16,90	54	Taioba	29,90
19	Goiaba	21	55	Carvoeiro	35,90
20	Mandioca	28,14	56	Cajá	26,68
21	Guandu	20	57	Abacate	34,23
22	Banana nanica	19,58	58	Aroeira	17,22
23	Cana de açúcar	30	59	Jatobá	28,90
24	Inhame	26,88	60	Muda Grumixama	17,89
25	Gengibre	27,49	61	Muda de Pequi	28,50
26	Ingá	16,90	62	Castanha	17,90
27	Banana prata	15	63	Pêra-do-campo	17,22
28	Urucum	10,70	64	Cedro	32,86
29	Pitanga	10,62	65	Carvalho Roble	17,90
30	Açafrão	15,90	66	Baunilha	60
31	Café	29	67	Cacau	26,99
32	Mutamba	19,32	68	Ipê	23,75
33	Cajá mirim	35	69	Pau rei	17,23
34	Pimenta	22,50	70	Copaíba	22,93
35	Laranja	34,39	71	Sapoti	28,09
36	Acerola	10,62	72	Muda Jequitibá	22,93

$^a i$ Índice de referência para E na modelagem. $^b E$ Espécies Agroflorestais sugeridas ao bioma Cerrado.

$^c p_i$ (R\$) são valores para unidades (uni) de sementes conforme embalagem de cada espécie ou muda encontrada no varejo no ano de 2021. Fonte: Produzido pelos autores conforme literatura.

Algumas espécies podem assumir diferentes objetivos, como uma perene pode ter um ciclo curto por decisão do agricultor, como também, uma anual poderá estar presente em todos os anos até que haja muito sombreamento, e ou, o agricultor não veja mais a necessidade de cultivá-la. Sendo assim, para o modelo desenvolvido, o agrupamento terá algumas espécies indicadas em um grupo e as mesmas poderão assumir a posição de outros grupos. Por exemplo:

para as anuais não indicamos grupos para emergente de 1 a 3 anos, estrato médio para 20 a 50 anos, estrato alto e emergente para 20 a 50 anos e nem estrato alto e emergente para 10 a 20 anos pois, as espécies que são indicadas de 3 a 10 anos tanto do estrato médio e alto, estando no arranjo por mais tempo, assumem essa função, assim como, as de 10 e 20 anos de estrato baixo e médio. Logo, se pretende indicar o mínimo de espécies possíveis no início para que o custo seja reduzido e conforme o agricultor obtenha retorno financeiro, poderá agregar outras espécies.

4.5.5 Conjunto de Formação dos Arranjos

$$E_j^l(k) = i$$

Conjuntos:

$E_1^1(4) = \{2, 3, 4, 5, 6, 7, 12, 14, 16, 17, 34\}$ Arranjo anual de meio ano com um estrato baixo podemos ter milho, sorgo ou arroz;

$E_1^1(3) = \{1, 8, 21, 24, 54\}$ Arranjo anual de meio ano com um estrato médio podemos ter feijão de corda, caupi, jiló, mucuna ou gergelim;

$E_1^1(2) = \{9, 10, 11, 15\}$ Arranjo anual de meio ano com estrato alto podemos ter berinjela, tomate cereja ou feijão trepador;

$E_1^1(1) = \{18, 28\}$ Arranjo anual de meio ano com estrato emergente podemos ter abóbora, abacaxi, abóbora de rama, pepino, coentro, amendoim ou mamão;

$E_2^1(4) = \{13, 25, 30\}$ Arranjo anual de 1 a 3 anos com estrato baixo podemos ter goiaba ou mandioca;

$E_2^1(3) = \{20\}$ Arranjo anual de 1 a 3 anos com estrato médio podemos ter guandu ou banana nanica;

$E_2^1(2) = \{22, 23\}$ Arranjo anual de 1 a 3 anos com estrato emergente podemos ter cana de açúcar ou inhame;

$E_3^1(3) = \{26, 66\}$ Arranjo anual de 3 a 10 anos com estrato médio podemos ter gengibre ou ingá;

$E_3^1(2) = \{19, 27, 38\}$ Arranjo anual de 3 a 10 anos com estrato alto podemos ter banana prata ou urucum;

$E_3^1(1) = \{29, 35, 37\}$ Arranjo anual de 3 a 10 anos com estrato emergente podemos ter pitanga ou açafraão;

$E_4^1(4) = \{31\}$ Arranjo anual de 10 a 20 anos com estrato baixo podemos ter café ou mutamba;

$E_4^1(3) = \{33, 36, 67\}$ Arranjo anual de 10 a 20 anos com estrato médio podemos ter cajá mirim;

$E_4^1(2) = \{32, 56, 39\}$ Arranjo anual de 10 a 20 anos com estrato alto podemos ter pimenta;

$E_1^2(4) = \{40, 41\}$ Arranjo perene de meio ano com estrato baixo podemos ter ciriguela ou angico;

$E_1^2(2) = \{42, 43\}$ Arranjo perene de meio ano com estrato alto podemos ter caju ou carnaúba;

$E_1^2(1) = \{44, 45\}$ Arranjo perene de meio ano com estrato emergente podemos ter Embaúba ou muda de baru;

$E_2^2(2) = \{46, 47\}$ Arranjo perene de 1 a 3 anos com estrato alto podemos ter muda de angelim do cerrado ou muda de barbatimão;

$E_3^2(3) = \{48\}$ Arranjo perene de 3 a 10 anos com estrato baixo podemos ter a muda de jacarandá do cerrado;

$E_3^2(1) = \{49, 53\}$ Arranjo perene de 3 a 10 anos com estrato emergente podemos ter a muda de jatobá do cerrado;

$E_4^2(4) = \{55, 58\}$ Arranjo perene de 10 a 20 anos com estrato baixo podemos ter muda de mangaba, muda de mutamba ou muda de tamboril;

$E_4^2(3) = \{50, 51, 52\}$ Arranjo perene de 10 a 20 anos com estrato médio podemos ter eucalipto, taioba ou carvoeiro;

$E_5^2(4) = \{56, 59\}$ Arranjo perene de 20 a 50 anos com estrato baixo podemos ter cajá mirim, abacate, aroeira ou jatobá;

$E_5^2(3) = \{60, 62\}$ Arranjo perene de 20 a 50 anos com estrato médio podemos ter muda de grumixama, muda de pequi ou castanha;

$E_5^2(2) = \{63, 64\}$ Arranjo perene de 20 a 50 anos com estrato alto podemos ter pera do campo ou cedro;

$E_5^2(1) = \{61, 65\}$ Arranjo perene de 20 a 50 anos com estrato emergente podemos ter roble;

$E_6^2(3) = \{69\}$ Arranjo perene de mais de 50 anos com estrato médio podemos ter pau rei;

$E_6^2(2) = \{70, 68\}$ Arranjo perene de mais de 50 anos com estrato alto podemos ter copaíba;

$E_6^2(1) = \{71, 72\}$ Arranjo perene de mais de 50 anos com estrato emergente podemos ter sapoti ou muda de jequitibá.

Esses conjuntos ajudam na decisão do modelo, pois indica a que grupo cada espécie pode pertencer, independentemente do tempo que tem o SAFms.

4.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo proposto de minimização dos custos iniciais de formação de um SAFms, trouxe como solução ótima de minimização:

$$x_i = 1, \text{ } fmin = 579.98,$$

cujo valor total seria para formação desse SAFms com uma unidade de cada espécie da Tabela 4.4.

As espécies indicadas pelo modelo foram: $i \in \{11, 13, 16, 20, 21, 26, 27, 28, 29, 31, 36, 41, 42, 44, 46, 49, 52, 53, 56, 58, 60, 61, 63, 65, 68, 69, 70, 71, 72\}$. Ou seja, feijão trepador, abacaxi, coentro, mandioca, guandu, ingá, banana prata, urucum, pitanga, café, acerola, angico, caju, embaúba, muda de angelim do cerrado, muda jatobá do cerrado, muda tamboril, eucalipto, cajá mirim, aroeira, muda grumixama, muda de pequi, pêra do campo, carvalho roble, ipê, copaíba, sapoti e muda de jequitibá.

Todas essas espécies podem ser plantadas de uma só vez, porém, segundo [Zanine & Santos \(2004\)](#) deve-se evitar interações negativas. Por exemplo, estruturas arbóreas como o eucalipto em grande quantidade podem dificultar o crescimento de outras espécies, por competição hídrica e solar, devido ao seu crescimento ser mais rápido do que outras, como o angelim do cerrado.

Há várias possibilidades de arranjo para as espécies selecionadas pelo modelo, dependendo do objetivo do agricultor. O conjunto de formação para os arranjos pode ter, como exemplo, o coentro, que irá compor o estrato baixo a cada período de meio ano, enquanto outras espécies vão dominando seus andares nos estratos médio e alto, como o guandu e feijão trepador, respectivamente. Dependendo da escolha do agricultor, essas espécies podem ser tanto o berço de cultivo para as espécies lenhosas ([ANDRADE; PASINI, 2014](#)), quanto podem ser usadas para serviços de restauração e produção de alimento animal e humano, ao mesmo tempo. Um bom exemplo é o guandu, que além de produzir grãos tem seu consumo tanto verde quanto maduro, e é uma excelente fonte de proteína para a alimentação humana. Além de compor a alimentação de animais, sua biomassa pode ser utilizada como adubo verde, cobrindo, descompactando e aportando nutrientes ao solo ([MICCOLIS et al., 2016a](#)).

Seguindo as indicações para as espécies anuais, considerando que algumas plantas nessa categoria podem ter papel anual mas o ciclo de vida é mais longo, caso o agricultor queira produzir nas entre linhas, quando as arbóreas estiverem em patamares de estrato alto, fazendo sentido para o desenvolvimento do SAFms, o modelo indica o urucum e a mandioca. A cultura do urucum, que tem indicação de ciclo de vida e estrato médio, pode ser explorada de 3 a 10 anos e, para sistema produtivo visando tempo maior que 50 anos, pode ser o local do desenvolvimento da arbórea sapoti ([MICCOLIS et al., 2016a](#); [GUIMARÃES; MENDONÇA, 2017](#)). Em termos comerciais, o urucum tem valor considerável de venda da sua semente ([MICCOLIS et al., 2016a](#)).

O conjunto de 29 espécies indicadas pelo modelo poderá compor SAFms com vários objetivos, por exemplo, se for madeireiro, temos o eucalipto, espécie exótica de crescimento rápido e de alta comercialização no Brasil. O estrato do eucalipto pode ser considerado emergente, com boa tolerância a podas que são utilizadas para produção de biomassa ([GUIMARÃES; MENDONÇA, 2017](#)); porém, pode-se indicá-lo como estrato médio, caso o agricultor queira antecipar a receita vendendo como escora. Os sistemas que combinam leguminosas com o eucalipto apresentam boa rentabilidade ao produtor, que terá sua renda principal na madeira até que o solo apresente melhores condições nutricionais, quando leguminosas são inseridas no arranjo ([ALVES et al., 2015](#)).

Já o angico nesse arranjo poderá assumir o estrato emergente (MICCOLIS et al., 2016a) e propiciar vários usos, tais como madeireiro, medicinal, apícola e tanino, sendo uma espécie nativa e, muito importante para a região do Cerrado (POTT; POTT, 2003). O ipê também estará nesta composição como estrato emergente, porém, sua indicação aqui está em sua manutenção de mais de 50 anos (GUIMARÃES; MENDONÇA, 2017). Essa espécie apresenta uma exigência média por fertilidade, não é produtora de biomassa como as espécies arbóreas anteriores, porém tem potencial de renda e mercado (MICCOLIS et al., 2016a).

O carvalho roble (*Quercus robur*) também pode ser uma espécie chave para SAFms com exploração de mais de 50 anos, pois apresenta crescimento baixo e pode viver por muitos anos. No entanto, é uma espécie de origem européia, embora já seja comum nas regiões Centro, Oeste, Sudeste e Sul, com preferência por climas temperados e locais de solos profundos e ácidos (SANTOS, 2021). Muito interessante para o Cerrado, se as condições de clima favorável são encontradas em regiões de maior elevação, pelas características de seus solos (SANTOS et al., 2018a).

A indicação da Embaúba para compor o arranjo se mostra com alto potencial para estar sempre presente nos SAFms pois é uma espécie que apresenta múltiplos usos, tendo a possibilidade de retorno financeiro com o fruto, a madeira, utilização medicinal, artesanal, apícola e ambiental como forrageira e ciliar (POTT; POTT, 2003). Facilmente adaptável aos solos do Cerrado. Facilmente adaptável aos solos do Cerrado, ácidos, com baixos teores de P e elevados de Al, além de certo grau de deficiência hídrica. A Embaúba é rústica, possui relação C/N alta, com folhas mais coriáceas, assim, torna-se uma excelente espécie na composição do SAF, assim como, o eucalipto (GUIMARÃES; MENDONÇA, 2017). A Embaúba pode ser uma espécie que traga sobrevivência para outras espécies em locais como o Cerrado brasileiro, segundo Peneireiro (1999), esta espécie ao ser retirada de um sistema com cacau e banana, ambas acabaram morrendo e a conclusão foi que há uma necessidade de todos os estratos e de diferentes ciclos sucessionais estarem presentes para manter os sistemas produtivos.

O simples fato de manter uma espécie que presta serviço para outras pode ser o ponto chave dos SAFms, conforme conclusão de JOELMA PONTES MAIA (2019), para o estudo do SAF em Filadélfia - TO, cuja análise de investimento do sistema produtivo foi positiva e possível de ser explorado em um período de 10 anos, onde a banana da terra (fruto) foi a espécie com maior retorno financeiro (JOELMA PONTES MAIA, 2019).

As espécies frutíferas tem um período considerado médio, do plantio à colheita, porém, o retorno financeiro após o início da produção pode ser anual e bem significativo. As espécies mais relevantes neste caso são a banana, acerola, pitanga, cajá mirim e o caju, que já possuem mercado bem consolidado, algumas *in Natura* outras na venda da polpa. O cajá, a acerola e a pitanga, por exemplo, são muito utilizadas em SAFs do Cerrado e a venda da polpa pode ser um diferencial. Um exemplo é no SAF de Filadélfia (TO), em que são transformados em polpas para a comercialização o cajá, a goiaba, o maracujá, o cupuaçu, o açaí e a acerola. O cajá com o menor custo em mão de obra entre as polpas e a acerola o de maior custo, sendo o preço de venda dessas duas polpas o mesmo R\$ 10.00 (JOELMA PONTES MAIA, 2019). Neste aspecto, em um próximo modelo, que avalie minimizar custos da implantação, pode-se inserir uma fase em que se avalie a redução dos custos de mão de obra.

As espécies de serviço ambiental também foram indicadas. No caso de recomposição do ambiente temos o ingá, ótimo na fixação de nitrogênio conforme seu desenvolvimento. Considerando a necessidade de aporte de insumos inicial, como adubos, culturas anuais que possam fixar nitrogênio, como o caso de feijão de porco, e cobrir o solo após colheita são muito relevantes para o sistema (ANDRADE; PASINI, 2014).

A abundância de espécies no sistema produtivo tem papel adicional de recompor o am-

biente, além de plantas que trazem retorno financeiro como descrito por [Götsch \(1997\)](#). Caso o objetivo do agricultor seja cultivar feijão e milho, é possível implantar um arranjo com cana, laranjeira e outras espécies, ao mesmo tempo e na mesma área da propriedade; além da presença de bananeiras com capim elefante, mandioca, inhame, pimenta, sapoti, leucena, mulungu, sapucaia, mangueira e pimenta do reino, com as árvores altas em uma etapa posterior do SAF. Isso será possível, pois uma espécie irá contribuir para o futuro da outra, a fim de chegar ao desenvolvimento ótimo.

Sendo assim, a contribuição de uma espécie para outra se dá com o aumento da produção do sistema como um todo. Por exemplo, o milho produz mais plantado junto com feijão, e o abacaxi com a mandioca, neste caso pode-se inserir árvores que seguem a sucessão, tornando assim o milho, feijão, abacaxi e mandioca criadores ótimos das árvores ([GÖTSCH, 1997](#)). Outra técnica na utilização do abacaxi, cultura também indicada pelo modelo, é na transformação de pastagens em SAFs, denominado de Sistema “Casadão”. Este sistema de plantio, consorciado e estratificado, inicia a mudança com a retirada do animal e a interrupção das queimadas no veranico (período seco que ocorre durante na estação chuvosa), introduzindo primeiro as culturas de milho, mandioca, melancia e outras de ciclo bianual, passando para as espécies de ciclo intermediário, como o abacaxi, a banana e o cajuzinho do Cerrado e, na evolução para o ciclo longo, aparecem o cupuaçu, o cacau e o jatobá ([MICCOLIS et al., 2016a](#)).

Quando analisamos o bioma Cerrado e suas limitações hídricas, pelo regime de chuvas espaçadas, podemos perceber que no arranjo indicado pelo modelo temos espécies como o guandu que é adaptado à estiagem e, por essa razão, parte da tradição do sertanejo ([MICCOLIS et al., 2016a](#))

Nota-se que o Cerrado possui aptidão para pastagens, em torno de 60% da área total, porém muitas são subutilizadas ou estão degradadas, ou seja, com a capacidade de lotação (número de animais por área) muito menor que o desejado ([INPE, 2013](#)). Assim, cabe aqui a indicação de transformação e reutilização de alguns locais indicados pelo mesmo estudo, com aspectos de degradação, para a implantação de SAFms com custo reduzido e retorno financeiro, muitas vezes até maior que o da pecuária bovina.

Com os conhecimentos de formação do arranjo e a indicação pelo modelo matemático das espécies que irão compor um SAFms, de maneira menos custosa ao produtor inicialmente, considera-se que o modelo PIB é uma boa ferramenta para auxiliar o processo de tomada de decisão na escolha de espécies para formação de um SAFms, como também, um instrumento didático para compreensão de sistemas complexos de interações múltiplas. No entanto, identificou-se uma limitação do modelo de indicar diversidade de espécies em todos os ciclos de vida e de diferentes estratos pois o limitante preço de aquisição interferiu mais na equação do modelo.

4.7 CONCLUSÕES

O objetivo inicial de indicar espécies que possibilitem menor custo para a formação de um SAFms, cujo os conjuntos das espécies possuem diferentes tipos, propósitos e princípios de formação, através de modelagem matemática PIB foi alcançado. A formação dos conjuntos de espécies foi um ponto chave e o aperfeiçoamento do modelo deve partir, justamente, da melhoria dos conjuntos de espécies.

Foram incluídos no modelo parâmetros como a sucessão, ou seja, o tempo que uma espécie pode ter em relação a outra e como os múltiplos estratos irão ocorrer, conforme o avanço do SAFms no tempo. Porém, o modelo não permite apontar quais espécies vão deixar de existir com o passar do tempo. É deixado a critério do agricultor executar e identificar qual espécie tem o melhor desenvolvimento e deve ficar e qual apresenta dificuldades e deve sair do sistema produtivo.

Esse modelo é um primeiro passo importante para o desenvolvimento de novos modelos matemáticos, mais amplos e robustos para sistemas agrícolas complexos como um SAFms. O desenvolvimento dos conjuntos de restrições é a parte mais complexa do trabalho, sendo o centro desse modelo matemático determinístico, podendo ser aperfeiçoado com apoio de especialistas nesse sistema produtivo e ou remodelado para outros tipos de sistemas.

5 CONCLUSÕES GERAIS

Com o objetivo de desenvolver modelos matemáticos capazes de entregar arranjos possíveis e viáveis, tanto ambientalmente quanto financeiramente, esta tese avançou em patamares do conhecimento ainda não explorados pelos modelos matemáticos determinísticos. Este modelo se mostrou robusto, no entanto, pode ainda ser melhorado e acrescido de novas variáveis e informações.

Cabe salientar que, os modelos de decisão binárias buscam, dentro das restrições, parâmetros que resolvam a função objetivo entregando como: um (1) para possível e zero (0) para as combinações que não atenderam as regras. Logo, a verificação desse tipo de modelo se mostrou muito interessante na medida que são analisados os resultados. Assim, foi considerado uma ótima ferramenta para modelar sistemas complexos, com muitas variáveis distintas.

Dentro do processo de construção do conhecimento, foi escolhido um modelo matemático determinístico, que demonstrou abertamente como os modelos combinatórios e de arranjos de decisão podem ser desenvolvidos para os sistemas dinâmicos como os da agricultura de processos.

Durante todo o desenvolvimento deste trabalho foi evidente, na busca de fontes da literatura, que o uso e emprego de SAF é viável e vantajoso para o agricultor, mas poucos trabalhos são numericamente comprovados. Nesta pesquisa, os resultados apresentam comprovação numérica para algumas afirmações sobre esse sistema produtivo. Também é evidente que mais entregas numéricas são possíveis, trabalhando e desenvolvendo mais os modelos.

O desafio inicialmente proposto foi alcançado e uma nova oportunidade para desenvolvimento do conhecimento e aplicação em Sistemas Agroflorestais foi aberta. O qual foi visto e analisado, matematicamente, em suas interações, tanto internas quanto com o meio. O que demonstra a robustez dos modelos determinísticos, que são capazes de entregar parâmetros até então não analisados numericamente. Também são apresentados, para SAFms no bioma Cerrado, arranjos de implantação para agricultura de processos, com o menor custo possível, dentro dos princípios de otimizar os recursos e não minimizá-los.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRÃO, S. F. *Caracterização e Desenvolvimento de Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze em Diferentes Condições Ambientais De Uma Floresta Ombrófila Mista - Flona De São Francisco De Paula (RS)*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.
- ABREU, S. d. P. M. *Cultivo de maracujá-azedo*. [S.l.: s.n.], 2011. 1–30 p.
- Agência de notícias do Paraná. *Copel lança mapa solar para fomentar geração fotovoltaica*. 2018. Disponível em: <<https://www.aen.pr.gov.br/modules/galeria/detalhe.php?foto=354703&evento=55318>>.
- ALVES, F. V.; LAURA, V. A.; ALMEIDA, R. G. de. *Sistemas agroflorestais: a agropecuária sustentável*. [S.l.: s.n.], 2015. 209 p. ISBN 9788570354204.
- ALVES, M. M.; ALVES, E. U.; BRUNO, R. d. L. A.; SILVA, K. d. R. G. da; SANTOS-MOURA, S. d. S.; BARROZO, L. M.; ARAÚJO, L. R. de. Potencial fisiológico de sementes de *Clitoria fairchildiana* R. A. Howard. - Fabaceae submetidas a diferentes regimes de luz e temperatura. *Ciencia Rural*, v. 42, n. 12, p. 2199–2205, 2012. ISSN 01038478.
- ANDRADE, C. M. S. de; VALENTIM, J. F.; CARNEIRO, J. D. C.; VAZ, F. A. Growth of tropical forage grasses and legumes under shade. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, v. 39, n. 3, p. 263–270, 2004. ISSN 0100204X.
- ANDRADE, P. D. V.; PASINI, F. d. S. Implantação e manejo de agroecossistema segundo os métodos da agricultura sintrópica de Ernst Götsch. *Cuadernos de Agroecologia*, v. 9, n. 4, p. 1–12, 2014. Disponível em: <<http://www.aba-agroecologia.org.br/revistas/index.php/cad/article/view/16653/10502>>.
- BAGGIO, A.; BARBOSA, A. P.; PIRES, B. M.; TROVATTO, C.; MOREIRA, E. A.; JÚNIOR, S. B.; GOMES, G. S.; SILVA, I. C.; NAKAYAMA, K.; SABBAG, S. C.; ENGEL, V. L. Plano Nacional de Silvicultura com Espécies Nativas e Sistemas Agroflorestais – PENSAF. *Ministério do Meio Ambiente, MMA*, p. 38, 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/pnf/_arquivos/pensaf_v1.pdf>.
- BARBOSA, F. R.; SILVA, A. L. da; MENDES, A. M. S.; OLIVEIRA, A. R. de; PARANHOS, B. A. J.; SANTOS, C. A. F.; SILVA, D. J.; BASTOS, D. C.; BATISTA, D. d. C. *A cultura da goiaba*. Brasília, DF: [s.n.], 2010. 180 p. ISSN 1543-0154 (Electronic). ISBN 978-85-7383-492-5.
- BARBOZA, S. B. S. C.; TAVARES, E. D.; MELO, M. B. de. Instruções para o cultivo da acerola. p. 42, 1996.
- BELTRÃO, N. E. d. M.; CARDOSO, G. D.; SOARES, L. S.; Fideles Filho, J. Ordenamento Territorial da Cultura do Gergelim (*Sesamum indicum* L.) para o Estado do Ceará. Ceará, p. 97–102, 1997.
- BELTRÃO, N. E. d. M.; SILVA, L. C.; MELO, F. d. B. Cultivo da mamona (*Ricinus communis*) consorciada com feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) para o Semi-Árido Nordeste, em especial do Piauí. *Embrapa Documentos*, Campina Grande, PB, p. 1–47, 2002.

- BURTET, D. A.; FERNANDES, S. B. V.; UHDE, L. T. Ano Internacional Do Solo: A Percepção Dos Processos Erosivos Pelos Agricultores Do Noroeste Gaúcho. In: *XX Jornada de Pesquisa*. [S.l.: s.n.], 2015.
- CALDEIRA, P. Y. C.; CHAVES, R. B. *Sistemas agroflorestais em espaços protegidos*. São Paulo: CBRN • COORDENADORIA DE BIODIVERSIDADE E RECURSOS NATURAIS, 2011. ISBN 9788586624766.
- CALDWELL, M. M.; RICHARDS, J. H. Hydraulic Lift: Consequences of Water Efflux from the Roots of Plants. p. 151–161, 1997.
- CALGARO, M.; BRAGA, M. B. *A cultura da acerola*. 3. ed. Brasília, DF: [s.n.], 2012. 144 p. ISBN 978-85-7035-130-2.
- CARVALHO, P. Angico-Gurucaia. *Embrapa Florestas. Circular Técnica 58*, p. 14, 2002.
- CARVALHO, P. E. R. Pau-Cigarra (textitSenna multijuga). *Circular Técnica - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*, Colombo, PR, n. 92, p. 11, 2004.
- CARVALHO, P. E. R. Cedro. *Circular Técnica - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*, n. 113, p. 17, 2005.
- CARVALHO, P. E. R. Mutamba: *Guazuma ulmifolia*. *Embrapa Circular Técnica*, p. 13, 2007. ISSN 1517-5278.
- CASEMIRO, E. L. N.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. Efeitos da saturação hídrica, idade e volume radicular no crescimento inicial de quatro espécies florestais. *Scientia Agraria Paranaensis*, v. 5, n. 2, p. p. 13–20, 2006. ISSN 1983-1471.
- CASTELLANI, E. D.; AGUIAR, I. B. de. *Condições preliminares para a germinação de sementes de candiúba (Trema micrantha (L.) Blume.)*. 3–6 p. Tese (Doutorado) — FCAV/UNESP, 2012.
- CERDA, R.; ALLINNE, C.; GARY, C.; TIXIER, P.; HARVEY, C. A.; KROLCZYK, L.; MATHIOT, C.; CL??MENT, E.; AUBERTOT, J. N.; AVELINO, J. Effects of shade, altitude and management on multiple ecosystem services in coffee agroecosystems. *European Journal of Agronomy*, Elsevier B.V., 2016. ISSN 11610301. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2016.09.019>>.
- CLIMATE-DATA.ORG. *Clima: Brasil*. 2021. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil-114/>>.
- CONDE, R.; CARNEIRO, P. Produtividade e valor nutritivo da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em um sistema silvipastoril. p. 1029–1037, 2007.
- CORADIN, L.; SIMINSKI, A.; REIS, A. *Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas pra o futuro*. [S.l.: s.n.], 2011. 934 p. ISBN 9788577381531.
- CORDEIRO, I. M.; SCHWARTZ, G.; BARROS, P. L. EFEITOS DO CLIMA SOBRE O INCREMENTO DIAMÉTRICO DE PARICÁ (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* – Fabaceae) EM PLANTIOS COMERCIAIS. *Pesquisas Agrárias e Ambientais*, Sinop, v. 8, n. 2, p. 246 – 252, 2020. ISSN 2318-7670.

CORRÊA, S. T. R.; LORENÇONI, R.; NETO, D. D.; SCARPARE, F. V.; VIVIAN, R.; RUIZ, E. T. Aplicações e Limitações da Modelagem em Agricultura – Revisão. *Revista de Agricultura*, v.86, n.1., p. 1–13, 2011.

DEGENHARDT, J.; FRANZON, R. C.; COSTA, R. R. da. Cerejeira-do-mato (*Eugenia involucrata*). *Embrapa*, p. 22p, 2007.

DELGADO, A. R. S.; VALE, Í. G. do; PLEVICH, J. O.; MARQUES, M. A.; VENTURA, S. D.; NASCIMENTO, V. T. do; SILVA, W. S. da. *Optimization of Production and Net Revenue in Integrated Crop-Livestock Systems and Agroforestry Systems*. [S.l.]: Eliva Press, 2021. 141 p. ISBN 978-1636481395.

DELGADO, A. R. S.; VENTURA, S. D.; RODRIGUES, P. C. P. Otimização Da Receita Líquida Com Produção Agrícola Por Área Irrigada Limitada. p. 92–108, 2016.

DIAS, C. *Estudos revelam que 30% dos solos do mundo estão degradados*. 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/14343883/estudo-revela-que-30-dos-solos-do-mundo-estao-degradados>>.

DIAS, F. J.; BRANCO, A. F.; CECATO, U.; SANTELLO, G. A.; JOBIM, C. C. Composição química do capim-Mombaça (*Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça) adubado com diferentes fontes de fósforo sob pastejo. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 29, n. 1, 2007. ISSN 1806-2636.

DIAS, L.; JÚNIOR, S. B.; PEREIRA, C. Taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel): uma leguminosa arborea nativa da Amazonia com potencial para recuperacao de areas degradadas.. p. 148–153, 1993. Disponível em: <<http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=ACERVO.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=059896>>.

DOURADO, B. F. *Árvores E Agricultores Familiares Do Cerrado. Uma análise do cultivo de espécies arbóreas em assentamentos de Mambai e de Padre Bernardo (GO)*. 100 p. Tese (Doutorado) — UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 2016. Disponível em: <http://www.repositorio.unb.br/bitstream/10482/21734/1/2016_BarbaraFellowsDourado.pdf>.

DUBOC, E. Cultivo de espécies nativas do Bioma Cerrado. *Comunicado Técnico - Embrapa Cerrados*, v. 110, p. 1–10, 2004.

EMBRAPA. *O Cerrado*. 2012. Disponível em: <[https://www.cpac.embrapa.br/unidade/ocerrado/#:\\$sim\\$:text=Aprecipita{ç}{~{a}}om{é}diaanual](https://www.cpac.embrapa.br/unidade/ocerrado/#:sim:text=Aprecipita{ç}{~{a}}om{é}diaanual)>.

EMBRAPA. *Integração Lavoura Pecuária Floresta - ILPF*. 2020. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-integracao-lavoura-pecuaria-floresta-ilpf/nota-tecnica>>.

Embrapa Amazônia Ocidental. *Acacia mangium*. Manaus: [s.n.], 2003.

Embrapa Informação Tecnológica. *Marco referencial em agroecologia*. Brasília-DF: Embrapa, 2006. 70 p. ISBN 8573833645.

ENGEL, V. L. *Sistemas Agroflorestais: Conceitos e Aplicações 1*. 1999. 15 p.

FELDENS, L. *O homem, a agricultura e a história*. Lajeado: [s.n.], 2018. 171 p. ISBN 9788581672410. Disponível em: <<http://www.univates.br/editora>>.

- FELIPPI, M. *Morfologia e silvicultura de espécies arbóreas da Floresta Estacional Decidual*. 211 p. Tese (Doutorado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, 2010.
- FERNANDES, P. B.; THEODORO, G. d. F.; GURGEL, A. L. C.; COSTA, C. M.; COSTA, A. B. G. da; SANTANA, J. C. S.; SILVA, M. G. P. da; BOMFIM, L. N. Aspectos relacionados ao potencial forrageiro do sorgo: revisão. *Pubvet*, v. 14, p. 1–7, 2020. ISSN 1982-1263.
- FERREIRA, M. d. G. R. Potencialidades de Utilização da Casuarina equisetifolia em Reflorestamentos. *Documentos / Embrapa Rondonia*, p. 13, 2004.
- FIGLIOLI, A.; ZIECH, M.; FLUCK, A.; GERREI, J.; COL, D.; BERNIS, L.; HOFFMANN, F.; COSTA, O. Valor nutritivo de gramíneas do gênero *Cynodon* consorciadas com amendoim forrageiro. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 70, n. 6, p. 1970–1978, 2018. ISSN 0102-0935.
- FRANCISCO JOSÉ NUNES MODESTO. *Crescimento, Produção e Consumo Hídrico do Quiabeiro Submetido à Salinidade em Condições Hidropônicas*. Tese (Doutorado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA, CRUZ DAS ALMAS – BAHIA, 2018.
- FRANKE, I. L.; LUNZ, A. M. P.; AMARAL, E. F. do. Metodologia Para Planejamento, Implantação E Monitoramento De Sistemas Agroflorestais: Um Processo Participativo. *Embrapa, Documento 49*, n. 0104-9046, p. 35, 2000.
- GABRIEL, L. F.; STRECK, N. A.; UHLMANN, L. O.; SILVA, M. R. da; SILVA, S. D. da. Mudança climática e seus efeitos na cultura da mandioca. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 1, p. 90–98, 2014. ISSN 18071929.
- GALVÃO, I. *Estudo de Potencial de Instalação de Usinas Fotovoltaicas no Estado de Goiás Utilizando Estudo de Potencial de Instalação de Usinas Fotovoltaicas no Estado de Goiás Utilizando SIG*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Goiás, 2017.
- GEOINFO/EMBRAPA. *Mapa de Solos do Brasil*. 2011. Disponível em: <http://geoinfo.cnps.embrapa.br/maps/new?layer=geonode:solos_br5m_2011_lat_long_wgs84>.
- GOBATTO, C. R. *Variabilidade e estrutura genética populacional de Solanum mauritianum Scop. (SOLANACEAE)*. 9–15 p. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2017.
- GONDIM, T. M. D. S.; THOMAZINI, M. J.; CAVALCANTE, M. D. J. B.; SOUZA, J. M. L. D. Aspectos da produção de cupuaçu. *Embrapa Documentos*, Rio Branco, AC, v. 67, p. 43, 2001. Disponível em: <<http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/7590>>.
- GÖTSCH, E. *Homem e natureza: cultura na agricultura*. 1997. 12 p. Disponível em: <http://www.unigaia-brasil.org/pdfs/SAFS/Homem_e_Natureza.pdf>.
- GT Brasília Solar. *Programa Brasília Solar*. 2016. 1–27 p. Disponível em: <<http://www.sema.df.gov.br/wp-conteudo/uploads/2017/09/Minuta-Brasília-Solar-20>>.
- GUIMARÃES, L. A. d. O. P.; MENDONÇA, G. C. de. Conceitos e Princípios Práticos da Agrofloresta Sucessional Biodiversa (Agricultura Sintrópica). In: . [S.l.: s.n.], 2017. p. 108–123.
- IBGE. *O Censo entra em Campo. O IBGE e a história dos Recenseamentos Agropecuários*. [S.l.: s.n.], 2014. ISBN 9788524043291.

- IBGE. *Retrata cobertura natural dos biomas do país de 2000 a 2018*. 2020. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/28943-ibge-retrata-cobertura-natural-dos-biomas-do-pais-de-2000-a-2018>>.
- IBGE, I. B. D. G. E. E. Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística - IBGE. p. 1–267, 2006. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/50/agro_2006_agricultura_familiar.pdf>.
- INPE. *Projeto TerraClass Cerrado Mapeamento do Uso e Cobertura Vegetal do Cerrado*. 2013. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/tccerrado/>>.
- Instituto Brasileiro de Florestas - IBF. *Bioma Cerrado*. 2020. Disponível em: <<https://www.ibflorestas.org.br/bioma-cerrado>>.
- IPAM. *Brasil perdeu 10% do território em vegetação nativa entre 1985 e 2019*. 2020. Disponível em: <<https://ipam.org.br/brasil-perdeu-area-de-vegetacao-nativa-equivalente/>>.
- ITPS, F. and. *Status of the World's Soil Resources (SWSR)-Main Report. Chapter 2. The role of soils in ecosystem*. [S.l.], 2015. Chapter 2., 21 p.
- IWATA, B. d. F.; LEITE, L. F.; ARAÚJO, A. S.; NUNES, L. A.; GEHRING, C.; CAMPOS, L. P. Agroforestry systems and its effects on chemical attributes of an Ultisol in the 'Cerrado' of Piauí State, Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 7, p. 730–738, 2012. ISSN 18071929.
- JOELMA PONTES MAIA. *Análise De Viabilidade Econômica De Um Sistema Agroflorestal Localizado No Município De Filadélfia-To*. 11–39 p. Tese (Doutorado), 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11273-020-09706-3>>.
- JÚNIOR, G. B. M.; VILELA, L. Pastagens no Cerrado: Baixa produtividade pelo uso limitado de fertilizantes. *Documentos - EMBRAPA Cerrados (Brazil)*, p. 32, 2002. ISSN 1517-5111.
- JUNIOR, J. F. P.; GOULART, I. C. G. d. R. *Erva 20: Sistema de produção de erva-mate*. Brasília, DF: [s.n.], 2019. v. 1. 152 p. ISBN 9788570358752.
- JÚNIOR, J. R. A.; PEREIRA, O. G.; GARCIA, R.; FILHO, S. d. C. V.; CECON, P. R.; FREITAS, E. V. V. de. Valor Nutritivo do Feno de Capim-tifton 85 (*Cynodon spp.*) em Diferentes Idades de Rebrotas, em Ovinos. *R. Bras. Zootec.*, v. 29, n. 6, p. 2193–2199, 2000.
- JUNIOR, N. K.; ALVES, F. V.; ALMEIDA, R. G. de; OLIVEIRA, C. C. de; PEGORARO, A. M.; ECHEVERRIA, J. Radiação solar incidente em sistemas de integração no cerrado. In: *Sistemas Agroflorestais e Desenvolvimento Sustentável: 10 anos de pesquisa*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 4.
- JUNQUEIRA, L.; MORABITO, R.; YAMASHITA, D. S. Modelos de otimização para problemas de carregamento de contêineres com considerações de estabilidade e de empilhamento. *Pesquisa Operacional*, v. 30, p. 73–98, 2010.
- KER, J. C. Latossolos Do Brasil: Uma Revisão. *Geonomos*, v. 5, n. 1, p. 17–40, 1997. ISSN 0104-4486.

KLUTHCOUSKI, J.; CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; SALTON, J. C.; MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; BALBINO, L. C.; SILVA, V. Porfírio-da; MÜLLER, M. D. *Conceitos e Modalidades da Estratégia de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta*. 2015. 20–33 p.

LANDAU, E. C. *GeoPortal Embrapa Milho e Sorgo: Plataforma para Disponibilização de Bases de Dados de Informações Multidisciplinares Georreferenciadas*. [S.l.], 2015.

LANDAU, E. C.; SILVA, G. A. da. Variação Geográfica da Agricultura Familiar. In: *Variação Geográfica da Agricultura Familiar*. Embrapa mi. [s.n.], 2020. cap. 4. ISBN 978-65-87380-02-5. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1122612>>.

LANDAU, E. C.; SILVA, G. A. da; MOURA, L.; HIRSCH, A.; GUIMARÃES, D. P. *Dinâmica Da Produção Agropecuária E Da Paisagem Natural No Brasil Nas Últimas Décadas*. Brasília, DF: [s.n.], 2020. v. 1. 192 p. ISBN 9786587380025.

LIMA, G. L.; LIBERATO, A. M.; SOUZA, C. J. de. SOLAR RADIATION ANALYSIS IN VILHENA (RO). In: *Congresso técnico científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 5.

LIMA, W. A. A. de; CONCEIÇÃO, L. D. H. C. S. da; FIALHO, J. d. F.; PEREIRA, A. V. Desempenho de Genótipos de Pés-Francos de Seringueira do Bioma Amazônico em Condições Ambientais de Cerrado Desempenho de Genótipos de Pés-Francos de Seringueira do Bioma Amazônico em Condições Ambientais de Cerrado. *Embrapa*, Planaltina, DF, 2020.

LOBATO, C. C.; CASTRO, M. S. A.; VIANA, A. P. d. S.; PIMENTEL, C. R.; TRIBUZY, E. S. Crescimento De Indivíduos De Andiroba (*Carapa Guianensis* Aubl.) Em Diferentes Períodos Sazonais Em Santarém-Pa. In: *cointer - pdvagro 2018*. [S.l.: s.n.], 2018. ISBN 9781119130536.

LOPES, F.; PACIULLO, D.; MOTA, E.; PEREIRA, J.; AZAMBUJA, A.; MOTTA, A.; RODRIGUES, G.; DUQUE, A. Composição química e digestibilidade ruminal in situ da forragem de quatro espécies do gênero *Brachiaria*. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 62, n. 4, p. 883–888, 2010.

LOPES, P. R.; FERRAZ, J. M. G.; THEODORO, V. C. d. A.; LOPES, I. M. Sistema Agroflorestal no Sul de Minas Gerais: Café, Frutíferas e Madeiras. *Revista Brasileira De Agroecologia*, v. 4, n. 2, p. 805–809, 2009. ISSN 1980-9735.

LOPES, R. J. *Pelas folhas e raízes*. 2008. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/pelas-folhas-e-raizes/>>.

LUEDELING, E.; SMETHURST, P. J.; BAUDRON, F.; BAYALA, J.; HUTH, N. I.; Van Noordwijk, M.; ONG, C. K.; MULIA, R.; LUSIANA, B.; MUTHURI, C.; SINCLAIR, F. L. Field-scale modeling of tree–crop interactions: Challenges and development needs. *Agricultural Systems*, v. 142, p. 51–69, 2016. Disponível em: <<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>>.

MACÊDO, C. F. *Construção E Avaliação De Coletor De Baixo Custo Em Palmas - TO*. 1–18 p. Tese (Doutorado), 2015.

MACHADO, P. A. S.; Valadares Filho, S. d. C.; VALADARES, R. F. D.; DETMANN, E.; PAIXÃO, M. L.; PINA, D. d. S. Avaliação nutricional do capim-elefante (*Cameroon*) em diferentes idades de rebrotação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 37, n. 6, p. 1121–1128, 2008.

MAGALHÃES, N. A.; SANTOS, F. G. C. dos; LUZ, E. G. da; NOGUEIRA, M. C. d. J. A.; NOGUEIRA, J. D. S.; SANTOS, F. M. d. M. Análise do potencial da utilização de energia solar em Cuiabá/MT. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 10, n. 3, p. 114–123, 2019. ISSN 2179-6858.

MANZATTO, C. V.; JUNIOR, E. D. F.; PEREZ, J. R. R. *Uso Agrícola dos Solos Brasileiros*. 1a. ed. Rio de Janeiro, RJ: [s.n.], 2002. 174 p. ISBN 8585864109.

MARQUES, M. A.; ANJOS, L. H. C. dos; DELGADO, A. R. S. Land Recovery and Soil Management with Agroforestry Systems. *Span. J. Soil Sci.*, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.3389/sjss.2022.10457>>.

MATOS, P. F.; PESSÔA, V. L. S. A apropriação do cerrado pelo agronegócio e os novos usos do território. *CAMPO-TERRITÓRIO: revista de geografia agrária*, v. 9, n. 17, p. 6–26, 2017. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/campoterritorio/article/download/21597/14376>>.

MELO, B. de. *Núcleo de estudo em fruticultura no cerrado*. 2002. Disponível em: <<http://www.fruticultura.iciag.ufu.br/>>.

MELO, R. R.; CUNHA, M. d. C. L.; JÚNIO, F. R.; STANGERLIN, D. M. Crescimento inicial de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. sob diferentes níveis de luminosidade. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Pernambuco, v. 3, n. 2, p. 138–144, 2008. ISSN 1981-0997.

MENEZES, K. M.; SILVA, D. K.; QUEIROZ, M. A.; FÉLIX, W. P.; YANO-MELO, A. M. Arbuscular mycorrhizal fungal communities in buffelgrass pasture under intercropping and shading systems in Brazilian semiarid conditions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Elsevier B.V., v. 230, p. 55–67, 2016. ISSN 01678809. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.05.024>>.

MENEZES, S. F. M. *Sistemas agroflorestais e fertilidade dos solos: uma análise da microrregião de Ariquemes, Rondônia*. 18–189 p. Tese (Doutorado), 2008.

MICCOLIS, A.; PENEIREIRO, F. M.; MARQUES, H. R.; VIEIRA, D. L. M.; ARCO-VERDE, M. F.; HOFFMANN, M. R.; REHDER, T.; PEREIRA, A. V. B. *Restauração ecológica com Sistemas Agroflorestais*. [S.l.: s.n.], 2016. 266 p. ISBN 9788563288189.

MICCOLIS, A.; PENEIREIRO, F. M.; MARQUES, H. R.; VIEIRA, D. L. M.; ARCO-VERDE, M. F.; HOFFMANN, M. R.; REHDER, T.; PEREIRA, A. V. B. Restauração ecológica com Sistemas Agroflorestais Como Conciliar Conservação com produção opções para Cerrado e Caatinga. *Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal*, p. 266, 2016.

MILANESI, L. d. S. *Estudos sobre a biologia de canela-sassafrás (Ocotea odorifera (Vell.) Rohwer) na Mata Atlântica do Rio Grande do Sul*. 56 p. p. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=000680904&loc=2009&l=dc52162199e9c1f2>>.

MMA. *O Bioma Cerrado*. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomas/cerrado>>.

MODAL. *Atlas Solar da Bahia será lançado no primeiro semestre deste ano*. 2018. Disponível em: <<https://revistamodal.com.br/atlas-solar-da-bahia-sera-lancado-no-primeiro-semester-deste-ano/>>.

MONTEIRO, J. E. B. A. *Agrometeorologia dos Cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola*. Brasília-DF: [s.n.], 2009. 530 p. ISBN 9788562817007.

MORAES, L. F.; MORAES JOSÉ, D. D.; ASSUMPÇÃO, M.; LUCHIARI, C.; PEREIRA, T. S. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro Plantio de espécies arbóreas nativas para a restauração ecológica na Reserva Biológica de Poço das Antas, Rio de Janeiro, Brasil Author (s): Luiz Fernando Duarte de Moraes, José Maria Assumpção. *Rodriguésia*, v. 57, n. 3, p. 477–489, 2006.

MOREIRA, G. D. *Emissão de metano in vitro e in vivo em ovinos alimentados com mucuna-preta (Stizolobium aterrimum)*. 103 p. Tese (Doutorado) — Universidade de Brasília, 2017.

MOREIRA, M. A. B.; FRANÇA, F. C. T.; FERNANDES, M. R.; MELLO, M. S. de; MOREIRA, G. M. S. B.; PEREIRA, A. H. Manual Básico sobre Sistemas Agroflorestais SAF ' s. p. 38, 2010.

MOURA, H. C. d. P. *EFEITO DA TEMPERATURA NO COMPORTAMENTO REPRODUTIVO DO MAMOEIRO (Carica papaya L.)*. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2016.

Mutirão Agroflorestal. *Núcleo Fazenda São Luiz - São Joaquim da Barra (SP)*. 2021. Disponível em: <<http://mutiraoagroflorestal.org.br/nucleo-fazenda-sao-luiz-sao-joaquim-da-barra-sp/>>.

NAIR, P. K. Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, v. 3, n. 2, p. 97–128, 1985. ISSN 01674366.

NETO, J. X. d. A.; ANDRADE, A. P. de; LACERDA, A. V. de; FÉLIX, L. P.; SILVA, D. S. da. Crescimento e bromatologia do feijão-bravo (*Capparis flexuosa* L.) em área de Caatinga no Curimatá paraibano, Brasil. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 42, p. 488–494, 2011.

NEVES, B.; OLIVEIRA, I.; NOGUEIRA, J. Cultivo e utilização do nim indiano. *Embrapa-CNPAP*, Santo Antônio de Goiás, GO, p. 12, 2003.

NOGUEIRA, O. L.; FIGUEIRÊDO, F. J. C.; MÜLLER, A. A. Açaí. *Embrapa Amazônia Oriental*, Belém, PA, p. 137, 2005.

OLIVEIRA, A. R. de; MOREIRA, A. N.; TEIXEIRA, A. H. d. C.; PARANHOS, B. J. Cultivo da Mangueira. *Embrapa Semiárido*, 2010. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Manga/CultivodaMangueira_2ed/doencas.htm>.

OLIVEIRA, A. S. de. Radiação Solar. In: *Fundamentos de Meteorologia e Climatologia*. [S.l.: s.n.], 2015. cap. IV, p. 352.

OLIVEIRA, C. F. de; FRANCO; SILVA, F. d. C. P. da; FILHO, J. C.; NETO, M. B.; FONTINÉLLI, I. S. C.; REBOUÇAS, T. N. H.; JOSÉ, A. R. S. Manejo da Cultura do Urucum (*Bixa orellana* L.). p. 8, 2000.

OLIVEIRA, L. B. de; PIRES, A. J. V.; VIANA, A. E. S.; MATSUMOTO, S. N.; CARVALHO, G. G. P. de; RIBEIRO, L. S. O. Produtividade, composição química e características agronômicas de diferentes forrageiras. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, n. 12, p. 2604–2610, 2010. ISSN 15163598.

OLIVEIRA, R. S.; DAWSON, T. E.; BURGESS, S. S.; NEPSTAD, D. C. Hydraulic redistribution in three Amazonian trees. *Oecologia*, v. 145, n. 3, p. 354–363, 2005. ISSN 00298549.

OLIVEIRA, S. S. de; CAVAZZANA, G. H.; SOUZA, A. de. Estimativa da radiação solar global em função da temperatura do ar e isolinhas para o Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 6, n. 12, p. 93–108, 2019.

OLIVIERA, J.; NUNES, R.; RODRIGUES, L.; ROCHA, A. Efeito de aditivo em silagens de leguminosas forrageiras. *Ciencia Et Praxis*, v. 8, n. 15, p. 53–58, 2015.

PARRON, L. M.; BROWN, G. G. Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica. 2015.

PATERNIANI, E. Agricultura sustentável nos trópicos. In: USP (Ed.). *Estudos Avançados 15*. São Paulo: [s.n.], 2001. v. 15, p. 303–326. ISBN 0103-4014. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/eav/article/view/9817>>.

PELLISSARI, A. L.; GUIMARÃES, P. P.; BEHLING, A.; EBLING, Â. A. Cultivo Da Teca: Características Da Espécie Para Implantação E Condução De Povoamentos Florestais. *AGRARIAN ACADEMY, Centro Científico Conhecer*, Goiânia, v. 1, p. 127, 2014.

PENEIREIRO, F. M. *SISTEMAS AGROFLORESTAIS DIRIGIDOS PELA SUCESSÃO NATURAL: UM ESTUDO DE CASO*. 149 p. Tese (Doutorado) — Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1999.

PENEIREIRO, F. M. *Fundamentos da Agrofloresta Sucessional*. 2002. 8 p.

PENEIREIRO, F. M. *Agroflorestas sucessionais: princípios para implantação e manejo*. 2007. 1–14 p.

PENEIREIRO, F. M.; BRILHANTE, M. d. O. Proposta de classificação em grupos sucessionais para espécies agroflorestais. 2002.

PEREIRA, F. H. F.; SÁ, F. V. S. da; PUIATTI, M.; FINGER, F. L.; CECON, P. R. Crescimento de planta, partição de assimilados e produção de frutos de melão amarelo sombreado por diferentes malhas. *Ciencia Rural*, v. 45, n. 10, p. 1774–1781, 2015. ISSN 16784596.

PEREIRA, H.; GOMES, G. S.; MAZZA, M. C. M.; MUSSIO, C. F.; RUIZ, E. C. Z. Planejamento De Um Sistema Agroflorestal Multiestrata Para Recomposição De Floresta Ciliar No Paraná. p. 1–4, 2012.

PEREIRA, K. T. O.; SANTOS, B. R. V. dos; BENEDITO, C. P.; LOPES, É. G.; AQUINO, G. S. M. Germinação e vigor de sementes de moringa oleifera lam. Em diferentes sustratos e temperaturas. *Revista Caatinga*, v. 28, n. 2, p. 92–99, 2015. ISSN 19832125.

PIASENTIN, F. B.; SAITO, C. H. Os diferentes métodos de cultivo de cacau no sudeste da Bahia, Brasil: aspectos históricos e percepções. *Bol. Mus. Para. Emilio Goeldi. Cienc. Hum*, v. 9, n. 1, p. 61–78, 2014.

- PINTO, E. R. d. A.; ATHAYDE, A. A. R.; MOTA, K. C. d. N.; SANTOS, T. A. dos. Avaliação de características químico bromatológicas de variedades de capim gordura (*Melinis minutiflora* – Poaceae). In: *IV Semana de Ciência e Tecnologia IFMG - Campus Bambuí IV Jornada Científica*. Bambuí: [s.n.], 2011. p. 1–4.
- POTT, A.; POTT, V. J. Plantas nativas potenciais para Sistemas Agroflorestais em Mato Grosso do Sul. *Agroforestry Systems*, n. 67, p. 1–9, 2003.
- PRADO, E. P. do; CASTRO, M. T. de. Diversidade de insetos em áreas de produção orgânica de hortaliças próximas a um sistema agroflorestal no distrito federal. p. 76–85, 2016.
- PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C. Caracterização qualitativa da matéria orgânica de adubos verdes conduzidos sobre Latossolos, na região de São Carlos, SP, Brasil. In: *Congresso brasileiro de Ciência do Solo*. Rio de Janeiro, RJ: [s.n.], 1997. p. 3.
- RADOMSKI, M. I.; BULL, L. T. Caracterização ecológica e fitoquímica de quatro populações naturais de *Maytenus ilicifolia* no Estado do Paraná. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 30, n. 61, p. 01–16, 2010. ISSN 18093647.
- RAMIRES, A. C. S.; LAMEIRA, O. A.; SOUZA, I. N. G.; PORTAL, R. K. V. P.; CAMPELO, M. F. Análise Do Período Fenológico Do Açoita-Cavalo Em Relação À Precipitação Pluviométrica. In: *23º Seminário PIBIC - Embrapa Amazônia Oriental*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 124–127.
- RAMOS, S. R. R.; LIMA, N. R. S.; ANJOS, J. L. dos; CARVALHO, H. W. L. de; OLIVEIRA, I. R. de; SOBRAL, L. F.; CURADO, F. F. Aspectos técnicos do cultivo da abóbora na região Nordeste do Brasil. *Embrapa Documentos*, Aracaju, SE, 2010.
- RAYOL, B. P.; ALVINO-RAYOL, F. d. O. Produção de biomassa e teor de nutrientes do Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) dc.) em reflorestamento no Estado do Pará. *Agroecosistemas*, v. 4, p. 85–90, 2012. ISSN 2311-9977.
- RÊGO, G. M.; POSSAMAI, E. Jacarandá-da-Bahia (*Dalbergia nigra* Velloso) Leguminosae-Papilionoidea: Produção de mudas. *Comunicado técnico-EMBRAPA*, p. 2–4, 2003.
- REIS, V. A. *AVALIAÇÃO DA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS COMO ALTERNATIVA À AGRICULTURA DE DERRUBA E QUEIMA: ESTUDO DE CASO EM MAMBÁI, GOIÁS. VICTÓRIA*. 10–103 p. Tese (Doutorado), 2014.
- REZENDE, G. M. de; DIAS, R. d. C. S.; COSTA, N. D. *Sistema de Produção de Melancia*. 2010. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Melancia/SistemaProducaoMelancia/clima.htm>>.
- RIBEIRO, D. H. *Composição química bromatológica de *Andropogon gayanus* cultivar planaltina predita pelo NIRS e analisada por via úmida*. 55 p. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Uberlândia, 2019.
- Ribeiro, J. F., Walter, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: *Cerrado : ambiente e flora*. [S.l.: s.n.], 1998. p. 556. ISBN 85-7075-008-0.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: *Embrapa Cerrados* (Ed.). Brasília: [s.n.], 2008. cap. 6, p. 151–212. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/cerrados/colecao-entomologica/bioma-cerrado>>.

- RIGHI, C. A.; BERNARDES, M. S.; LUNZ, A. M.; PEREIRA, C. R.; CAMARGO, F. T. de. COMPETIÇÃO POR ÁGUA EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL DE SERINGUEIRA E CAFEEIRO. In: *Embrapa. Acre: [s.n.]*, 2011. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/912446/1/24092.PDF>>.
- RUDORFF, B.; RISSO, J.; AL., E. Análise Geoespacial da Dinâmica das Culturas Anuais no Bioma Cerrado: 2000 a 2014. *Agrosatélite*, p. 8–10, 2015.
- SAGRILO, E.; SERAFIM, E. AVALIAÇÃO BIOMÉTRICA DE PLANTAS DE AÇAÍ (*Euterpe oleracea*) EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL NA PRÉ-AMAZONIA MARANHENSE. *Revista Brasileira De Agroecologia*, v. 4, n. 2, p. 2821–2825, 2009. ISSN 1980-9735.
- SALES, L. L. N.; PINHEIRO, E. M.; LOPES, A. K. C.; SILVA, D. W. S.; SILVA, D. D. S. da. VIABILIDADE DO USO DA ENERGIA SOLAR NO ESTADO DO MARANHÃO. In: *11º Simposio Internacional de Qualidade Ambiental*. [S.l.: s.n.], 2019. ISBN 9781119130536.
- SALOMÃO, G. d. B.; PADOVAN, M. P.; PEREIRA, Z. V.; FERNANDES, S. S. L.; MOITINHO, M. R.; SILVA, S. d. M. da. Uso Múltiplo De Espécies Arbóreas Em Um Sistema Agroflorestal Sob Bases Agroecológicas Em Ponta Porã , Mato. 2012. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/910341/1/Salomaouso.pdf>>.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. Á. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; FILHO, J. C. d. A.; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 5ª edição. ed. Brasília, DF: [s.n.], 2018. 353 p. ISBN 978-85-7035-198-2.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. Á. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. *Sistema brasileiro de classificação de solos 5ª edição revista e ampliada*. [S.l.: s.n.], 2018. 353 p. ISSN 0147-5916. ISBN 85-85864-19-2.
- SANTOS, L. D. S.; PREVIERO, C. A.; CAMPOS, C.; CAMPELO, P. H.; SANTOS, Í. G.; PIMENTA, D. M. Implantação de sistema agroflorestal: uma representação da agrobiodiversidade em Palmas, Tocantins. In: *Anais do VI CLAA, XCBA e V SEMDF*. [S.l.: s.n.], 2018. v. 13, p. 6.
- SANTOS, L. L.; Seabra Junior, S.; NUNES, M. C. M. Luminosidade, temperatura do ar e do solo em ambientes de cultivo protegido. *Revista de Ciências Agro-Ambientais*, v. 8, n. 1, p. 83 – 93, 2010. Disponível em: <http://www.unemat.br/revistas/rcaa/docs/vol8/8_artigo_v8.pdf>.
- SANTOS, M. D. L. D. *Percepção dos Riscos na Gestão da Propriedade Agroflorestal na Região do Alentejo*. 92 p. Tese (Doutorado), 2021.
- SANTOS, M. J. C.; NASCIMENTO, A. V. S.; MAURO, R. A. Germinação do amendoim bravo (*Pterogyne nitens* Tul) para utilização na recuperação de áreas degradadas. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences*, v. 3, n. 1, p. 31–34, 2008. ISSN 1981-0997.
- SANTOS-SEREJO, J. A. dos; DANTAS, J. L. L.; SAMPAIO, C. V.; COELHO, Y. d. S. *Fruticultura Tropical: espécies regionais e exóticas*. Brasília: [s.n.], 2009. 83–105 p. ISBN 9788573834611.

SCHWENDENMANN, L.; VELDKAMP, E.; MOSER, G.; HÖLSCHER, D.; KÖHLER, M.; CLOUGH, Y.; ANAS, I.; DJAJAKIRANA, G.; ERASMI, S.; HERTEL, D.; LEITNER, D.; LEUSCHNER, C.; MICHALZIK, B.; PROPASTIN, P.; TJOA, A.; TSCHARNTKE, T.; STRATE, O. van. Effects of an experimental drought on the functioning of a cacao agroforestry system, Sulawesi, Indonesia. p. 1515–1530, 2010.

SENTELHAS, P. C.; ANGELOCCI, L. R. *Radiação Solar Balanço de Energia: LEB 306 - Meteorologia Agrícola*. Piracicaba: [s.n.], 2012.

SILVA, A. C. C. V. E.; SILVEIRA, H. V. L.; ALVES, M. A.; BIANCO, L. A.; BRAZ, T. G. D. S. Características bromatológicas de silagens de capim-colonião aditivas com torta de coco macaúba. In: *Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia*. Maceió: [s.n.], 2018.

SILVA, A. J. R.; PAKER, A. T. M.; SILVA, A. R. da; HENNING, A.; SOUZA, A. P. de; BALDAN, A.; FERREIRA, A. C. d. B.; COLETTI, A. J.; SILVA, A. F. da; TARDIN, A. B. B.; NASCIMENTO, A. F. do; CASTRO, A. P. de; PERES, A. A. d. C.; DEON, A. *Embrapa Agrossilvipastoril Primeiras contribuições para o desenvolvimento de uma Agropecuária Sustentável*. 1. ed. Brasília, DF: [s.n.], 2019. 825p. p. ISBN 9788570359056. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/agrossilvipastoril/projetos>>.

SILVA, F. C. da; BERGAMASCO, A. F. Levantamento de modelos matemáticos descritos para a cultura da cana-de- açúcar. *Rev. biociênc., Taubaté*, v. 7, p. 7–14, 2001.

SILVA, J. B. C. da; GIORDANO, L. d. B.; FURUMOTO, O.; BOITEUX, L. d. S.; FRANÇA, F. H. *Cultivo de tomate para industrialização*. 2006. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial_2ed/clima.htm>.

SILVA, L. M. d. M.; RODRIGUES, T. d. J. D.; AGUIAR, I. B. de. Efeito da luz da temperatura na germinação de sementes de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão). *Revista Árvore*, v. 26, n. 6, p. 691–697, 2002. ISSN 0100-6762.

SILVA, S. D. M. D.; SOUZA, A. C.; SILVA, L. F. D.; PEREIRA, Z. V.; PADOVAN, M. P. Sistemas agroflorestais diversificados no Cerrado: alternativa para usos múltiplos. *Cadernos de Agroecologia*, v. 7, n. 2, p. 1–6, 2012.

SILVA, S. M.; SOUZA, A. C.; BRITO, M.; PEREIRA, Z. V.; FERNANDES, S. S. L.; PADOVAN, M. P.; MOITINHO, M. R. Sistemas Agroflorestais Diversificados no Cerrado: um estudo de caso no assentamento Lagoa Grande, em Mato Grosso do Sul. In: *Agroecol.* Dourados, MS: [s.n.], 2014. p. 1–12.

SILVEIRA, J. R. S.; TAVARES, C. M. F. D. S.; NASCIMENTO, A. S. D.; PARIZOTTO, I.; LIMA, V. P. D. RELATO DE EXPERIÊNCIA EXITOSA NA CONVIVÊNCIA COM SAÚVAS (*Atta spp.*) EM SISTEMA AGROFLORESTAL NO TERRITÓRIO DO RECÔNCAVO DA BAHIA. *XXII Congresso Brasileiro de Fruticultura*, Bento Golçalves - RS, p. 4171–4175, 2012.

SIMON, J. É.; Lourenço Junior, J. d. B. G.; FERREIRA, G. D. G.; SANTOS, N. d. F. A. dos; NAHUM, B. d. S.; MONTEIRO, E. M. M. Consumo e Digestibilidade de silagem de sorgo (*Sorghum Bicolor* [L.] Moench) Como Alternativa Para Alimentação Suplementar De Ruminantes Na Amazônia Oriental. *Amazônia: Ciência e Desenvolvimento*, v. 4, p. 96, 2009.

- SIQUEIRA, T. N. de. Trabalho de Conclusão de Curso Os Sistemas Silvopastoris no Brasil : uma revisão . Trabalho de Conclusão de Curso Os Sistemas Silvopastoris no Brasil : uma revisão . p. 14, 2017.
- SOUSA, A. K. R. de. *Modelagem matemática aplicada no sistema Mandala: um estudo voltado para a produção sustentável*. 228 p. Tese (Doutorado), 2019.
- SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. *Latossolos*. 2000. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html>.
- SOUSA, I. D. C.; NETO, A. G. F.; CUNHA, A. M.; OLIVEIRA, F. D. S.; SILVA, C. A. C. da; SOUSA, J.; DE, G. Potencial de geração de energia solar do estado do Piauí : Uma avaliação da radiação incidente no período de um ano. In: *Simpósio brasileiro de geografia física aplicada*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 1–10. ISBN 9788572827782.
- SOUZA, L. M. F. I. de; GONÇALVES, E. T. *Guia de Restauração para o Cerrado Mineiro: como recuperar e conservar sua fauna e flora*. Piracicaba, SP, 2019. 60p p.
- SOUZA, P. A. de; SOUZA, H. B. A. de; DURIGSN, J. F.; SANTOS, J. E. dos. Avaliação físico-química e nutricional de grãos de feijão de porco (*Canavalia ensiformis* (L) D. C.). *Alim. Nutr.*, São Paulo, p. 63–73, 1991.
- THIMIJJAN, R.; HEINS, R. Photometric, radiometric, and quantum light units of measure: a review of procedures for interconversion. *HortScience*, v. 18, n. 6, p. 818–822, 1983. ISSN 0018-5345.
- TIBA, C. Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de Dados Terrestres. *Atlas Solarimétrico do Brasil*, v. 1, p. 111, 2000. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes>>.
- TIBA, R. J. d. R. e. C. *Atlas Solarimétrico de Minas Gerais*. Minas Gerais: Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais G943, 2016. II. 236 p. ISBN 978-85-8239-043-6.
- TOBERGTE, D. R.; CURTIS, S. No Title No Title. *Journal of Chemical Information and Modeling*, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2013. ISSN 1098-6596.
- TOMA, R. S.; COOPER, M.; TAVARES, M. F.; De Carvalho, C. C.; TEATO, A. C. Temporal evolution of soil hydro-physical behavior of an agroforestry system on ribeira valley - SP. *Scientia Forestalis*, v. 41, n. 98, p. 237–248, 2013. ISSN 1413-9324.
- TSCHARNTKE, T.; CLOUGH, Y.; BHAGWAT, S. A.; BUCHORI, D.; FAUST, H.; HERTEL, D.; HÖLSCHER, D.; JUHRBANDT, J.; KESSLER, M.; PERFECTO, I.; SCHERBER, C.; SCHROTH, G.; VELDKAMP, E.; WANGER, T. C. Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes - A review. *Journal of Applied Ecology*, v. 48, n. 3, p. 619–629, 2011. ISSN 00218901.
- VELLOSO, L.; PROCKNOR, M.; STRAZZACAPPA, W.; SEKI, K.; MILTENBURG, G. Digestibilidade (aparente) e produção forrageira de um pasto de capim gordura (*Melinis minutiflora*, Pal de Beauv). Fase II, período de inverno. *Rev. Fac. Med. vet. Zootec. Univ. S.Paulo*, São Paulo, p. 87–95, 1982.
- VELOSO, G. A.; Silva, Lucas Augusto Pereira da; Ferreira, M. E. ANÁLISE DO BALANÇO DE RADIAÇÃO NO NORTE DE MINAS GERAIS , BIOMA CERRADO. *Revista Cerrados (Unimontes)*, 2020.

- VIANNA, N. G. Produção E Tecnologia De Sementes. *Embrapa*, Belém, v. 6, p. 14, 1982.
- VILELA, L.; MARTHA, G. B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1127–1138, 2011. ISSN 0100204X.
- WANDERLEY, W. L.; FERREIRA, M. d. A.; BATISTA, Â. M. V.; VÉRAS, A. S. C.; BISPO, S. V.; SILVA, F. M. da; SANTOS, V. L. F. dos. Consumo, digestibilidade e parâmetros ruminais em ovinos recebendo silagens e fenos em associação à palma forrageira. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 13, n. 2, p. 444–456, 2012.
- WITELSKI, T.; BOWEN, M. *Springer Undergraduate Mathematics Series Methods of Mathematical Modelling Continuous Systems and Differential Equations*. [s.n.], 2015. ISBN 9783319230412. Disponível em: <<http://www.springer.com/series/3423>>.
- WUTKE, E. B.; AMBROSANO, E. J.; RAZERA, L. F.; MEDINA, P. F.; CARVALHO, L. H.; KIKUTI, H. Bancos comunitários de sementes de adubos verdes: Informações técnicas. *Pror-ganico*, p. 52, 2007.
- YOUNG, A. *An Introduction to Agroforestry*. [S.l.: s.n.], 1994. v. 23. 306–306 p. ISSN 0030-7270. ISBN 0792321340.
- ZANINE, A. d. M.; SANTOS, E. M. Competição entre espécies de plantas - uma Revisão. *Revista da FZVA*, v. 11, n. 1, p. 10–30, 2004. Disponível em: <<http://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/fzva/article/viewFile/2184/1700>>.

7 APÊNDICE

APÊNDICE A — Complemento ao Capítulo II

Este apêndice é um complemento ao Capítulo II, e foi criado a partir de dados secundários para ser utilizado pelo modelo matemático desenvolvido. Essa tabela de dados brutos foi aplicada na determinação dos índices de: 1 - Adaptação Climática de uma cultura agrícola Algoritmo (ACA); 2 - Cálculo da Radiação Solar de uma cultura Algoritmo (RS); 3 - Valor Nutricional de uma forrageira Algoritmo (VN); 4 - Conteúdo Proteico (Carboidratos totais) de uma forrageira Algoritmo (CP); 5 - Digestibilidade de uma forrageira Algoritmo (D); 6 - Cálculo da Adaptação Local de uma árvore Algoritmo (ALA). O resultado dos índices calculados está no Apêndice B.

Na tabela pode-se buscar as fontes referentes aos 14 cenários, todas relacionadas a cada espécie, com informações tais como: temperaturas médias e radiação média de cada local, temperatura média de adaptação e radiação média de adaptação de cada espécie, valores bromatológicos das forrageiras.

As referências são apresentadas na tabela de maneira que: das forrageiras seguem ao lado do nome de cada espécie; das espécies arbóreas, frutíferas e culturas anuais seguem ao lado das temperaturas e radiação solar; dos cenários seguem ao lado do título do trabalho utilizado; e da temperatura e radiação solar do local seguem ao lado das mesmas.

Quando identificada dificuldade em encontrar informações relacionadas a radiação e temperatura de adaptação de alguma espécie nativas ou comumente encontradas na região, foram utilizadas referências para o bioma conforme [Embrapa \(2012\)](#).

Tabela 7.1: Tabela de dados de entrada para determinação dos coeficientes (índices)

Título do trabalho	Localidade do SAF	Coordenadas Geográfica	Temperatura Média da Localidade (°C)	Radiação Solar Méd. da Localidade (μmol m-2s-1)	Tipo	Espécie	Temperatura recomendável °C	Temperatura média recomendável °C	Radiação Solar (μmol m-2 s-1)	Radiação Solar média (μmol m-2s -1)	Matéria seca (ton/ha/ano) Forrageira	Matéria Seca (MS)(%) Forrageira	Proteína bruta(%) Forrageira	Digestibilidade in vitro (%) Forrageira	Fibra Detergente Neutro (FDN) (%) Forrageira	Fibra Detergente Ácido (FDA)(%) Forrageira	Extrato Etéreo (EE)(%) Forrageira
USO MÚLTIPLO DE ESPÉCIES ARBÓREAS EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL SOB BASES AGROECOLÓGICAS EM PONTA PORÁ, MATO GROSSO DO SUL (SALOMÃO et al., 2012)	Assentamento Itamarati Ponta Porá - MS	22° 11' 37" S e 55° 31' 28" W	Arborea	Alecrim (<i>Holocalyx balansae</i>)	22.3 (CLIMATE-DATA.ORG, 2021)	954216 (OLIVEIRA et al., 2019)	18 a 25 (FELIPIPI, 2010)	21.5									
			Arborea	Amendoim-bravo (<i>Pterogyne nitens</i>)	22.3	954216	25 a 30 a 35 (SANTOS et al., 2008)	30									
			Arborea	Aroeira (<i>Myracrodruon urundeuva Allemão</i>)	22.3	954217	15 a 35 (SILVA et al., 2002)	25									
			Arborea	Candeia (<i>Göehmatia polymorpha</i>)	22.3	954218	21.8	21.8									
			Arborea	Canditüva (<i>Trema micrantha</i>)	22.3	954219	20 a 35 (CASTEL-LANI; AGUIAR, 2012)	27.5									
			Arborea	Jacarandá (<i>Jacaranda cuspidifolia</i>)	22.3	954220	19 a 25 (RÊGO; POSSA-MAI, 2003)	22									
			Arborea	Cedro (<i>Cedrela fissilis</i>)	22.3	954221	13.3 a 24.4 e 8.2 a 25.5 e 17.2 a 27.7 (CARVALHO, 2005)	19.5									
			Arborea	Chico-magro (<i>Guzuma ulmifolia</i>)	22.3	954222	17.9 a 26.7 e 15.3 a 25.8 e 19.7 a 29 (CARVALHO, 2007)	22.4									
			Arborea	Fumo-bravo (<i>Solanum mauritianum</i>)	22.3	954223	21.3 a 27.2 (GOBATO, 2017)	24.3									

Tabela 7.1 – Continua na próxima página

Tabela 7.1 – Continuação

Coordenadas Geográficas	Localidade do SAF	Título e fonte do trabalho	Temperatura Média da Localidade (°C)	Radiação Solar Méd. da Localidade (μmol m-2s-1)	Tipo	Espécie	Temperatura recomendável °C	Temperatura média recomendável °C	Radiação Solar (μmol m-2s-1)	Radiação Solar média (μmol m-2s-1)	Matéria seca (ton/ha/ano) Forrageira	Matéria Seca (MS)(%) Forrageira	Proteína bruta(%) Forrageira	Digestibilidade in vitro (%) Forrageira	Fibra Detergente Neutro (FDN) (%) Forrageira	Fibra Detergente Ácido (FDA)(%) Forrageira	Matéria Mineral (MM)(%) Forrageira	Extrato Etéreo (EE)(%) Forrageira
		Feijão-caupi (<i>Vigna unguiculata</i>)	22.3	954234	22.3	18 a 34 (BEL-TRÃO et al., 2002)	26	685.5 a 1142.5 (BEL-TRÃO et al., 2002)	914									
		mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)	22.3	954235	22.3	20 a 24 a 28 (GABRIEL et al., 2014)	24	832.56 (JU-NIOR et al., 2013)	832.56									
		quiabo (<i>Abelmoschus esculentus</i>)	22.3	954236	22.3	24.5 (FRAN-CISCO JOSÉ NUNES MONESTO, 2018)	24.5	231.71 (JU-NIOR et al., 2013)	231.71									
		abóbora (<i>Cucurbita moschata</i>)	22.3	954237	22.3	20 a 27 (RAMOS et al., 2010)	23.5	832.56 (JU-NIOR et al., 2013)	832.56									
		Milho (<i>Zea mays</i>)	22.3	954238	22.3	8 a 44 (MON-TEIRO, 2009)	26	500 a 1000 (MON-TEIRO, 2009)	750									
		Banana (<i>Musa spp.</i>)	22.3	954239	22.3	15 a 35 (MON-TEIRO, 2009)	24.1	180 a 1.500 (MON-TEIRO, 2009)	840									
		Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>)																
		Forrageira	22.3	954240	22.3	DES et al., 2020; SIMON et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2010)					1.25	29.61	16	70	55	27	6.93	3.8

Tabela 7.1 – Continua na próxima página

Tabela 7.1 – Continuação

Titulo e fonte do trabalho	Localidade do SAF	Coordenadas Geográficas	Temperatura Média da Localidade (°C)	Radiação Solar Méd. da Localidade (μmol m-2s -1)	Tipo	Espécie	Temperatura recomendável °C	Temperatura média recomendável °C	Radiação Solar (μmol m -2 s-1)	Radiação Solar média (μmol m-2s -1)	Matéria seca (ton/ha/ano) Forrageira	Matéria Seca (MS)(%) Forrageira	Proteína bruta(%) Forrageira	Digestibilidade in vitro (%) Forrageira	Fibra Detergente Neutro (FDN) (%) Forrageira	Fibra Detergente Ácido (FDA)(%) Forrageira	Matéria Mineral (MM)(%) Forrageira	Extrato Etéreo (EE)(%) Forrageira
Crotalaria juncea (Crotalaria juncea) (PRIMA-VESI, 1997; OLIVEIRA et al., 2015) Guandu (Cajanus cajan) (WUTKE et al., 2007; WANDERLEY et al., 2012) Feijão-de-porco (Canavalia ensiformis) (RAYOL; ALVINO, 2012; SOUZA et al., 1991) Brachiaria (B. De-LOPES et al., 2010) Brachiaria (B. Br-LOPES et al., 2010) Brachiaria (B. Hu-LOPES et al., 2010) Brachiaria (B. Ruzi-LOPES et al., 2010)			Forrageira	Forrageira	Forrageira	Forrageira	Forrageira	Forrageira	Forrageira	Forrageira	Forrageira	Forrageira	Forrageira	Forrageira	Forrageira	Forrageira	Forrageira	Forrageira
			22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3
			954241	954242	954243	954244	954245	954246	954247									
			12.5	10	4.8		1.2											
			41.46	88.56	18.89	21.1	21	20.5	19.6									
			13	9.32	24.13	6.4	7.5	6.8	7.0									
			58	61.53	41	60.9	62.5	59.3	63.9									
			60	69.87	39	70.1	66.8	73.4	63.9									
			51	55.04	30	36.2	36.8	38.2	34.9									
			5.44	5.09	6.59	8.0	8.7	8.9	9.2									
			3.4	2.71	4.4	1.7	1.9	2.0	2.0									

Tabela 7.1 – Continua na próxima página

Tabela 7.1 – Continuação

Titulo e fonte do trabalho	Localidade do SAF	Coordenadas Geográficas	Temperatura Média da Localidade (°C)	Radiação Solar Méd. da Localidade (μmol m-2s-1)	Tipo	Espécie	Temperatura recomendável °C	Temperatura média recomendável °C	Radiação Solar (μmol m-2 s-1)	Radiação Solar média (μmol m-2s -1)	Matéria seca (ton/ha/ano) Forrageira	Matéria Seca (MS)(%) Forrageira	Proteína bruta(%) Forrageira	Digestibilidade in vitro (%) Forrageira	Fibra Detergente Neutro (FDN) (%) Forrageira	Fibra Detergente Ácido (FDA)(%) Forrageira	Matéria Mineral (MM)(%) Forrageira	Extrato Etéreo (EE)(%) Forrageira		
Implantação de sistema agroflorestal: uma representação da agrobiodiversidade em Palmas, Tocantins (SANTOS et al., 2018c)	Palmas - TO	22L 88628997 N / 791893 E	Forrageira	Colônia comum (<i>Panicum maximum</i>) (SILVA et al., 2018)	22.3	954248	8 a 25 a 36 (MONTEIRO, 2009)	57.17	34.38	6.13	63.49	41.13	8.28	1.74						
			Forrageira	Colônia da Tanzânia (<i>Panicum maximum</i>) (DIAS et al., 2007)	22.3	954249	20 a 30 (PEREIRA et al., 2015)	63.56	23.80	7.75	71.35	42.56	13.44	1.54						
			Forrageira	Capim An-dropogon (<i>Anchiro-pogon</i>) (RIBEIRO, 2019)	22.3	954250	15 a 27 (MELO, 2002)	60.65	25.55	8.96	70.13	38.84	3.99	1.53						
			Forrageira	Capim-laraguá (<i>Hyparrhenia rufa</i>)	22.3	954251	500 (MELO, 2002)	44.9	46.66	2.66	71.7	37.2	7.5	2.2						
			Forrageira	Capim-gordura (<i>Melinis mini-mi-mi-tiliflora</i>) (VELOSO et al., 1982; PINTO et al., 2011)	22.3	954252		35	43.56	4.64	55.34	20.51	5.73	2.26						
			Forrageira	Capim-tifton 85 (<i>Cynodon</i>) (JUNIOR et al., 2000; FIORELLI et al., 2018)	22.3	954216		58.40	82.33	14.57	73.02	29.44	7.21	1.17						
			Arborea	Eucalipto (<i>Eucalyptus spp.</i>)	26.7 (CLIMATE-DATA.ORG, 2021)	848192 (MACÉDO, 2015)	23													
			Arborea	Moringa (<i>Moringa oleifera</i>)	26.7	848192	25													
			Frutífera	Palmeiras (<i>Cocos nucifera</i>)	26.7	848192	21													

Tabela 7.1 – Continua na próxima página

Tabela 7.1 – Continuação

Coordenadas Geográficas	Localidade do SAF	Título e fonte do trabalho	Radição Solar Méd. da Localidade (μmol m-2s-1)	Tipo	Espécie	Temperatura recomendável °C	Temperatura média recomendável °C	Radição Solar (μmol m-2 s-1)	Radição Solar média (μmol m-2s -1)	Matéria seca (ton/ha/ano) Forrageira	Matéria Seca (MS)(%) Forrageira	Proteína bruta(%) Forrageira	Digestibilidade in vitro (%) Forrageira	Fibra Detergente Neutro (FDN) (%) Forrageira	Fibra Detergente Ácido (FDA)(%) Forrageira	Matéria Mineral (MM)(%) Forrageira	Extrato Etéreo (EE)(%) Forrageira
		Cacau (<i>Theobroma cacao</i>)	848192	26.7	848192	21.5 a 29.5 (MON-TEIRO, 2009)	24.5	800 a 1000 (MON-TEIRO, 2009)	900								
		Cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	848192	26.7	848192	21.6 a 27.5 (GONDIM et al., 2001)	24.6	231.71 (JUNIOR et al., 2013)	231.71								
		Tomate-cereja (<i>Solanum lycopersicum</i> var. <i>cerasiforme</i>)	848192	26.7	848192	16 a 29 (SILVA et al., 2006)	22.5	231.71 (JUNIOR et al., 2013)	231.71								
		Hortalças folhosas alface (<i>Lactuca sativa</i> Linné)	848192	26.7	848192	20 a 32 (SANTOS et al., 2010)	25.1	231.71 (JUNIOR et al., 2013)	231.71								
		Mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)	848192	26.7	848192	20 a 24 a 28 (GABRIEL et al., 2014)	23.1	832.56 (JUNIOR et al., 2013)	832.56								
		Milho (<i>Zea mays</i>)	848192	26.7	848192	8 a 44 (MON-TEIRO, 2009)	25.1	500 a 1000 (MON-TEIRO, 2009)	750								
		Banana (<i>Musa spp.</i>)	848192	26.7	848192	15 a 35 (MON-TEIRO, 2009)	24.1	180 a 1.500 (MON-TEIRO, 2009)	840								
		Cafê (<i>Coffea spp.</i>)	848192	26.7	848192	18 a 23 (CASEMIRO et al., 2006)	20.5	600 a 700 (MON-TEIRO, 2009)	650								
		Brachiaria (<i>B. Decumbens</i>)	848192	26.7	848192					5560	21.1	6.4	60.9	70.1	36.2	8.0	1.7
		Brachiaria (<i>B. Brizantha</i>)	848192	26.7	848192					1.2	21	7.5	62.5	66.8	36.8	8.7	1.9
		Brachiaria (<i>B. Humidicola</i>)	848192	26.7	848192					20.5	6.8	6.8	59.3	73.4	38.2	8.9	2.0
		Brachiaria (<i>B. Ruziziensis</i>)	848192	26.7	848192					19.6	7.0	7.0	63.9	63.9	34.9	9.2	2.0

Tabela 7.1 – Continua na próxima página

Tabela 7.1 – Continuação

Titulo e fonte do trabalho	Localidade do SAF	Coordenadas Geográficas	Temperatura Média da Localidade (°C)	Radiação Solar Méd. da Localidade (μmol m-2s-1)	Tipo	Espécie	Temperatura recomendável °C	Temperatura média recomendável °C	Radiação Solar (μmol m-2 s-1)	Radiação Solar média (μmol m-2s -1)	Matéria seca (ton/ha/ano) Forrageira	Matéria Seca (MS)(%) Forrageira	Proteína bruta(%) Forrageira	Digestibilidade in vitro (%) Forrageira	Fibra Detergente Neutro (FDN) (%) Forrageira	Fibra Detergente Ácido (FDA)(%) Forrageira	Matéria Mineral (MM)(%) Forrageira	Extrato Etéreo (EE)(%) Forrageira					
Sistemas agroflorestais produtivos para o norte de Mato Grosso. Pg. 438 (ALVES et al., 2015)	Sinop - MT	11 94°S; 55.49°W e 364 m	26.8	848192	Forrageira (<i>B. Humidicola</i>)	848192	26.8	26.8	20.5	6.8	59.3	73.4	38.2	8.9	2.0	2.0	2.0	2.0					
					Forrageira (<i>B. Ruziziensis</i>)	848192	26.8	26.8	19.6	7.0	63.9	63.9	9.2	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0			
					Forrageira (<i>Panicum maximum</i>) (SILVA et al., 2018)	848192	26.8	26.8	34.38	6.13	57.17	63.49	41.13	8.28	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74		
					Forrageira (<i>Panicum maximum</i>) da Tanzânia	848192	26.8	26.8	23.80	7.75	63.56	71.35	42.56	13.44	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	
					Forrageira (<i>Panicum maximum</i>) (DIAS et al., 2007)	848192	26.8	26.8	25.55	8.96	60.65	70.13	38.84	3.99	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	
					Forrageira (<i>Panicum maximum</i>) (RIBEIRO, 2019)	848192	26.8	26.8	46.66	2.66	44.9	71.7	37.2	7.5	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	
					Forrageira (<i>Panicum maximum</i>) (JUNIOR et al., 2000; FIORELLI et al., 2018)	848192	26.8	26.8	43.56	4.64	35	55.34	20.51	5.73	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	
					Forrageira (<i>Panicum maximum</i>) (LOSOS et al., 1982; PINTO et al., 2011)	848192	26.8	26.8	82.33	14.57	58.40	73.02	29.44	7.21	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	
					Forrageira (<i>Panicum maximum</i>) (CYNODON et al., 2000; FIORELLI et al., 2018)	848192	26.8	26.8	20	82.33	14.57	58.40	73.02	29.44	7.21	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
					Forrageira (<i>Panicum maximum</i>) (VELAZQUEZ et al., 2018)	848192	26.8	26.8	20	82.33	14.57	58.40	73.02	29.44	7.21	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17

Tabela 7.1 – Continua na próxima página

Tabela 7.1 – Continuação

Titulo e fonte do trabalho	Localidade do SAF	Coordenadas Geográficas	Temperatura Média da Localidade (°C)	Radiação Solar Méd. da Localidade (μmol m-2s-1)	Tipo	Espécie	Temperatura recomendável °C	Temperatura média recomendável °C	Radiação Solar (μmol m-2 s-1)	Radiação Solar média (μmol m-2s -1)	Matéria seca (ton/ha/ano) Forrageira	Matéria Seca (MS)(%) Forrageira	Proteína bruta(%) Forrageira	Digestibilidade in vitro (%) Forrageira	Fibra Detergente Neutro (FDN) (%) Forrageira	Fibra Detergente Ácido (FDA)(%) Forrageira	Matéria Mineral (MM)(%) Forrageira	Extrato Etéreo (EE)(%) Forrageira
Acácia (<i>Acacia mangium</i>)	Arborea		25.4	848192	25.4	848192	12 a 34 (Embrapa Amazônia Ocidental, 2003)	23										
Taxi branco (<i>Tachigali vulgaris</i>)	Arborea		25.4	848192	25.4	848192	24.9 a 28 (DIAS et al., 1993)	26.5										
Casuarina (<i>Casuarina equisetifolia</i>)	Arborea		25.4	848192	25.4	848192	18 a 26 (FERREIRA, 2004)	22										
Mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)	Cultura anual		25.4	848192	25.4	848192	20 a 24 a 28 (GABRIEL et al., 2014)	24	832.56 (JU- NIOR et al., 2013)	832.56								
Abóbora (<i>Cucurbita moschata</i>)	Cultura anual		25.4	848192	25.4	848192	20 a 27 (RAMOS et al., 2010)	23.5	832.56 (JU- NIOR et al., 2013)	832.56								
Banana da Terra (<i>Musa spp.</i>)	Cultura anual		25.4	848192	25.4	848192	15 a 35 (MONTEIRO, 2009)	25	180 a 1.500 (MONTEIRO, 2009)	840								
Banana da terra d'angola (<i>Musa spp.</i>)	Cultura anual		25.4	848192	25.4	848192	15 a 35 (MONTEIRO, 2009)	25	180 a 1.500 (MONTEIRO, 2009)	840								
Brachiaria (<i>B. De- LOPES et al., 2010</i>)	Forrageira		25.4	848192	25.4	848192				5560	21.1	6.4	60.9	70.1	36.2	8.0		1.7
Brachiaria (<i>B. Br- LOPES et al., 2010</i>)	Forrageira		25.4	848192	25.4	848192				1.2	21	7.5	62.5	66.8	36.8	8.7		1.9
Brachiaria (<i>B. Hu- LOPES et al., 2010</i>)	Forrageira		25.4	848192	25.4	848192					20.5	6.8	59.3	73.4	38.2	8.9		2.0
Brachiaria (<i>B. Ruzi- LOPES et al., 2010</i>)	Forrageira		25.4	848192	25.4	848192					19.6	7.0	63.9	63.9	34.9	9.2		2.0

Tabela 7.1 – Continua na próxima página

Tabela 7.1 – Continuação

Titulo e fonte do trabalho	Localidade do SAF	Coordenadas Geográfica	Temperatura Média da Localidade (°C)	Radiação Solar Méd. da Localidade (μmol m-2s -1)	Tipo	Espécie	Temperatura recomendável °C	Temperatura média recomendável °C	Radiação Solar (μmol m -2 s-1)	Radiação Solar média (μmol m-2s -1)	Matéria seca (ton/ha/ano) Forrageira	Matéria Seca (MS)(%) Forrageira	Proteína bruta(%) Forrageira	Digestibilidade in vitro (%) Forrageira	Fibra Detergente Neutro (FDN) (%) Forrageira	Fibra Detergente Ácido (FDA)(%) Forrageira	Matéria Mineral (MM)(%) Forrageira	Extrato Etéreo (EE)(%) Forrageira
Crotalária juncea (<i>Crotalaria juncea</i>) (PRIMA-PRIMA- VESI, 1997; OLIVEIRA et al., 2015) Guandu (<i>Cajanus cajan</i>) (WUTKE et al., 2007; WANDERLEY et al., 2012) Feijão-de-porco (<i>Caniavalia ensiformis</i>) (RAYOL; ALVINO, 2012; SOUZA et al., 1991) Mucuna-preta (<i>Mucuna pruriens</i>) (MO-REIRA, 2017) Feijão-bravo (<i>Capparis flexuosa</i>) (NETO et al., 2011) Brachiária (<i>B. DeLopes et al., 2010</i>) Brachiária (<i>B. Bril-Lopes et al., 2010</i>)	Forrageira		Forrageira		22.3	954216					12.5	41.46	13	58	60	51	5.44	3.4
					22.3	954216					10	88.56	9.32	61.53	69.87	55.04	5.09	2.71
					22.3	954216					4.8	18.89	24.13	41	39	30	6.59	4.4
					22.3	954216						9.24	15.3	70	72.9	55.9	8.5	3.9
					22.3	954216						47.1	8.13	71.42	64	27	8.05	5.37
					22.3	954216					5560	21.1	6.4	60.9	70.1	36.2	8.0	1.7
					22.3	954216					1.2	21	7.5	62.5	66.8	36.8	8.7	1.9

Tabela 7.1 – Continua na próxima página

Tabela 7.1 – Continuação

Coordenadas Geográficas	Localidade do SAF	Título e fonte do trabalho	Tipo	Espécie	Temperatura recomendável °C	Temperatura média recomendável °C	Radiação Solar (μmol m ⁻² s ⁻¹)	Radiação Solar média (μmol m ⁻² s ⁻¹)	Materia seca (ton/ha/ano) Forrageira	Materia seca (MS)(%) Forrageira	Proteína bruta(%) Forrageira	Digestibilidade in vitro (%) Forrageira	Fibra Detergente Neutro (FDN) (%) Forrageira	Fibra Detergente Ácido (FDA)(%) Forrageira	Fibra Mineral (MM)(%) Forrageira	Extrato Etéreo (EE)(%) Forrageira	
		Brachiaria (<i>B. Hu- Forrageira midicóla</i>) (LOPES et al., 2010)	22.3	954216					20.5	6.8	59.3	73.4	38.2	8.9	2.0	2.0	
		Brachiaria (<i>B. Ruzi- Forrageira ziensis</i>) (LOPES et al., 2010)	22.3	954216					19.6	7.0	63.9	63.9	34.9	9.2	2.0	2.0	
		Colômbio (<i>Panicum Forrageira maximum</i>) (SILVA et al., 2018)	22.3	954216					34.38	6.13	57.17	63.49	41.13	8.28	1.74	1.74	
		Colômbio da Tanzânia (<i>Panicum Forrageira maximum</i>) (DIAS et al., 2007)	22.3	954216					23.80	7.75	63.56	71.35	42.56	13.44	1.54	1.54	
		Capim. An-dropogon (<i>Andropogon Forrageira pogon geyanus</i>) (RIBEIRO, 2019)	22.3	954216					12	25.55	8.96	60.65	70.13	38.84	3.99	1.53	
		Capim- Jaraguá (<i>Hyparrhenia rufa</i>)	22.3	954216					46.66	2.66	44.9	71.7	37.2	7.5	2.2	2.2	
		Capim-gordura (<i>Melinis mini-tiflora</i>) (VEL- LOSO et al., 1982; PINTO et al., 2011)	22.3	954216					43.56	4.64	35	55.34	20.51	5.73	2.26	2.26	
		Capim-tifton 85 (<i>Cynodon</i>) (JUNIOR et al., 2000; FIORELLI et al., 2018)	22.3	954216					20	82.33	14.57	58.40	73.02	29.44	7.21	1.17	1.17

Tabela 7.1 – Continua na próxima página

Tabela 7.1 – Continuação

Titulo e fonte do trabalho	Localidade do SAF	Coordenadas Geográficas	Temperatura Média da Localidade (°C)	Radiação Solar Méd. da Localidade (μmol m-2s-1)	Tipo	Espécie	Temperatura recomendável °C	Temperatura média recomendável °C	Radiação Solar (μmol m-2s-1)	Radiação Solar média (μmol m-2s-1)	Matéria seca (ton/ha/ano) Forrageira	Matéria Seca (MS)(%) Forrageira	Proteína bruta(%) Forrageira	Digestibilidade in vitro (%) Forrageira	Fibra Detergente Neutro (FDN) (%) Forrageira	Fibra Detergente Ácido (FDA)(%) Forrageira	Matéria Mineral (MM)(%) Forrageira	Extrato Etéreo (EE)(%) Forrageira
Sistema Agroflorestal no Sul de Minas Gerais: Café, Frutíferas e Madeiras (LOPES et al., 2009)	Machado MG	21º 39' 59" S e longitude 45º 55' 16" W	Arborea	Eucalipto (<i>Eucalyptus spp.</i>)	20.1 (CLIMATE-DATA.ORG, 2021)	848192 (TIBA, 2016)	8 a 25 a 36 (MON-TEIRO, 2009)	23	832.56 (JU-NIOR et al., 2013)	832.56								
			Frutifera	Manga (<i>Mangifera indica</i>)	20.1	848192	21 a 26 (OLIVEIRA et al., 2010)	23.5	832.56 (JU-NIOR et al., 2013)	832.56								
			Frutifera	Acerola (<i>Malpighia punicifolia</i>)	20.1	848192	15 a 32 (CALBRAGA, BRAGA, 2012)	23.5	832.56 (JU-NIOR et al., 2013)	832.56								
			Frutifera	Goiaba (<i>Psidium guajava</i>)	20.1	848192	25 a 30 (BARBOSA, et al., 2010)	27.5	832.56 (BARBOSA, et al., 2010)	832.56								
			Frutifera	Abacate (<i>Persea americana</i>)	20.1	848192	13 a 40 (MELO, 2002)	26.5	231.71 (JU-NIOR et al., 2013)	231.71								
			Cultura anual	Café (<i>Coffea spp.</i>)	20.1	848192	18 a 23 (CASEMIRO et al., 2006)	20.5	700 (MON-TEIRO, 2009)	650								
			Cultura anual	Banana (<i>Musa spp.</i>)	20.1	848192	15 a 35 (MON-TEIRO, 2009)	25	1.500 (MON-TEIRO, 2009)	840								
			Cultura anual	Arroz (<i>Oryza sativa</i>)	20.1	848192	20 a 35 (MON-TEIRO, 2009)	27.5	1108.22 (MON-TEIRO, 2009)	1108.22								
			Cultura anual	Milho (<i>Zea mays</i>)	20.1	848192	8 a 44 (MON-TEIRO, 2009)	26	500 a 1000 (MON-TEIRO, 2009)	750								
			Cultura anual	Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	20.1	848192	17 a 25 (MON-TEIRO, 2009)	21	685.5 a 1142.5 (MON-TEIRO, 2009)	914								

Tabela 7.1 – Continua na próxima página

Tabela 7.1 – Continuação

Titulo e fonte do trabalho	Localidade do SAF	Coordenadas Geográfica	Temperatura Média da Localidade (°C)	Radiação Solar Méd. da Localidade (μmol m-2s -1)	Tipo	Espécie	Temperatura recomendável °C	Temperatura média recomendável °C	Radiação Solar (μmol m -2 s-1)	Radiação Solar média (μmol m-2s -1)	Matéria seca (ton/ha/ano) Forrageira	Matéria Seca (MS)(%) Forrageira	Proteína bruta(%) Forrageira	Digestibilidade in vitro (%) Forrageira	Fibra Detergente Neutro (FDN) (%) Forrageira	Fibra Detergente Ácido (FDA)(%) Forrageira	Fibra Mineral (MM)(%) Forrageira	Extrato Etéreo (EE)(%) Forrageira
Brachiaria (<i>B. De-Cambens</i>) (LOPES et al., 2010)	Forrageira		20.1	848192	20.1	848192					5560	21.1	6.4	60.9	70.1	36.2	8.0	1.7
Brachiaria (<i>B. Brizantha</i>) (LOPES et al., 2010)	Forrageira		20.1	848192	20.1	848192					1.2	21	7.5	62.5	66.8	36.8	8.7	1.9
Brachiaria (<i>B. Humicola</i>) (LOPES et al., 2010)	Forrageira		20.1	848192	20.1	848192					20.5	6.8	7.0	59.3	73.4	38.2	8.9	2.0
Brachiaria (<i>B. Ruziz-ziensis</i>) (LOPES et al., 2010)	Forrageira		20.1	848192	20.1	848192					19.6	6.13	7.0	63.9	63.9	34.9	9.2	2.0
Brachiaria (<i>Panicum maximum</i>) (SILVA et al., 2018)	Forrageira		20.1	848192	20.1	848192					34.38	6.13	6.13	57.17	63.49	41.13	8.28	1.74
Brachiaria (<i>Panicum maximum</i>) (DIAS et al., 2007)	Forrageira		20.1	848192	20.1	848192					23.80	7.75	7.75	63.56	71.35	42.56	13.44	1.54
Brachiaria (<i>Andropogon gayanus</i>) (RIBEIRO, 2019)	Forrageira		20.1	848192	20.1	848192					12	25.55	8.96	60.65	70.13	38.84	3.99	1.53
Brachiaria (<i>Hyparrhenia rufa</i>) (Capim-gordura) (Melinis mini-tiffora) (VELOSO et al., 1982; PINTO et al., 2011)	Forrageira		20.1	848192	20.1	848192					46.66	2.66	2.66	44.9	71.7	37.2	7.5	2.2
Forrageira (VELOSO et al., 1982; PINTO et al., 2011)	Forrageira		20.1	848192	20.1	848192					43.56	4.64	4.64	35	55.34	20.51	5.73	2.26

Tabela 7.1 – Continua na próxima página

Tabela 7.1 – Continuação

Título e fonte do trabalho	Localidade do SAF	Coordenadas Geográficas	Temperatura Média da Localidade (°C)	Radiação Solar Méd. da Localidade (μmol m-2s-1)	Tipo	Espécie	Temperatura recomendável °C	Temperatura média recomendável °C	Radiação Solar (μmol m-2s-1)	Radiação Solar média (μmol m-2s-1)	Matéria seca (ton/ha/ano) Forrageira	Matéria Seca (MS)(%) Forrageira	Proteína bruta(%) Forrageira	Digestibilidade in vitro (%) Forrageira	Fibra Detergente Neutro (FDN) (%) Forrageira	Fibra Detergente Ácido (FDA)(%) Forrageira	Matéria Mineral (MM)(%) Forrageira	Extrato Etéreo (EE)(%) Forrageira
RELATO DE EXPERIÊNCIA EXITOSA NA CONVIVÊNCIA COM SAUVAS (<i>Ara spp.</i>) EM SISTEMA AGRO-FLORESTAL DO TERRITÓRIO DO RECÔNCAVO DA BAHIA. (SILVEIRA et al., 2012)	Conceição do Almeida - BA	12°46'46" latitude Sul e 39°10'12"	Arborea	Jacarandá (<i>Jacaranda cuspidifolia</i>)	24.0 (CLIMATE-DATA.ORG, 2021)	954216 (MODAL, 2018)	19 a 25 (RÊGO; POSSA-MAI, 2003)	22	848192	20.1	20	82.33	14.57	58.40	73.02	29.44	7.21	1.17
Capim tifton 85 (<i>Cynodon</i>) Forrageira (JUNIOR et al., 2000; FIORELLI et al., 2018)			Arborea	Açoita cavalo (<i>Luehea divaricata</i>)	24.0	954216	30 (RAMIRES et al., 2019)	30										
			Arborea	Pau-cigarra (<i>Senna molijugosa</i>)	24.0	954216	22.8 (CARVALHO, 2004)	22.8										
			Arborea	Aroeira (<i>Myracrodraon urundeuva</i>)	24.0	954216	15 a 35 (SILVA et al., 2002)	25										
			Arborea	Ipe-amarelo (<i>Tabebeia serratifolia</i>)	24.0	954216	21.3 a 27.2 (EMBRAPA, 2012)	24.3										
			Arborea	Balsamo (<i>Myroxylon peruiferum</i>)	24.0	954216	21.3 a 27.2 (EMBRAPA, 2012)	24.3										
			Arborea	Sucupira (<i>Acosmium subelegans</i>)	24.0	954216	21.3 a 27.2 (EMBRAPA, 2012)	24.3										
			Arborea	Nim-diano (<i>Azadirachta indica</i>)	24.0	954216	21 a 32 (NEVES et al., 2003)	26.5										
			Fruífera	Acerola (<i>Malpighia punicifolia</i>)	24.0	954216	15 a 32 (CALGARO; BRAGA, 2012)	23.5	832.56 (JUNIOR et al., 2013)									

Tabela 7.1 – Continua na próxima página

Tabela 7.1 – Continuação

Coordenadas Geográficas	Localidade do SAF	Título e fonte do trabalho	Temperatura Média da Localidade (°C)	Radiação Solar Méd. da Localidade (μmol m-2s-1)	Tipo	Espécie	Temperatura recomendável °C	Temperatura média recomendável °C	Radiação Solar (μmol m-2s-1)	Radiação Solar média (μmol m-2s-1)	Matéria seca (ton/ha/ano) Forrageira	Matéria Seca (MS)(%) Forrageira	Proteína bruta(%) Forrageira	Digestibilidade in vitro (%) Forrageira	Fibra Detergente Neutro (FDN) (%) Forrageira	Fibra Detergente Ácido (FDA)(%) Forrageira	Matéria Mineral (MM)(%) Forrageira	Extrato Etéreo (EE)(%) Forrageira
					24.0	954216	21 a 30 (MELO, 2002)	25.5	231.71 (JU- NIOR et al., 2013)	231.71								
		Graviola (<i>Ammona muricata</i>)	Frutífera															
					24.0	954216	21.3 a 27.2 (EM-BRAPA, 2012)	24.3	832.56 (JU- NIOR et al., 2013)	832.56								
		Striguela (<i>Spondias purpurea</i>)	Frutífera															
					24.0	954216	21.3 a 27.2 (EM-BRAPA, 2012)	24.3	832.56 (JU- NIOR et al., 2013)	832.56								
		Tamarindo (<i>Tamarindus indica</i>)	Frutífera															
					24.0	954216	15 a 27 (MELO, 2002)	21	500 (MELO, 2002)	500								
		Palmeiras (<i>Cocos nucifera</i>)	Frutífera															
					24.0	954216	5 a 26	15.5	231.71 (JU- NIOR et al., 2013)	231.71								
		Jabuticaba (<i>Myrciaria cauliflora</i>)	Frutífera															
					24.0	954216	21 a 26 (OLI-VEIRA et al., 2010)	23.5	832.56 (JU- NIOR et al., 2013)	832.56								
		Manga (<i>Mangifera indica</i>)	Frutífera															
					24.0	954216	19 a 34 (MELO, 2002)	26.5	832.56 (JU- NIOR et al., 2013)	832.56								
		Caju (<i>Anacardium occidentale</i>)	Frutífera															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. De-Forstera</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. distachya</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)	Forrageira															
					24.0	954216												
		Brachiaria (<i>B. ruziziensis</i>)																

Tabela 7.1 – Continuação

Titulo e fonte do trabalho	Localidade do SAF	Coordenadas Geográficas	Temperatura Média da Localidade (°C)	Radiação Solar Méd. da Localidade (μmol m-2s-1)	Tipo	Espécie	Temperatura recomendável °C	Temperatura média recomendável °C	Radiação Solar (μmol m-2 s-1)	Radiação Solar média (μmol m-2s -1)	Matéria seca (ton/ha/ano) Forrageira	Matéria Seca (MS)(%) Forrageira	Proteína bruta(%) Forrageira	Digestibilidade in vitro (%) Forrageira	Fibra Detergente Neutro (FDN) (%) Forrageira	Fibra Detergente Ácido (FDA)(%) Forrageira	Matéria Mineral (MM)(%) Forrageira	Extrato Etéreo (EE)(%) Forrageira	
Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense (KWATA et al., 2012)	Esperantina - PI	03o 54'07" S e 42o 14' 02" W. altitude 59 m	Forrageira	Forrageira	24.0	954216	21.3 ^a 27.2 (EM-BRAPA, 2012)	24.3			12	34.38	6.13	57.17	63.49	41.13	8.28	1.74	
			Forrageira	Forrageira	24.0	954216	22 ^a 24.5 (OLIVEIRA et al., 2000)				12	23.80	7.75	63.56	71.35	42.56	13.44	1.54	
			Forrageira	Forrageira	24.0	954216							25.55	8.96	60.65	70.13	38.84	3.99	1.53
			Forrageira	Forrageira	24.0	954216							46.66	2.66	44.9	71.7	37.2	7.5	2.2
			Forrageira	Forrageira	24.0	954216							43.56	4.64	35	55.34	20.51	5.73	2.26
			Forrageira	Forrageira	24.0	954216	27.2 (CLIMATE-DATA.ORG, 2021)	24.3			20	82.33	14.57	58.40	73.02	29.44	7.21	1.17	
			Forrageira	Forrageira	27.2	954216													

Tabela 7.1 – Continua na próxima página

Tabela 7.1 – Continuação

Titulo e fonte do trabalho	Localidade do SAF	Coordenadas Geográficas	Temperatura Média da Localidade (°C)	Radiação Solar Méd. da Localidade (μmol m-2s-1)	Tipo	Espécie	Temperatura recomendável °C	Temperatura média recomendável °C	Radiação Solar (μmol m-2 s-1)	Radiação Solar média (μmol m-2s -1)	Matéria seca (ton/ha/ano) Forrageira	Matéria Seca (MS)(%) Forrageira	Proteína bruta(%) Forrageira	Digestibilidade in vitro (%) Forrageira	Fibra Detergente Neutro (FDN) (%) Forrageira	Fibra Detergente Ácido (FDA)(%) Forrageira	Extrato Etéreo (EE)(%) Forrageira	
			Arborea	Gergelim (<i>Sesamum indicum</i>)	27.2	954216	25 a 30 (BEL-TRÃO et al., 1997)	27.5										
			Arborea	Ipê-roxo (<i>Tibebuia impetiginosa</i>)	27.2	954216	21.3 a 27.2 (EM-BRAGA, 2012)	24.3										
			Arborea	Babacu (<i>Attalea ssp.</i>)	27.2	954216	21.3 a 27.2 (EM-BRAGA, 2012)	24.3										
			Arborea	Gonçalo-alves (<i>Astronium fraxinifolium</i>)	27.2	954216	21.3 a 27.2 (EM-BRAGA, 2012)	24.3										
			Arborea	Tamboril (<i>Enterolobium contortisiliquum</i>)	27.2	954216	23 a 27 (MELO et al., 2008)	25										
			Arborea	Iatobá (<i>Fymenaea courbaril</i>)	27.2	954216	21.3 a 27.2 (EM-BRAGA, 2012)	24.3										
			Arborea	Aroeira (<i>Myracrodruon urundeuva</i>)	27.2	954216	15 a 35 (SILVA et al., 2002)	25										
			Arborea	de-gato (<i>Meloea quadrivalvis</i>)	27.2	954216	21.3 a 27.2 (EM-BRAGA, 2012)	24.3										
			Frutifera	Manga (<i>Mangifera indica</i>)	27.2	954216	21 a 26 (OLIVEIRA et al., 2010)	23.5	832.56 (JU-NIOR et al., 2013)	832.56								
			Frutifera	Acerola (<i>Malpighia punicifolia</i>)	27.2	954216	15 a 32 (CALGARO, BRAGA, 2012)	23.5	832.56 (JU-NIOR et al., 2013)	832.56								
			Frutifera	Pinha (<i>Annona squamosa</i>)	27.2	954216	21 a 30 (MELO, 2002)	25.5	231.71 (JU-NIOR et al., 2013)	231.71								

Tabela 7.1 – Continua na próxima página

Tabela 7.1 – Continuação

Titulo e fonte do trabalho	Localidade do SAF	Coordenadas Geográficas	Temperatura Média da Localidade (°C)	Radiação Solar Méd. da Localidade (μmol m-2s-1)	Tipo	Espécie	Temperatura recomendável °C	Temperatura média recomendável °C	Radiação Solar (μmol m-2 s-1)	Radiação Solar média (μmol m-2s -1)	Matéria seca (ton/ha/ano) Forrageira	Matéria Seca (MS)(%) Forrageira	Proteína bruta(%) Forrageira	Digestibilidade in vitro (%) Forrageira	Fibra Detergente Neutro (FDN) (%) Forrageira	Fibra Detergente Ácido (FDA)(%) Forrageira	Fibra Mineral (MM)(%) Forrageira	Extrato Etéreo (EE)(%) Forrageira			
Sistemas agroflorestais e fertilidade dos solos: uma análise da microrregião de Arrequemes, Rondônia (MENEZES, 2008)	Ariquemes - RO	S 09°33 '59,1" W 62°06'21,8"	Forrageira	Colônia da Tanzânia (<i>Panicum maximum</i>) (DIAS et al., 2007)	27.2	954216	28					23.80	7.75	63.56	71.35	42.56	13.44	1.54			
			Forrageira	(<i>Andropogon tropyogon</i>) (RIBEIRO, 2019)	27.2	954216	28						25.55	8.96	60.65	70.13	38.84	3.99	1.53		
			Forrageira	(<i>Hyparrhenia rufa</i>) (Capim- Jaraguá)	27.2	954216	28						46.66	2.66	44.9	71.7	37.2	7.5	2.2		
			Forrageira	(<i>VEL-LOS</i> et al., 1982; PINTO et al., 2011)	27.2	954216	28						43.56	4.64	35	55.34	20.51	5.73	2.26		
			Forrageira	(<i>Cynodon dactylon</i>) (Capim tifton 85)	27.2	954216	28														
			Forrageira	(<i>JUNIOR</i> et al., 2000; FIORELLI et al., 2018)	27.2	954216	28														
			Arborea	Teca (<i>Tectona grandis</i>)	26.1	848192	28	28 (PELIS-SARI et al., 2014)	28												
			Arborea	Bandarra ou Partida grande da mata (<i>Schizobolium parahyba</i>)	26.1	848192	26	26 (COR-DEIRO et al., 2020)	26												
			Arborea	Freijó louro (<i>Cordia alliodora</i>)	26.1	848192	25	20 a 30 (VIANNA, 1982)	25												
			Arborea	Freijó cinza (<i>Cordia goeldiana</i>)	26.1	848192	25	20 a 30 (VIANNA, 1982)	25												

Tabela 7.1 – Continua na próxima página

Tabela 7.1 – Continuação

Coordenadas Geográfica	Localidade do SAF	Título e fonte do trabalho	Temperatura Média da Localidade (°C)	Radição Solar Méd. da Localidade (μmol m-2s-1)	Tipo	Espécie	Temperatura recomendável °C	Temperatura média recomendável °C	Radiação Solar (μmol m-2s-1)	Radiação Solar média (μmol m-2s-1)	Matéria seca (ton/ha/ano) Forrageira	Matéria Seca (MS)(%) Forrageira	Proteína bruta(%) Forrageira	Digestibilidade in vitro (%) Forrageira	Fibra Detergente Neutro (FDN) (%) Forrageira	Fibra Detergente Ácido (FDA)(%) Forrageira	Matéria Mineral (MM)(%) Forrageira	Extrato Etéreo (EE)(%) Forrageira
		Seringueira (<i>Hevea brasiliensis</i>)	26.1	848192	26.1	848192	15.9 a 26.4 (LIMA et al., 2020)	21.2										
		Laranja (<i>Citrus sp.</i>)	26.1	848192	26.1	848192	25 a 30 (MON-TEIRO, 2009)	27.5	800 a 1000 (MON-TEIRO, 2009)	900								
		Cacau (<i>Theobroma cacao</i>)	26.1	848192	26.1	848192	21.5 a 29.5 (MON-TEIRO, 2009)	25.5	800 a 1000 (MON-TEIRO, 2009)	900								
		Açaí (<i>Eitriperpe oleracea</i>)	26.1	848192	26.1	848192	22 a 27 (NO-GUEIRA et al., 2005)	24.5	231.71 (JU-TEIRO, 2013)	231.71								
		Cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	26.1	848192	26.1	848192	21.6 a 27.5 (GONDIM et al., 2001)	24.6	231.71 (JU-TEIRO, 2013)	231.71								
		Milho (<i>Zea mays</i>)	26.1	848192	26.1	848192	8 a 44 (MON-TEIRO, 2009)	26	500 a 1000 (MON-TEIRO, 2009)	750								
		Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	26.1	848192	26.1	848192	17 a 25 (MON-TEIRO, 2009)	21	685.5 a 1142.5 (MON-TEIRO, 2009)	914								
		Mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)	26.1	848192	26.1	848192	20 a 24 a 28 (GABRIEL et al., 2014)	24	832.56 (JU-TEIRO, 2013)	832.56								
		Soja (<i>Glycine max</i>)	26.1	848192	26.1	848192	20 a 30 (MON-TEIRO, 2009)	25	832.56 (JU-TEIRO, 2013)	832.56								
		Café (<i>Coffea spp.</i>)	26.1	848192	26.1	848192	18 a 23 (CASEMIRO et al., 2006)	20.5	600 a 700 (MON-TEIRO, 2009)	650								

Tabela 7.1 – Continua na próxima página

Tabela 7.1 – Continuação

Titulo e fonte do trabalho	Localidade do SAF	Coordenadas Geográficas	Temperatura Média da Localidade (°C)	Radiação Solar Méd. da Localidade (μmol m-2s -1)	Tipo	Espécie	Temperatura recomendável °C	Temperatura média recomendável °C	Radiação Solar (μmol m -2 s-1)	Radiação Solar média (μmol m-2s -1)	Matéria seca (ton/ha/ano) Forrageira	Matéria Seca (MS)(%) Forrageira	Proteína bruta(%) Forrageira	Digestibilidade in vitro (%) Forrageira	Fibra Detergente Neutro (FDN) (%) Forrageira	Fibra Detergente Ácido (FDA)(%) Forrageira	Fibra Detergente (MM)(%) Forrageira	Matéria Mineral (MM)(%) Forrageira	Extrato Etéreo (EE)(%) Forrageira
Brachiaria (<i>B. De-Cambens</i>) (LOPES et al., 2010)	Forrageira		26.1	848192	26.1	848192					5560	21.1	6.4	60.9	70.1	36.2	8.0	1.7	
Brachiaria (<i>B. Brizantha</i>) (LOPES et al., 2010)	Forrageira		26.1	848192	26.1	848192					1.2	21	7.5	62.5	66.8	36.8	8.7	1.9	
Brachiaria (<i>B. Humicola</i>) (LOPES et al., 2010)	Forrageira		26.1	848192	26.1	848192					20.5	6.8	6.8	59.3	73.4	38.2	8.9	2.0	
Brachiaria (<i>B. Ruziz-ziensis</i>) (LOPES et al., 2010)	Forrageira		26.1	848192	26.1	848192					19.6	7.0	7.0	63.9	63.9	34.9	9.2	2.0	
Brachiaria (<i>Panicum maximum</i>) (SILVA et al., 2018)	Forrageira		26.1	848192	26.1	848192					34.38	6.13	6.13	57.17	63.49	41.13	8.28	1.74	
Brachiaria (<i>Panicum maximum</i>) (DIAS et al., 2007)	Forrageira		26.1	848192	26.1	848192					23.80	7.75	7.75	63.56	71.35	42.56	13.44	1.54	
Brachiaria (<i>Andropogon gayanus</i>) (RIBEIRO, 2019)	Forrageira		26.1	848192	26.1	848192					12	25.55	8.96	60.65	70.13	38.84	3.99	1.53	
Brachiaria (<i>Hyparrhenia rufa</i>) (Capim-gordura) (Melinis mini-tiffora) (VELOSO et al., 1982; PINTO et al., 2011)	Forrageira		26.1	848192	26.1	848192					46.66	2.66	2.66	44.9	71.7	37.2	7.5	2.2	
Forrageira			26.1	848192	26.1	848192					43.56	4.64	4.64	35	55.34	20.51	5.73	2.26	

Tabela 7.1 – Continua na próxima página

Tabela 7.1 – Continuação

Titulo e fonte do trabalho	Localidade do SAF	Coordenadas Geográficas	Temperatura Média da Localidade (°C)	Radiação Solar Méd. da Localidade (μmol m-2s-1)	Tipo	Espécie	Temperatura recomendável °C	Temperatura média recomendável °C	Radiação Solar (μmol m-2 s-1)	Radiação Solar média (μmol m-2s -1)	Matéria seca (ton/ha/ano) Forrageira	Matéria Seca (MS)(%) Forrageira	Proteína bruta(%) Forrageira	Digestibilidade in vitro (%) Forrageira	Fibra Detergente Neutro (FDN) (%) Forrageira	Fibra Detergente Ácido (FDA)(%) Forrageira	Matéria Mineral (MM)(%) Forrageira	Extrato Etéreo (EE)(%) Forrageira
PLANEJAMENTO DE UM SISTEMA AGROFLORESTAL MULTIESTRATA PARA RECOMPOSIÇÃO DE FLORESTA CLIVAR NO PARANÁ (PEREIRA et al., 2012)	Ponta Grossa -PR	25° 25' 44"S 50° 0' 21"O	Arbórea	Forrageira (JUNIOR <i>et al.</i> , 2000; FIORELLI <i>et al.</i> , 2018)	26.1	848192	19 (MILANESI, 2008)	19	20	82.33	14.57	73.02	29.44	7.21	1.17			
			Arbórea	Canela-sassaparilla (<i>Ocotea odorifera</i>)	17.4 (CLIMATE-DATA.ORG, 2021)	742168 (Agência de notícias do Paraná, 2018)	10 a 22 (RADOMSKI, BULL, 2010)	16										
			Arbórea	Espinheira-santa (<i>Maytenus ilicifolia</i>)	17.4	742168	20 a 30 (JUNIOR, GOU-LART, 2019)	25										
			Arbórea	Erva-mate (<i>Ilex paraguariensis</i>)	17.4	742168	18 (ABRÃO, 2017)	18										
			Arbórea	Pinheiro-do-Paraná (<i>Araucaria angustifolia</i>)	17.4	742168	15 a 35 (SILVA <i>et al.</i> , 2002)	25										
			Arbórea	Aroeira (<i>Schinus molle</i>)	17.4	742168	21.3 a 27.2 (EMBRAPA, 2012)	24.3	685.5 a 1142.5	914								
			Frutifera	Guabiroba (<i>Campomanesia xanthocarpa</i>)	17.4	742168	21.3 a 27.2 (EMBRAPA, 2012)	24.3	231.71	231.71								
			Frutifera	Cerejeira (<i>Eugenia involucrata</i>)	17.4	742168	21.3 a 27.2 (EMBRAPA, 2012)	24.3	231.71	231.71								
			Frutifera	Pitanga (<i>Eugenia uniflora</i>)	17.4	742168	21.3 a 27.2 (EMBRAPA, 2012)	24.3	231.71	231.71								

Tabela 7.1 – Continua na próxima página

Tabela 7.1 – Continuação

Título e fonte do trabalho	Localidade do SAF	Coordenadas Geográficas	Temperatura Média da Localidade (°C)	Radiação Solar Méd. da Localidade (μmol m-2s-1)	Tipo	Espécie	Temperatura recomendável °C	Temperatura média recomendável °C	Radiação Solar (μmol m-2 s-1)	Radiação Solar média (μmol m-2s -1)	Matéria seca (ton/ha/ano) Forrageira	Matéria Seca (MS)(%) Forrageira	Proteína bruta(%) Forrageira	Digestibilidade in vitro (%) Forrageira	Fibra Detergente Neutro (FDN) (%) Forrageira	Fibra Detergente Ácido (FDA)(%) Forrageira	Fibra Mineral (MM)(%) Forrageira	Extrato Etéreo (EE)(%) Forrageira	
SISTEMAS AGRO-FLORESTAIS EM ESPAÇOS PROTEGIDOS (Mutirão Agroflorestal, 2021; CALDEIRA, CHAVES, 2011)	Fazenda São Luiz, São Joaquim da Barra - SP	20°34'53" sul 47°51'17" oeste																	
			Forrageira	742168	17.4	742168						43.56	4.64	35	55.34	20.51	5.73	2.26	
			Forrageira	742168	17.4	742168						82.33	14.57	58.40	73.02	29.44	7.21	1.17	
			Arbórea	848192	22.5	848192	28	28											
			Arbórea	848192	22.5	848192	25	23 a 27											
			Arbórea	848192	22.5	848192	25	22 a 27											
			Arbórea	848192	22.5	848192	25	24 a 27											
			Arbórea	848192	22.5	848192	24.3	21.3 a											
			Arbórea	848192	22.5	848192	24.3	21.3 a											
			Arbórea	848192	22.5	848192	24.3	21.3 a											
			Frutífera	848192	22.5	848192	26.5	13 a 40											
							231.71	231.71											

Tabela 7.1 – Continua na próxima página

Tabela 7.1 – Continuação

Título e fonte do trabalho	Localidade do SAF	Coordenadas Geográficas	Temperatura Média da Localidade (°C)	Radiação Solar Méd. da Localidade (μmol m-2s-1)	Tipo	Espécie	Temperatura recomendável °C	Temperatura média recomendável °C	Radiação Solar (μmol m-2s-1)	Radiação Solar média (μmol m-2s-1)	Matéria seca (ton/ha/ano) Forrageira	Matéria Seca (MS)(%) Forrageira	Proteína bruta(%) Forrageira	Digestibilidade in vitro (%) Forrageira	Fibra Detergente Neutro (FDN) (%) Forrageira	Fibra Detergente Ácido (FDA)(%) Forrageira	Matéria Mineral (MM)(%) Forrageira	Extrato Etéreo (EE)(%) Forrageira
									832.56	832.56								
			Cultura anual	Mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)	22.5	848192	20 a 24 a 28 (GABRIEL et al., 2014)	24	(JU- NIOR et al., 2013)	832.56								
			Cultura anual	Milho (<i>Zea mays</i>)	22.5	848192	8 a 44 (MON-TEIRO, 2009)	26	500 a 1000 (MON-TEIRO, 2009)	750								
			Cultura anual	Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	22.5	848192	17 a 25 (MON-TEIRO, 2009)	21	1142.5 (MON-TEIRO, 2009)	914								
			Cultura anual	Mamoneira (<i>Ricinus communis</i>)	22.5	848192	28 (BEL-TRÃO et al., 2002)	28	832.56 (JU- NIOR et al., 2013)	832.56								
			Cultura anual	Banana (<i>Musa spp.</i>)	22.5	848192	15 a 35 (MON-TEIRO, 2009)	25	180 a 1.500 (MON-TEIRO, 2009)	840								
			Cultura anual	Catê (<i>Coffea spp.</i>)	22.5	848192	18 a 23 (CASE-MIRO et al., 2006)	20.5	600 a 700 (MON-TEIRO, 2009)	650								
			Cultura anual	Mamão (<i>Carica papaya</i>)	22.5	848192	22 a 26 (MOJURA, 2016)	24	832.56 (JU- NIOR et al., 2013)	832.56								
			Cultura anual	Palmito pupunha (<i>Bactris gasipaes</i>)	22.5	848192	21	21	(JU- NIOR et al., 2013)	832.56								
			Forrageira	Brachiaria (<i>B. De- cumbens</i>) (LOPES et al., 2010)	22.5	848192					5560	21.1	6.4	60.9	70.1	36.2	8.0	1.7
			Forrageira	Brachiaria (<i>B. Bri- zantha</i>) (LOPES et al., 2010)	22.5	848192						1.2	2.1	7.5	62.5	66.8	8.7	1.9

Tabela 7.1 – Continua na próxima página

Tabela 7.1 – Continuação

Titulo e fonte do trabalho	Localidade do SAF	Coordenadas Geográficas	Temperatura Média da Localidade (°C)	Radiação Solar Méd. da Localidade (μmol m-2s -1)	Tipo	Espécie	Temperatura recomendável °C	Temperatura média recomendável °C	Radiação Solar (μmol m -2 s-1)	Radiação Solar média (μmol m-2s -1)	Matéria seca (ton/ha/ano) Forrageira	Matéria Seca (MS)(%) Forrageira	Proteína bruta(%) Forrageira	Digestibilidade in vitro (%) Forrageira	Fibra Detergente Neutro (FDN) (%) Forrageira	Fibra Detergente Ácido (FDA)(%) Forrageira	Fibra Detergente (FDN+FDA)(%) Forrageira	Matéria Mineral (MM)(%) Forrageira	Extrato Etéreo (EE)(%) Forrageira
Brachiaria (<i>B. Hu- midicola</i>) (LOPES et al., 2010)			Forrageira	848192	22.5	848192					20.5	6.8	59.3	73.4	38.2	8.9	2.0		
Brachiaria (<i>B. Ruzi- ziensis</i>) (LOPES et al., 2010)			Forrageira	848192	22.5	848192					19.6	7.0	63.9	63.9	34.9	9.2	2.0		
Colonião (<i>Panicum maximum</i>) (SILVA et al., 2018)			Forrageira	848192	22.5	848192					34.38	6.13	57.17	63.49	41.13	8.28	1.74		
Colonião da Tanzânia (<i>Panicum maximum</i>) (DIAS et al., 2007)			Forrageira	848192	22.5	848192					23.80	7.75	63.56	71.35	42.56	13.44	1.54		
Capim An- dropogon (<i>Andro- pogon geyanus</i>) (RIBEIRO, 2019)			Forrageira	848192	22.5	848192					12	25.55	8.96	60.65	70.13	38.84	3.99	1.53	
Capim- Jaraguá (<i>Hypar- rhenia rufa</i>)			Forrageira	848192	22.5	848192					46.66	2.66	44.9	71.7	37.2	7.5	2.2		
Capim- gordura (<i>Melinis mini- tiflora</i>) (VEL- LOSO et al., 1982; PINTO et al., 2011)			Forrageira	848192	22.5	848192					43.56	4.64	35	55.34	20.51	5.73	2.26		
Capim tifton 85 (<i>Cynodon</i>) (JUNIOR et al., 2000; FIORELLI et al., 2018)			Forrageira	848192	22.5	848192					20	82.33	14.57	58.40	73.02	29.44	7.21	1.17	

Tabela 7.1 – Continua na próxima página

Tabela 7.1 – Continuação

Título e fonte do trabalho	Localidade do SAF	Coordenadas Geográficas	Temperatura Média da Localidade (°C)	Radiação Solar Méd. da Localidade (μmol m-2s-1)	Tipo	Espécie	Temperatura recomendável °C	Temperatura média recomendável °C	Radiação Solar (μmol m-2 s-1)	Radiação Solar média (μmol m-2s -1)	Matéria seca (ton/ha/ano) Forrageira	Matéria Seca (MS)(%) Forrageira	Proteína bruta(%) Forrageira	Digestibilidade in vitro (%) Forrageira	Fibra Detergente Neutro (FDN) (%) Forrageira	Fibra Detergente Ácido (FDA)(%) Forrageira	Fibra Mineral (MM)(%) Forrageira	Extrato Etéreo (EE)(%) Forrageira
DIVERSIDADE DE INSETOS EM ÁREAS DE PRODUÇÃO ORGÂNICA DE HORTALIÇAS PRÓXIMAS A UM SISTEMA AGROFLORESTAL NO DISTRITO FEDERAL. (PRADO; CASTRO, 2016)	Sítio raniun, Taguatinga DF	Ge- 15° 30' latitude sul e 48° 04' longitude oeste	Arborea	Baru (<i>Diploeryx alata</i>)	21.0 (CLIMATE-DATA.ORG, 2021)	954216 (GT Brasília Solar, 2016)	21.3 ^a 27.2 (EM-BRAPA, 2012)	24.3										
			Arborea	Iajobá (<i>Hymanaea courbaril</i>)	21.0	954216	21.3 ^a 27.2 (EM-BRAPA, 2012)	24.3										
			Arborea	Mutamba (<i>Guzmania ulmifolia</i>)	21.0	954216	21.3 ^a 27.2 (EM-BRAPA, 2012)	24.3										
			Frutífera	Palmeiras jucarã (<i>Euterpe Edulis</i>)	21.0	954216	15 ^a a 27 (MELO, 2002)	21	500 (MELO, 2002)	500								
			Cultura anual	Banana (<i>Musa spp.</i>)	21.0	954216	15 ^a a 35 (MON-TEIRO, 2009)	25	180 ^a a 1.500 (MON-TEIRO, 2009)	840								
			Cultura anual	Hortaliças folhosas alface (<i>Lactuca sativa</i> Linne)	21.0	954216	20 ^a a 32 (SANTOS et al., 2010)	26	231.71 (JUNIOR et al., 2013)	231.71								
			Cultura anual	Milho (<i>Zea mays</i>)	21.0	954216	8 ^a a 44 (MON-TEIRO, 2009)	26	500 ^a a 1000 (MON-TEIRO, 2009)	750								
			Forrageira	Brachiaria (<i>B. Decumbens</i>)	21.0	954216					5560	21.1	6.4	60.9	70.1	36.2	8.0	1.7
			Forrageira	Brachiaria (<i>B. Brizantha</i>)	21.0	954216												
			Forrageira	Brachiaria (<i>B. Hybridata</i>)	21.0	954216												
			Forrageira	Brachiaria (<i>B. Hirtella</i>)	21.0	954216												
			Forrageira	Brachiaria (<i>B. Midicoma</i>)	21.0	954216												
			Forrageira	Brachiaria (<i>B. Pastureira</i>)	21.0	954216												

Tabela 7.1 – Continua na próxima página

Tabela 7.1 – Continuação

Título e fonte do trabalho	Localidade do SAF	Coordenadas Geográficas	Temperatura Média da Localidade (°C)	Radiação Solar Méd. da Localidade (μmol m-2s-1)	Tipo	Espécie	Temperatura recomendável °C	Temperatura recomendável °C	Radiação Solar (μmol m-2 s-1)	Radiação Solar média (μmol m-2s -1)	Matéria seca (ton/ha/ano) Forrageira	Matéria Seca (MS)(%) Forrageira	Proteína bruta(%) Forrageira	Digestibilidade in vitro (%) Forrageira	Fibra Detergente Neutro (FDN) (%) Forrageira	Fibra Detergente Ácido (FDA)(%) Forrageira	Matéria Mineral (MM)(%) Forrageira	Extrato Etéreo (EE)(%) Forrageira		
AVALIAÇÃO DA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS COMO ALTERNATIVA A AGRICULTURA DE DERRUBA E QUEIMA: ESTUDO DE CASO EM MAMBÁI, GOIÁS (REIS, 2014)	Mambai - GO	14°29'38"S 46°08'84" W	e	Arborea (<i>Diplospora atata</i>)	22.3 (CLIMATE-DATA.ORG, 2021)	954216	21.3 ^a 27.2 (EMBRAPA, 2012)	24.3	20	82.33	14.57	73.02	29.44	58.40	71.7	37.2	7.5	2.2	1.17	
																				Forrageira (<i>Brachiaria (B. Ruiz-LOPES et al., 2010)</i>)
																				Forrageira (<i>Panicum maximum (SILVA et al., 2018)</i>)
																				Forrageira (<i>Panicum maximum (DIAS et al., 2007)</i>)
																				Forrageira (<i>Pogon (Andro-gavanus) (RIBEIRO, 2019)</i>)
																				Forrageira (<i>Hyparrhenia rufa</i>)
																				Forrageira (<i>Melinis minutiflora</i>)
																				Forrageira (<i>Cynodon</i>)
																				Forrageira (JUNIOR et al., 2000; FIORELLI et al., 2018)
																				Forrageira (<i>Brachiaria (B. Ruiz-LOPES et al., 2010)</i>)
Forrageira (<i>Panicum maximum (SILVA et al., 2018)</i>)																				
Forrageira (<i>Panicum maximum (DIAS et al., 2007)</i>)																				
Forrageira (<i>Pogon (Andro-gavanus) (RIBEIRO, 2019)</i>)																				
Forrageira (<i>Hyparrhenia rufa</i>)																				
Forrageira (<i>Melinis minutiflora</i>)																				
Forrageira (<i>Cynodon</i>)																				
Forrageira (JUNIOR et al., 2000; FIORELLI et al., 2018)																				

Tabela 7.1 – Continua na próxima página

Tabela 7.1 – Continuação

Coordenadas Geográficas	Localidade do SAF	Título e fonte do trabalho	Temperatura Média da Localidade (°C)	Radiação Solar Méd. da Localidade (μmol m-2s-1)	Tipo	Espécie	Temperatura recomendável °C	Temperatura média recomendável °C	Radiação Solar (μmol m-2s-1)	Radiação Solar média (μmol m-2s-1)	Matéria seca (ton/ha/ano) Forrageira	Matéria Seca (MS)(%) Forrageira	Proteína bruta(%) Forrageira	Digestibilidade in vitro (%) Forrageira	Fibra Detergente Neutro (FDN) (%) Forrageira	Fibra Detergente Ácido (FDA)(%) Forrageira	Matéria Mineral (MM)(%) Forrageira	Extrato Etéreo (EE)(%) Forrageira
		Pequi (<i>Caryocar brasiliense camb</i>)	Arborea		22.3	954216	21.3 a	27.2 (EM-BRAPA, 2012)	832.56 (JU-NIOR et al., 2013)	832.56								
		Aroeira (<i>Myrta-crodrun urundeuva</i>)	Arborea		22.3	954216	15 a 35 (SILVA et al., 2002)	25	832.56 (JU-NIOR et al., 2013)	832.56								
		Mogno-africano (<i>Kluya spp.</i>)	Arborea		22.3	954216	24 a 27 (COR-DEIRO et al., 2020)	25.5	832.56 (JU-NIOR et al., 2013)	832.56								
		Acácia (<i>Acacia mangium Willd</i>)	Arborea		22.3	954216	12 a 34 (Embrapa Amazônia Ocidental, 2003)	23	832.56 (JU-NIOR et al., 2013)	832.56								
		Eucalipto (<i>Eucalyptus spp.</i>)	Arborea		22.3	954216	8 a 25 a 36 (MON-TEIRO, 2009)	23	832.56 (JU-NIOR et al., 2013)	832.56								
		Mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)	Cultura anual		22.3	954216	20 a 24 a 28 (GABRIEL et al., 2014)	24	832.56 (JU-NIOR et al., 2013)	832.56								
		Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	Cultura anual		22.3	954216	17 a 25 (MON-TEIRO, 2009)	21	832.56 (JU-NIOR et al., 2013)	832.56								
		Milho (<i>Zea mays</i>)	Cultura anual		22.3	954216	8 a 44 (MON-TEIRO, 2009)	26	832.56 (JU-NIOR et al., 2013)	832.56								
		Arroz (<i>Oryza sativa</i>)	Cultura anual		22.3	954216	20 a 35 (MON-TEIRO, 2009)	27.5	832.56 (JU-NIOR et al., 2013)	832.56								
		melancia (<i>Citrullus lanatus</i>)	Cultura anual		22.3	954216	18 a 30 (RE-ZENDE et al., 2010)	24	832.56 (JU-NIOR et al., 2013)	832.56								
		Abóbora (<i>Cucurbita moschata</i>)	Cultura anual		22.3	954216	20 a 27 (RAMOS et al., 2010)	23.5	832.56 (JU-NIOR et al., 2013)	832.56								

Tabela 7.1 – Continua na próxima página

Tabela 7.1 – Continuação

Título e fonte do trabalho	Localidade do SAF	Coordenadas Geográficas	Temperatura Média da Localidade (°C)	Radição Solar Méd. da Localidade (μmol m-2s-1)	Tipo	Espécie	Temperatura recomendável °C	Temperatura média recomendável °C	Radição Solar (μmol m-2 s-1)	Radição Solar média (μmol m-2s -1)	Matéria seca (ton/ha/ano) Forrageira	Matéria Seca (MS)(%) Forrageira	Proteína bruta(%) Forrageira	Digestibilidade in vitro (%) Forrageira	Fibra Detergente Neutro (FDN) (%) Forrageira	Fibra Detergente Ácido (FDA)(%) Forrageira	Fibra Mineral (MM)(%) Forrageira	Extrato Etéreo (EE)(%) Forrageira								
Avaliação Biométrica de Plantas de Açaí (Euterpe oleracea) em um Sistema Agroflorestal na Pré-Amazônia Maranhense (SAGRILLO; SERAFIM, 2009)	Luis Domingues MA	Do-45o53'50"W; 1o19'26"S; 8 m	Arborea	Forrageira (Clitorea fairchildiana)	26,9 (CLIMATE-DATA.ORG, 2021)	848192	20 a 30 (ALVES et al., 2012)	25	954216	22,3	23,80	7,75	63,56	42,56	13,44	1,54	23,80	7,75	63,56							
																				20	82,33	14,57	73,02	29,44	7,21	1,17
Avaliação Biométrica de Plantas de Açaí (Euterpe oleracea) em um Sistema Agroflorestal na Pré-Amazônia Maranhense (SAGRILLO; SERAFIM, 2009)	Luis Domingues MA	Do-45o53'50"W; 1o19'26"S; 8 m	Arborea	Forrageira (Cytisus bidentatus)	26,9 (CLIMATE-DATA.ORG, 2021)	848192	20 a 30 (ALVES et al., 2012)	25	954216	22,3	23,80	7,75	63,56	42,56	13,44	1,54	23,80	7,75	63,56							
																				20	82,33	14,57	73,02	29,44	7,21	1,17
Avaliação Biométrica de Plantas de Açaí (Euterpe oleracea) em um Sistema Agroflorestal na Pré-Amazônia Maranhense (SAGRILLO; SERAFIM, 2009)	Luis Domingues MA	Do-45o53'50"W; 1o19'26"S; 8 m	Arborea	Forrageira (Crotalaria retusa)	26,9 (CLIMATE-DATA.ORG, 2021)	848192	20 a 30 (ALVES et al., 2012)	25	954216	22,3	23,80	7,75	63,56	42,56	13,44	1,54	23,80	7,75	63,56							
																				20	82,33	14,57	73,02	29,44	7,21	1,17

Tabela 7.1 – Continua na próxima página

Tabela 7.1 – Continuação

Titulo e fonte do trabalho	Localidade do SAF	Coordenadas Geográficas	Temperatura Média da Localidade (°C)	Radiação Solar Méd. da Localidade (μmol m-2s-1)	Tipo	Espécie	Temperatura recomendável °C	Temperatura média recomendável °C	Radiação Solar (μmol m-2 s-1)	Radiação Solar média (μmol m-2s -1)	Matéria seca (ton/ha/ano) Forrageira	Matéria Seca (MS)(%) Forrageira	Proteína bruta(%) Forrageira	Digestibilidade in vitro (%) Forrageira	Fibra Detergente Neutro (FDN) (%) Forrageira	Fibra Detergente Ácido (FDA)(%) Forrageira	Fibra Mineral (MM)(%) Forrageira	Extrato Etéreo (EE)(%) Forrageira	
Cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	Frutífera		26,9	848192	26,9	848192	21,6 a 27,5 (GONDIM et al., 2001)	24,6	231,71 (JUNIOR et al., 2013)	231,71									
Açaí (<i>Euterpe oleracea</i>)	Frutífera		26,9	848192	26,9	848192	22 a 27 (NOGUEIRA et al., 2005)	24,5	231,71 (JUNIOR et al., 2013)	231,71									
Cajá (<i>Spondias mombin</i>)	Frutífera		26,9	848192	26,9	848192	23,0 a 24,5 (SANTOS-SEREIO et al., 2009)	27,8	832,56 (JUNIOR et al., 2013)	832,56									
Brachiaria (<i>B. Decumbens</i>)	Forrageira		26,9	848192	26,9	848192					5560	21,1	6,4	60,9	70,1	36,2	8,0	1,7	
Brachiaria (<i>B. Brizantha</i>)	Forrageira		26,9	848192	26,9	848192					1,2	21	7,5	62,5	66,8	36,8	8,7	1,9	
Brachiaria (<i>B. Hybridus</i>)	Forrageira		26,9	848192	26,9	848192													
Brachiaria (<i>B. Multifida</i>)	Forrageira		26,9	848192	26,9	848192													
Brachiaria (<i>B. Zizansis</i>)	Forrageira		26,9	848192	26,9	848192													
Colonião (<i>Panicum maximum</i>)	Forrageira		26,9	848192	26,9	848192													
Colonião da Tanzânia (<i>Panicum maximum</i>)	Forrageira		26,9	848192	26,9	848192													
Capim An-dropogon (<i>Andropogon gayanus</i>)	Forrageira		26,9	848192	26,9	848192													
(RIBEIRO, 2019)											12	25,55	8,96	60,65	70,13	38,84	3,99	1,53	

Tabela 7.1 – Continua na próxima página

Tabela 7.1 – Continuação

Coordenadas Geográficas	Localidade do SAF	Título e fonte do trabalho	Radição Solar Méd. da Localidade (μmol m-2s -1)	Temperatura Média da Localidade (°C)	Tipo	Espécie	Temperatura recomendável °C	Radição Solar (μmol m -2 s-1)	Temperatura média recomendável °C	Radição Solar (μmol m -2 s-1)	Matéria seca (ton/ha/ano) Forrageira	Matéria Seca (MS)(%) Forrageira	Proteína bruta(%) Forrageira	Digestibilidade in vitro (%) Forrageira	Fibra Detergente Neutro (FDN) (%) Forrageira	Fibra Detergente Ácido (FDA)(%) Forrageira	Matéria Mineral (MM)(%) Forrageira	Extrato Etéreo (EE)(%) Forrageira
		Capim-Jaraguá Forrageira (<i>Hyparrhenia rufa</i>) Capim-gordura (<i>Melinis mima-tiffora</i>) Forrageira (VELOSO et al., 1982; PINTO et al., 2011) Capim tifton 85 (Cynodon) Forrageira (JUNIOR et al., 2000; FIORELLI et al., 2018)	26.9	26.9	26.9	848192		848192		848192	46.66	46.66	2.66	44.9	71.7	37.2	7.5	2.2
											43.56	43.56	4.64	35	55.34	20.51	5.73	2.26
											82.33	82.33	14.57	58.40	73.02	29.44	7.21	1.17

APÊNDICE B — Complemento ao Capítulo II

Este apêndice é um complemento ao Capítulo II, nele consta a Tabela dos índices utilizados no modelo matemático do Capítulo II, obtidos a partir dos cálculos dos coeficientes. O dados brutos utilizados para o cálculo estão no Apêndice I.

Este apêndice é também a Tabela de posição de cada espécie para formação das tabelas de resultado de cada cenário do Capítulo II. Esta tabela está compilada com todos os 14 cenários juntos.

Tabela 7.2: Tabela dos Índices utilizado no modelo do Capítulo II.

Localidade do SAF	Tipo	Espécie	Adaptação climática	Exigência da luz solar	Valor nutricional	Conteúdo proteico	Digestibilidade	Adaptação as condições locais
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	Arbórea	Alecrim (<i>Holocalyx balansae</i>)	0.964125560538117					0.964125560538117
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	Arbórea	Amendoim-bravo (<i>Pterogyne nitens</i>)	1.34529147982063					1.34529147982063
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	Arbórea	Aroeira (<i>Myracrodruon urundeuva Allemão</i>)	1.12107623318386					1.12107623318386
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	Arbórea	Candeia (<i>Gochnatia polymorpha</i>)	0.977578475336323					0.977578475336323
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	Arbórea	Candiúva (<i>Trema micrantra</i>)	1.23318385650224					1.23318385650224
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	Arbórea	Jacarandá (<i>Jacaranda cuspidifolia</i>)	0.986547085201794					0.986547085201794
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	Arbórea	Cedro (<i>Cedrela fissilis</i>)	0.874439461883408					0.874439461883408
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	Arbórea	Chico-magro (<i>Guzuma ulmifolia</i>)	1.00448430493274					1.00448430493274
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	Arbórea	Fumo-bravo (<i>Solanum mauritanium</i>)	1.08968609865471					1.08968609865471
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	Arbórea	Ipê-amarelo (<i>Tabebuia serratifolia</i>)	1.08968609865471					1.08968609865471
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	Arbórea	Ipê-roxo (<i>Tabebuia impetiginosa</i>)	1.08968609865471					1.08968609865471
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	Arbórea	Jatobá (<i>Hymenaea courbaril</i>)	1.08968609865471					1.08968609865471
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	Frutifera	Goiaba (<i>Psidium guajava</i>)	1.23318385650224	0.872506853794109				1.23318385650224
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	Frutifera	Ingá-feijão (<i>Inga marginata</i>)	1.08968609865471	0.872506853794109				1.08968609865471
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	Frutifera	Jenipapo (<i>Genipa americana</i>)	1.08968609865471	0.872506853794109				1.08968609865471
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	Frutifera	Manga (<i>Mangifera indica</i>)	1.05381165919283	0.872506853794109				1.05381165919283
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	Frutifera	Pitanga (<i>Eugenia uniflora</i>)	1.08968609865471	0.242827619742281				1.08968609865471
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	Frutifera	tamarindo	1.08968609865471	0.872506853794109				1.08968609865471
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	Cultura anual	Abacaxi (<i>Ananas comosus</i>)	1.21076233183856	0.872506853794109				1.21076233183856
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	Cultura anual	Feijão-caupi (<i>Vigna unguiculata</i>)	1.16591928251121	0.957854406130268				1.16591928251121
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	Cultura anual	mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)	1.0762331838565	0.872506853794109				1.0762331838565
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	Cultura anual	quiabo (<i>Abelmoschus esculentus</i>)	1.09865470852018	0.242827619742281				1.09865470852018
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	Cultura anual	abóbora (<i>Cucurbita moschata</i>)	1.05381165919283	0.872506853794109				1.05381165919283
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	Cultura anual	Milho (<i>Zea mays</i>)	1.16591928251121	0.785985563017178				1.16591928251121
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	Cultura anual	Banana (<i>Musa spp.</i>)	1.08071748878924	0.88030383057924				1.08071748878924
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	FORAGEIRA	Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>)			0.1827	0.7327	0.7	
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	FORAGEIRA	Crotalária juncea (<i>Crotalaria juncea</i>)			0.1816	0.7816	0.58	
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	FORAGEIRA	Guandu (<i>Cajanus cajan</i>)			0.1301	0.8288	0.6153	
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	FORAGEIRA	Feijão-de-porco (<i>Cana-valia ensiformes</i>)			0.2588	0.6488	0.41	
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	FORAGEIRA	Brachiária (<i>B. Decumbens</i>)			138	839	609	
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	FORAGEIRA	Brachiária (<i>B. Brizantha</i>)			151	819	625	
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	FORAGEIRA	Brachiária (<i>B. humidicola</i>)			0.08899999999999999	823	593	
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	FORAGEIRA	Brachiária (<i>B. Ruzizien-sis</i>)			179	818	639	
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	FORAGEIRA	Colonião comum (<i>Panicum maximum</i>)			0.2036	0.8385	0.5717	
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	FORAGEIRA	C. Tanzânia (<i>Panicum maximum</i>)			0.0592	0.7727	0.6356	
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	FORAGEIRA	Capim Andropogon (<i>Andropogon gayanus</i>)			0.1539	0.8552	0.6065	
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	FORAGEIRA	Capim-Jaraguá (<i>Hyparrhenia rufa</i>)			0.1594	0.8764	449	
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	FORAGEIRA	Capim-gordura (<i>Melinis minutiflora</i>)			0.3203	0.8737	0.35	

Tabela 7.2 – Continua na próxima página

Tabela 7.2 – Continuação

Localidade do SAF	Tipo	Espécie	Adaptação climática	Exigência da luz solar	Valor nutricional	Conteúdo proteico	Digestibilidade	Adaptação as condições locais
Assentamento Itamarati Ponta Porã - MS	FORAGEIRA	Capim tifton 85 (<i>Cynodon</i>)			0.0403	0.7705	584	
Palmas - TO	Arbórea	Eucalipto (<i>Eucalyptus spp.</i>)	0.861423220973783					0.861423220973783
Palmas - TO	Arbórea	Moringa (<i>Moringa oleifera</i>)	0.936329588014981					0.936329588014981
Palmas - TO	Frutífera	Palmeiras (<i>Cocos nucifera</i>)	0.786516853932584	0.589489172262884				0.786516853932584
Palmas - TO	Frutífera	Cacau (<i>Theobroma cacao</i>)	0.917602996254682	1.06108051007319				0.917602996254682
Palmas - TO	Frutífera	cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	0.921348314606742	0.273181072210066				0.921348314606742
Palmas - TO	Cultura anual	Tomate-cereja (<i>Solanum lycopersicum var. cerasiforme</i>)	0.842696629213483	0.273181072210066				0.842696629213483
Palmas - TO	Cultura anual	Hortaliças folhosas, alface (<i>Lactuca sativa Linné</i>)	0.940074906367041	0.273181072210066				0.940074906367041
Palmas - TO	Cultura anual	mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)	0.865168539325843	0.981570210518373				0.865168539325843
Palmas - TO	Cultura anual	Milho (<i>Zea mays</i>)	0.940074906367041	0.884233758394326				0.940074906367041
Palmas - TO	Cultura anual	Banana (<i>Musa spp.</i>)	0.902621722846442	0.990341809401645				0.902621722846442
Palmas - TO	Cultura anual	café (<i>Coffea spp.</i>)	0.767790262172285	0.766335923941749				0.767790262172285
Palmas - TO	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Decumbens</i>)			138	839	609	
Palmas - TO	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Brizantha</i>)			151	819	625	
Palmas - TO	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Humidicola</i>)			0.08899999999999999	823	593	
Palmas - TO	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Ruzizensis</i>)			179	818	639	
Palmas - TO	FORAGEIRA	Colonião (<i>Panicum maximum</i>)			0.2036	0.8385	0.5717	
Palmas - TO	FORAGEIRA	Colonião da Tanzânia (<i>Panicum maximum</i>)			0.0592	0.7727	0.6356	
Palmas - TO	FORAGEIRA	Capim Andropogon (<i>Andropogon gayanus</i>)			0.1539	0.8552	0.6065	
Palmas - TO	FORAGEIRA	Capim-Jaraguá (<i>Hyparrhenia rufa</i>)			0.1594	0.8764	449	
Palmas - TO	FORAGEIRA	Capim-gordura (<i>Melinis minutiflora</i>)			0.3203	0.8737	0.35	
Palmas - TO	FORAGEIRA	Capim tifton 85 (<i>Cynodon</i>)			0.0403	0.7705	584	
Filadélfia - TO	Arbórea	Cajá (<i>spondias lutea</i>)	0.888059701492537	0.981570210518373				0.888059701492537
Filadélfia - TO	Frutífera	Tangerina (<i>Citrus reticulata</i>)	1.02611940298507	1.06108051007319				1.02611940298507
Filadélfia - TO	Frutífera	Goiaba (<i>Psidium guajava</i>)	1.02611940298507	0.981570210518373				1.02611940298507
Filadélfia - TO	Frutífera	Acerola (<i>Malpighia puniceifolia</i>)	0.876865671641791	0.981570210518373				0.876865671641791
Filadélfia - TO	Arbórea	Cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	0.917910447761194	0.273181072210066				0.917910447761194
Filadélfia - TO	Frutífera	Açaí (<i>Euterpe oleracea</i>)	0.914179104477612	0.273181072210066				0.914179104477612
Filadélfia - TO	Cultura anual	Maracujá amarelo (<i>Passiflora edulis</i>)	0.988805970149254	0.981570210518373				0.988805970149254
Filadélfia - TO	Cultura anual	melancia (<i>Citrullus lanatus</i>)	0.895522388059702	0.981570210518373				0.895522388059702
Filadélfia - TO	Cultura anual	Mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)	0.895522388059702	0.981570210518373				0.895522388059702
Filadélfia - TO	Cultura anual	Melão (<i>Cucumis melo</i>)	1.0634328358209	0.981570210518373				1.0634328358209
Filadélfia - TO	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Decumbens</i>)			138	839	609	
Filadélfia - TO	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Brizantha</i>)			151	819	625	
Filadélfia - TO	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Humidicola</i>)			0.08899999999999999	823	593	
Filadélfia - TO	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Ruzizensis</i>)			179	818	639	
Filadélfia - TO	FORAGEIRA	Colonião (<i>Panicum maximum</i>)			0.2036	0.8385	0.5717	
Filadélfia - TO	FORAGEIRA	Colonião da Tanzânia (<i>Panicum maximum</i>)			0.0592	0.7727	0.6356	
Filadélfia - TO	FORAGEIRA	Capim Andropogon (<i>Andropogon gayanus</i>)			0.1539	0.8552	0.6065	
Filadélfia - TO	FORAGEIRA	Capim-Jaraguá (<i>Hyparrhenia rufa</i>)			0.1594	0.8764	449	
Filadélfia - TO	FORAGEIRA	Capim-gordura (<i>Melinis minutiflora</i>)			0.3203	0.8737	0.35	
Filadélfia - TO	FORAGEIRA	Capim tifton 85 (<i>Cynodon</i>)			0.0403	0.7705	584	
Sinop - MT	Arbórea	Eucalipto (<i>Eucalyptus spp.</i>)	0.905511811023622					0.905511811023622
Sinop - MT	Arbórea	Acácia (<i>Acacia mangium</i>)	0.905511811023622					0.905511811023622
Sinop - MT	Arbórea	Taxi branco (<i>Tachigali vulgaris</i>)	1.04330708661417					1.04330708661417
Sinop - MT	Arbórea	Casuarina (<i>Casuarina equisetifolia</i>)	0.866141732283465					0.866141732283465

Tabela 7.2 – Continua na próxima página

Tabela 7.2 – Continuação

Localidade do SAF	Tipo	Espécie	Adaptação climática	Exigência da luz solar	Valor nutricional	Conteúdo proteico	Digestibilidade	Adaptação as condições locais
Sinop - MT	Cultura anual	Mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)	0.94488188976378	0.981570210518373				0.94488188976378
Sinop - MT	Cultura anual	Abóbora (<i>Cucurbita moschata</i>)	0.925196850393701	0.981570210518373				0.925196850393701
Sinop - MT	Cultura anual	Banana da Terra Banana (<i>Musa spp.</i>)	0.984251968503937	0.990341809401645				0.984251968503937
Sinop - MT	Cultura anual	Banana da terra d'angola (<i>Musa spp.</i>)	0.984251968503937	0.990341809401645				0.984251968503937
Sinop - MT	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Decumbens</i>)			138	839	609	
Sinop - MT	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Brizantha</i>)			151	819	625	
Sinop - MT	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Humidicola</i>)			0.08899999999999999	823	593	
Sinop - MT	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Ruzizensis</i>)			179	818	639	
Sinop - MT	FORAGEIRA	Colonião (<i>Panicum maximum</i>)			0.2036	0.8385	0.5717	
Sinop - MT	FORAGEIRA	Colonião da Tanzânia (<i>Panicum maximum</i>)			0.0592	0.7727	0.6356	
Sinop - MT	FORAGEIRA	Capim Andropogon (<i>Andropogon gayanus</i>)			0.1539	0.8552	0.6065	
Sinop - MT	FORAGEIRA	Capim-Jaraguá (<i>Hyparrhenia rufa</i>)			0.1594	0.8764	449	
Sinop - MT	FORAGEIRA	Capim-gordura (<i>Melinis minutiflora</i>)			0.3203	0.8737	0.35	
Sinop - MT	FORAGEIRA	Capim tifton 85 (<i>Cynodon</i>)			0.0403	0.7705	584	
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	Arbórea	Acácia (<i>Acacia mangium</i>)	1.03139013452915					1.03139013452915
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	Arbórea	Angico (<i>Anadenanthera sp</i>)	1.00448430493274					1.00448430493274
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	Arbórea	Gliricídia (<i>Gliricidia sepium</i>)	1.08968609865471					1.08968609865471
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	Arbórea	Moringa (<i>Moringa oleifera</i>)	1.12107623318386					1.12107623318386
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	Arbórea	Eucalipto (<i>Eucalyptus spp.</i>)	1.03139013452915					1.03139013452915
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	Arbórea	Jatobá (<i>Hymenaea courbaril</i>)	1.08968609865471					1.08968609865471
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	Arbórea	Nim indiano (<i>Azadirachia indica</i>)	1.18834080717489					1.18834080717489
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	Arbórea	Jenipapo (<i>Genipa americana</i>)	1.08968609865471					1.08968609865471
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	Arbórea	Ipê-amarelo (<i>Tabebuia serratifolia</i>)	1.08968609865471					1.08968609865471
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	Arbórea	Jurubeba (<i>Solanum paniculatum</i>)	1.08968609865471					1.08968609865471
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	Frutifera	Aratium-do-campo (<i>Annona coriacea</i>)	1.14349775784753	0.242827619742281				1.14349775784753
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	Frutifera	Laranja (<i>Citrus sp</i>)	1.23318385650224	0.943182675620614				1.23318385650224
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	Frutifera	Acerola (<i>Malpighia punicifolia</i>)	1.05381165919283	0.872506853794109				1.05381165919283
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	Cultura anual	Abacaxi (<i>Ananas comosus</i>)	1.21076233183856	0.872506853794109				1.21076233183856
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	Cultura anual	Quiabo (<i>Abelmoschus esculentus</i>)	1.09865470852018	0.242827619742281				1.09865470852018
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	Cultura anual	Abóbora (<i>Cucurbita moschata</i>)	1.05381165919283	0.872506853794109				1.05381165919283
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	Cultura anual	Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	0.941704035874439	0.957854406130268				0.941704035874439
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	Cultura anual	Mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)	1.0762331838565	0.872506853794109				1.0762331838565
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	Cultura anual	Banana (<i>Musa spp.</i>)	1.12107623318386	0.88030383057924				1.12107623318386
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	Cultura anual	Milho (<i>Zea mays</i>)	1.16591928251121	0.785985563017178				1.16591928251121
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	Cultura anual	Hortaliças folhosas alface (<i>Lactuca sativa</i>)	1.16591928251121	0.242827619742281				1.16591928251121
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	FORAGEIRA	Crotalária juncea (<i>Crotalaria juncea</i>)			0.1816	0.7816	0.58	

Tabela 7.2 – Continua na próxima página

Tabela 7.2 – Continuação

Localidade do SAF	Tipo	Espécie	Adaptação climática	Exigência da luz solar	Valor nutricional	Conteúdo proteico	Digestibilidade	Adaptação as condições locais
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	FORAGEIRA	Guandu (<i>Cajanus cajan</i>)			0.1301	0.8288	0.6153	
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	FORAGEIRA	feijão-de-porco (<i>Canavalia ensiformes</i>)			0.2588	0.6488	0.41	
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	FORAGEIRA	Mucuna-preta (<i>Mucuna pruriens</i>)			-	723	0.7	
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	FORAGEIRA	Feijão-bravo (<i>Capparis flexuosa</i>)			0.1445	0.7845	0.7142	
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Decumbens</i>)			138	839	609	
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Brizantha</i>)			151	819	625	
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Humidicola</i>)			0.08899999999999999	823	593	
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Ruzizensis</i>)			179	818	639	
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	FORAGEIRA	Colonião (<i>Panicum maximum</i>)			0.2036	0.8385	0.5717	
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	FORAGEIRA	Colonião da Tanzânia (<i>Panicum maximum</i>)			0.0592	0.7727	0.6356	
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	FORAGEIRA	Capim Andropogon (<i>Andropogon gayanus</i>)			0.1539	0.8552	0.6065	
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	FORAGEIRA	Capim-Jaraguá (<i>Hyparrhenia rufa</i>)			0.1594	0.8764	449	
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	FORAGEIRA	Capim-gordura (<i>Melinis minutiflora</i>)			0.3203	0.8737	0.35	
Assentamento Lagoa Grande. Dourados - MS	FORAGEIRA	Capim tifton 85 (<i>Cynodon</i>)			0.0403	0.7705	584	
Machado - MG	ARBÓREA	Eucalipto (<i>Eucalyptus spp.</i>)	1.14427860696517					1.14427860696517
Machado - MG	FRUTÍFERA	Manga (<i>Mangifera indica</i>)	1.16915422885572	0.981570210518373				1.16915422885572
Machado - MG	FRUTÍFERA	Acerola (<i>Malpighia punicifolia</i>)	1.16915422885572	0.981570210518373				1.16915422885572
Machado - MG	FRUTÍFERA	Goitaba (<i>Psidium guajava</i>)	1.3681592039801	0.981570210518373				1.3681592039801
Machado - MG	FRUTÍFERA	Abacate (<i>Persea americana</i>)	1.318407960199	0.273181072210066				1.318407960199
Machado - MG	CULTURA ANUAL	Café (<i>Coffea spp.</i>)	1.01990049751244	0.766335923941749				1.01990049751244
Machado - MG	CULTURA ANUAL	Banana (<i>Musa spp.</i>)	1.24378109452736	0.990341809401645				1.24378109452736
Machado - MG	CULTURA ANUAL	Arroz (<i>Oryza sativa</i>)	1.3681592039801	1.30656738097035				1.3681592039801
Machado - MG	CULTURA ANUAL	Milho (<i>Zea mays</i>)	1.29353233830846	0.884233758394326				1.29353233830846
Machado - MG	CULTURA ANUAL	Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	1.04477611940298	1.07758620689655				1.04477611940298
Machado - MG	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Decumbens</i>)			138	839	609	
Machado - MG	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Brizantha</i>)			151	819	625	
Machado - MG	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Humidicola</i>)			0.08899999999999999	823	593	
Machado - MG	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Ruzizensis</i>)			179	818	639	
Machado - MG	FORAGEIRA	Colonião (<i>Panicum maximum</i>)			0.2036	0.8385	0.5717	
Machado - MG	FORAGEIRA	Colonião da Tanzânia (<i>Panicum maximum</i>)			0.0592	0.7727	0.6356	
Machado - MG	FORAGEIRA	Capim Andropogon (<i>Andropogon gayanus</i>)			0.1539	0.8552	0.6065	
Machado - MG	FORAGEIRA	Capim-Jaraguá (<i>Hyparrhenia rufa</i>)			0.1594	0.8764	449	
Machado - MG	FORAGEIRA	Capim-gordura (<i>Melinis minutiflora</i>)			0.3203	0.8737	0.35	
Machado - MG	FORAGEIRA	Capim tifton 85 (<i>Cynodon</i>)			0.0403	0.7705	584	
Conceição do Meida - BA	ARBÓREA	Jacarandá (<i>Jacaranda cuspidifolia</i>)	0.916666666666667					0.916666666666667
Conceição do Meida - BA	ARBÓREA	Açoita cavalo (<i>Luehea divaricata</i>)	1.25					1.25
Conceição do Meida - BA	ARBÓREA	Pau-cigarra (<i>Senna multijuga</i>)	0.95					0.95
Conceição do Meida - BA	ARBÓREA	Aroeira (<i>Myracrodruon urundeuva</i>)	1.041666666666667					1.041666666666667
Conceição do Meida - BA	ARBÓREA	Ipê-amarelo (<i>Tabebuia serratifolia</i>)	1.0125					1.0125
Conceição do Meida - BA	ARBÓREA	Bálsamo (<i>Myroxylon peruiferum</i>)	1.0125					1.0125

Tabela 7.2 – Continua na próxima página

Tabela 7.2 – Continuação

Localidade do SAF	Tipo	Espécie	Adaptação climática	Exigência da luz solar	Valor nutricional	Conteúdo proteico	Digestibilidade	Adaptação as condições locais
Conceição meida - BA	do Al-	Arbórea	Sucupira (<i>Acosmium subelegans</i>)	1.0125				1.0125
Conceição meida - BA	do Al-	Arbórea	Nim indiano (<i>Azadirachia indica</i>)	1.10416666666667				1.10416666666667
Conceição meida - BA	do Al-	Frutífera	Acerola (<i>Malpighia puniceifolia</i>)	0.97916666666667	0.872506853794109			0.97916666666667
Conceição meida - BA	do Al-	Frutífera	Graviola (<i>Annona muricata</i>)	1.0625	0.242827619742281			1.0625
Conceição meida - BA	do Al-	Frutífera	Siriguela (<i>Spondias purpurea</i>)	1.0125	0.872506853794109			1.0125
Conceição meida - BA	do Al-	Frutífera	Tamarindo (<i>Tamarindus indica</i>)	1.0125	0.872506853794109			1.0125
Conceição meida - BA	do Al-	Frutífera	Palmeiras (<i>Cocos nucifera</i>)	875	0.523990375344786			875
Conceição meida - BA	do Al-	Frutífera	Jabuticaba (<i>Myrciaria cauliflora</i>)	0.645833333333333	0.242827619742281			0.645833333333333
Conceição meida - BA	do Al-	Frutífera	Manga (<i>Mangifera indica</i>)	0.97916666666667	0.872506853794109			0.97916666666667
Conceição meida - BA	do Al-	Frutífera	Caju (<i>Anacardium occidentale</i>)	1.10416666666667	0.872506853794109			1.10416666666667
Conceição meida - BA	do Al-	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Decumbens</i>)			138	839	609
Conceição meida - BA	do Al-	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Brizantha</i>)			151	819	625
Conceição meida - BA	do Al-	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Humidicola</i>)			0.0889999999999999	823	593
Conceição meida - BA	do Al-	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Ruzizensis</i>)			179	818	639
Conceição meida - BA	do Al-	FORAGEIRA	Colonião (<i>Panicum maximum</i>)			0.2036	0.8385	0.5717
Conceição meida - BA	do Al-	FORAGEIRA	Colonião da Tanzânia (<i>Panicum maximum</i>)			0.0592	0.7727	0.6356
Conceição meida - BA	do Al-	FORAGEIRA	Capim Andropogon (<i>Andropogon gayanus</i>)			0.1539	0.8552	0.6065
Conceição meida - BA	do Al-	FORAGEIRA	Capim-Jaraguá (<i>Hyparrhenia rufa</i>)			0.1594	0.8764	449
Conceição meida - BA	do Al-	FORAGEIRA	Capim-gordura (<i>Melinis minutiflora</i>)			0.3203	0.8737	0.35
Conceição meida - BA	do Al-	FORAGEIRA	Capim tifton 85 (<i>Cynodon</i>)			0.0403	0.7705	584
Esperantina - PI	Arbórea	Mufumbo (<i>Combretum sp.</i>)	0.893382352941177					0.893382352941177
Esperantina - PI	Arbórea	Urucum (<i>Bixa orellana</i>)	0.900735294117647					0.900735294117647
Esperantina - PI	Arbórea	Gergelim (<i>Sesamum indicum</i>)	1.01102941176471					1.01102941176471
Esperantina - PI	Arbórea	Ipê-roxo (<i>Tabebuia impetiginosa</i>)	0.893382352941177					0.893382352941177
Esperantina - PI	Arbórea	Babaçu (<i>Attalea ssp.</i>)	0.893382352941177					0.893382352941177
Esperantina - PI	Arbórea	Gonçalo-alves (<i>Astroomium fraxinifolium</i>)	0.893382352941177					0.893382352941177
Esperantina - PI	Arbórea	Tamboril (<i>Enterolobium contortisiliquum</i>)	0.919117647058824					0.919117647058824
Esperantina - PI	Arbórea	Jatobá (<i>Hymenaea courbaril</i>)	0.893382352941177					0.893382352941177
Esperantina - PI	Arbórea	Aroeira (<i>Myracrodruon urundeuva</i>)	0.919117647058824					0.919117647058824
Esperantina - PI	Arbórea	Unha-de-gato (<i>Meloea quadrivalvis</i>)	0.893382352941177					0.893382352941177
Esperantina - PI	Frutífera	Manga (<i>Mangifera indica</i>)	0.863970588235294	0.872506853794109				0.863970588235294
Esperantina - PI	Frutífera	Acerola (<i>Malpighia puniceifolia</i>)	0.863970588235294	0.872506853794109				0.863970588235294
Esperantina - PI	Frutífera	Pinha (<i>Annona squamosa</i>)	0.9375	0.242827619742281				0.9375
Esperantina - PI	Frutífera	Goiaba (<i>Psidium guajava</i>)	1.01102941176471	0.872506853794109				1.01102941176471
Esperantina - PI	Cultura anual	Arroz (<i>Oryza sativa</i>)	1.01102941176471	1.1613932275292				1.01102941176471
Esperantina - PI	Cultura anual	Milho (<i>Zea mays</i>)	0.955882352941177	0.785985563017178				0.955882352941177
Esperantina - PI	Cultura anual	Abóbora (<i>Cucurbita moschata</i>)	0.863970588235294	0.872506853794109				0.863970588235294
Esperantina - PI	Cultura anual	mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)	0.882352941176471	0.872506853794109				0.882352941176471
Esperantina - PI	Cultura anual	Banana (<i>Musa spp.</i>)	0.919117647058824	0.88030383057924				0.919117647058824
Esperantina - PI	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Decumbens</i>)			138	839	609	
Esperantina - PI	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Brizantha</i>)			151	819	625	
Esperantina - PI	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Humidicola</i>)			0.0889999999999999	823	593	
Esperantina - PI	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Ruzizensis</i>)			179	818	639	
Esperantina - PI	FORAGEIRA	Colonião (<i>Panicum maximum</i>)			0.2036	0.8385	0.5717	
Esperantina - PI	FORAGEIRA	Colonião da Tanzânia (<i>Panicum maximum</i>)			0.0592	0.7727	0.6356	
Esperantina - PI	FORAGEIRA	Capim Andropogon (<i>Andropogon gayanus</i>)			0.1539	0.8552	0.6065	
Esperantina - PI	FORAGEIRA	Capim-Jaraguá (<i>Hyparrhenia rufa</i>)			0.1594	0.8764	449	
Esperantina - PI	FORAGEIRA	Capim-gordura (<i>Melinis minutiflora</i>)			0.3203	0.8737	0.35	

Tabela 7.2 – Continua na próxima página

Tabela 7.2 – Continuação

Localidade do SAF	Tipo	Espécie	Adaptação climática	Exigência da luz solar	Valor nutricional	Conteúdo proteico	Digestibilidade	Adaptação as condições locais
Esperantina - PI	FORAGEIRA	Capim tifton 85 (<i>Cynodon</i>)			0.0403	0.7705	584	
Ariquemes - RO	Arbórea	Teca (<i>Tectona grandis</i>)	1.0727969348659					1.0727969348659
Ariquemes - RO	Arbórea	Bandarra ou Paricá grande da mata (<i>Schizolobium parahyba</i>)	0.996168582375479					0.996168582375479
Ariquemes - RO	Arbórea	Freijó louro (<i>Cordia alliodora</i>)	0.957854406130268					0.957854406130268
Ariquemes - RO	Arbórea	Freijó cinza (<i>Cordia goeldiana</i>)	0.957854406130268					0.957854406130268
Ariquemes - RO	Arbórea	Seringueira (<i>Hevea brasiliensis</i>)	0.812260536398467					0.812260536398467
Ariquemes - RO	Frutífera	Laranja (<i>Citrus sp.</i>)	1.0536398467433	1.06108051007319				1.0536398467433
Ariquemes - RO	Frutífera	Cacau (<i>Theobroma cacao</i>)	0.977011494252873	1.06108051007319				0.977011494252873
Ariquemes - RO	Frutífera	Açaí (<i>Euterpe oleracea</i>)	0.938697318007663	0.273181072210066				0.938697318007663
Ariquemes - RO	Frutífera	cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	0.942528735632184	0.273181072210066				0.942528735632184
Ariquemes - RO	Cultura anual	Milho (<i>Zea mays</i>)	0.996168582375479	0.884233758394326				0.996168582375479
Ariquemes - RO	Cultura anual	Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	0.804597701149425	1.07758620689655				0.804597701149425
Ariquemes - RO	Cultura anual	mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)	0.919540229885057	0.981570210518373				0.919540229885057
Ariquemes - RO	Cultura anual	Soja (<i>Glycine max</i>)	0.957854406130268	0.981570210518373				0.957854406130268
Ariquemes - RO	Cultura anual	Cafê (<i>Coffea spp.</i>)	0.78544061302682	0.766335923941749				0.78544061302682
Ariquemes - RO	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Decumbens</i>)			138	839	609	
Ariquemes - RO	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Brizantha</i>)			151	819	625	
Ariquemes - RO	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Humidicola</i>)			0.08899999999999999	823	593	
Ariquemes - RO	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Ruzizensis</i>)			179	818	639	
Ariquemes - RO	FORAGEIRA	Colonião (<i>Panicum maximum</i>)			0.2036	0.8385	0.5717	
Ariquemes - RO	FORAGEIRA	Colonião da Tanzânia (<i>Panicum maximum</i>)			0.0592	0.7727	0.6356	
Ariquemes - RO	FORAGEIRA	Capim Andropogon (<i>Andropogon gayanus</i>)			0.1539	0.8552	0.6065	
Ariquemes - RO	FORAGEIRA	Capim-Jaraguá (<i>Hyparrhenia rufa</i>)			0.1594	0.8764	449	
Ariquemes - RO	FORAGEIRA	Capim-gordura (<i>Melinis minutiflora</i>)			0.3203	0.8737	0.35	
Ariquemes - RO	FORAGEIRA	Capim tifton 85 (<i>Cynodon</i>)			0.0403	0.7705	584	
Ponta Grossa - PR	Arbórea	Canela-sassafrás (<i>Ocotea odorifera</i>)	1.09195402298851					1.09195402298851
Ponta Grossa - PR	Arbórea	Espinheira-santa (<i>Maytenus ilicifolia</i>)	0.919540229885058					0.919540229885058
Ponta Grossa - PR	Arbórea	Erva-mate (<i>Ilex paraguariensis</i>)	1.35869565217391					1.35869565217391
Ponta Grossa - PR	Arbórea	Pinheiro-do-Paraná (<i>Araucaria angustifolia</i>)	0.927835051546392					0.927835051546392
Ponta Grossa - PR	Arbórea	Aroeira (<i>Schinus terebinthifolius</i>)	1.22549019607843					1.22549019607843
Ponta Grossa - PR	Frutífera	Guabiroba (<i>Campomanesia xanthocarpa</i>)	1.19117647058824	1.23152709359606				1.19117647058824
Ponta Grossa - PR	Frutífera	Cerejeira (<i>Eugenia involucrata</i>)	1.13551401869159	0.312206939668646				1.13551401869159
Ponta Grossa - PR	Frutífera	Pitanga (<i>Eugenia uniflora</i>)	1.39655172413793	0.312206939668646				1.39655172413793
Ponta Grossa - PR	Cultura anual	Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	1.20689655172414	1.23152709359606				1.20689655172414
Ponta Grossa - PR	Cultura anual	Milho (<i>Zea mays</i>)	1.49425287356322	1.01055286673637				1.49425287356322
Ponta Grossa - PR	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Decumbens</i>)			138	839	609	
Ponta Grossa - PR	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Brizantha</i>)			151	819	625	
Ponta Grossa - PR	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Humidicola</i>)			0.08899999999999999	823	593	
Ponta Grossa - PR	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Ruzizensis</i>)			179	818	639	
Ponta Grossa - PR	FORAGEIRA	Colonião (<i>Panicum maximum</i>)			0.2036	0.8385	0.5717	
Ponta Grossa - PR	FORAGEIRA	Colonião da Tanzânia (<i>Panicum maximum</i>)			0.0592	0.7727	0.6356	
Ponta Grossa - PR	FORAGEIRA	Capim Andropogon (<i>Andropogon gayanus</i>)			0.1539	0.8552	0.6065	
Ponta Grossa - PR	FORAGEIRA	Capim-Jaraguá (<i>Hyparrhenia rufa</i>)			0.1594	0.8764	449	
Ponta Grossa - PR	FORAGEIRA	Capim-gordura (<i>Melinis minutiflora</i>)			0.3203	0.8737	0.35	
Ponta Grossa - PR	FORAGEIRA	Capim tifton 85 (<i>Cynodon</i>)			0.0403	0.7705	584	
Fazenda São Luiz, São Joaquim da Barra - SP	Arbórea	Teca (<i>Tectona grandis</i>)	1.244444444444444					1.244444444444444

Tabela 7.2 – Continua na próxima página

Tabela 7.2 – Continuação

Localidade do SAF	Tipo	Espécie	Adaptação climática	Exigência da luz solar	Valor nutricional	Conteúdo proteico	Digestibilidade	Adaptação as condições locais
Fazenda São Joaquim Barra - SP	Luiz. Arbórea	Tamboril (<i>Enterolobium contortisiliquum</i>)	1.1111111111111111					1.1111111111111111
Fazenda São Joaquim Barra - SP	Luiz. Arbórea	Urucum (<i>Bixa orellana</i>)	1.1111111111111111					1.1111111111111111
Fazenda São Joaquim Barra - SP	Luiz. Arbórea	mogno-africano (<i>Khaya spp.</i>)	1.1111111111111111					1.1111111111111111
Fazenda São Joaquim Barra - SP	Luiz. Arbórea	Gliricídia (<i>Gliricidia sepium</i>)	1.08					1.08
Fazenda São Joaquim Barra - SP	Luiz. Arbórea	Jatobá (<i>Hymenaea courbaril</i>)	1.08					1.08
Fazenda São Joaquim Barra - SP	Luiz. Arbórea	Baru (<i>Dipteryx alata</i>)	1.08					1.08
Fazenda São Joaquim Barra - SP	Luiz. Frutifera	Abacate (<i>Persea americana</i>)	1.1777777777777778	0.273181072210066				1.1777777777777778
Fazenda São Joaquim Barra - SP	Luiz. Cultura anual	mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)	1.0666666666666667	0.981570210518373				1.0666666666666667
Fazenda São Joaquim Barra - SP	Luiz. Cultura anual	Milho (<i>Zea mays</i>)	1.1555555555555556	0.884233758394326				1.1555555555555556
Fazenda São Joaquim Barra - SP	Luiz. Cultura anual	Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	0.9333333333333333	1.07758620689655				0.9333333333333333
Fazenda São Joaquim Barra - SP	Luiz. Cultura anual	Mamoneira (<i>Ricinus communis</i>)	1.2444444444444444	0.981570210518373				1.2444444444444444
Fazenda São Joaquim Barra - SP	Luiz. Cultura anual	Banana (<i>Musa spp.</i>)	1.1111111111111111	0.990341809401645				1.1111111111111111
Fazenda São Joaquim Barra - SP	Luiz. Cultura anual	Cafê (<i>Coffea spp.</i>)	0.9111111111111111	0.766335923941749				0.9111111111111111
Fazenda São Joaquim Barra - SP	Luiz. Cultura anual	Mamão (<i>Carica papaya</i>)	1.0666666666666667	0.981570210518373				1.0666666666666667
Fazenda São Joaquim Barra - SP	Luiz. Cultura anual	Palmito pupunha (<i>Bactris gasipaes</i>)	0.9333333333333333	0.981570210518373				0.9333333333333333
Fazenda São Joaquim Barra - SP	Luiz. Forrageira	Brachiaria (<i>B. Decumbens</i>)			138	839	609	
Fazenda São Joaquim Barra - SP	Luiz. Forrageira	Brachiaria (<i>B. Brizantha</i>)			151	819	625	
Fazenda São Joaquim Barra - SP	Luiz. Forrageira	Brachiaria (<i>B. Humidicola</i>)			0.0889999999999999	823	593	
Fazenda São Joaquim Barra - SP	Luiz. Forrageira	Brachiaria (<i>B. Ruzizensis</i>)			179	818	639	
Fazenda São Joaquim Barra - SP	Luiz. Forrageira	Colonião (<i>Panicum maximum</i>)			0.2036	0.8385	0.5717	
Fazenda São Joaquim Barra - SP	Luiz. Forrageira	Colonião da Tanzânia (<i>Panicum maximum</i>)			0.0592	0.7727	0.6356	
Fazenda São Joaquim Barra - SP	Luiz. Forrageira	Capim Andropogon (<i>Andropogon gayanus</i>)			0.1539	0.8552	0.6065	
Fazenda São Joaquim Barra - SP	Luiz. Forrageira	Capim-Jaraguá (<i>Hyparrhenia rufa</i>)			0.1594	0.8764	449	
Fazenda São Joaquim Barra - SP	Luiz. Forrageira	Capim-gordura (<i>Melinis minutiflora</i>)			0.3203	0.8737	0.35	
Fazenda São Joaquim Barra - SP	Luiz. Forrageira	Capim tifton 85 (<i>Cynodon</i>)			0.0403	0.7705	584	
Sítio Geranium. guatinga - DF	Ta. Arbórea	Baru (<i>Dipteryx alata</i>)	1.15714285714286					1.15714285714286
Sítio Geranium. guatinga - DF	Ta. Arbórea	Jatobá (<i>Hymenaea courbaril</i>)	1.15714285714286					1.15714285714286
Sítio Geranium. guatinga - DF	Ta. Arbórea	Mutamba (<i>Guazuma ulmifolia</i>)	1.15714285714286					1.15714285714286
Sítio Geranium. guatinga - DF	Ta. Frutifera	Palmeiras juçara (<i>Euterpe Edulis</i>)	1	0.523990375344786				1
Sítio Geranium. guatinga - DF	Ta. Cultura anual	Banana (<i>Musa spp.</i>)	1.19047619047619	0.88030383057924				1.19047619047619
Sítio Geranium. guatinga - DF	Ta. Cultura anual	Hortaliças folhosas alface (<i>Lactuca sativa Linné</i>)	1.23809523809524	0.242827619742281				1.23809523809524
Sítio Geranium. guatinga - DF	Ta. Cultura anual	Milho (<i>Zea mays</i>)	1.23809523809524	0.785985563017178				1.23809523809524
Sítio Geranium. guatinga - DF	Ta. Forrageira	Brachiaria (<i>B. Decumbens</i>)			138	839	609	
Sítio Geranium. guatinga - DF	Ta. Forrageira	Brachiaria (<i>B. Brizantha</i>)			151	819	625	

Tabela 7.2 – Continua na próxima página

Tabela 7.2 – Continuação

Localidade do SAF	Tipo	Espécie	Adaptação climática	Exigência da luz solar	Valor nutricional	Conteúdo proteico	Digestibilidade	Adaptação as condições locais
Sítio Geranium. guatinga - DF	Ta-FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Humidicola</i>)			0.0889999999999999	823	593	
Sítio Geranium. guatinga - DF	Ta-FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Ruzizien-sis</i>)			179	818	639	
Sítio Geranium. guatinga - DF	Ta-FORAGEIRA	Colonião (<i>Panicum ma-ximum</i>)			0.2036	0.8385	0.5717	
Sítio Geranium. guatinga - DF	Ta-FORAGEIRA	Colonião da Tanzânia (<i>Panicum maximum</i>)			0.0592	0.7727	0.6356	
Sítio Geranium. guatinga - DF	Ta-FORAGEIRA	Capim Andropogon (<i>Andropogon gayanus</i>)			0.1539	0.8552	0.6065	
Sítio Geranium. guatinga - DF	Ta-FORAGEIRA	Capim-Jaraguá (<i>Hypar-rhenia rufa</i>)			0.1594	0.8764	449	
Sítio Geranium. guatinga - DF	Ta-FORAGEIRA	Capim-gordura (<i>Meli-nis minutiflora</i>)			0.3203	0.8737	0.35	
Sítio Geranium. guatinga - DF	Ta-FORAGEIRA	Capim tifton 85 (<i>Cyno-don</i>)			0.0403	0.7705	584	
Mambai - GO	Arbórea	Baru (<i>Dipteryx alata</i>)	1.08968609865471					1.08968609865471
Mambai - GO	Arbórea	Pequi (<i>Caryocar brasi-liense camb</i>)	1.08968609865471					1.08968609865471
Mambai - GO	Arbórea	Aroeira (<i>Myracrodruon urundeuva</i>)	1.12107623318386					1.12107623318386
Mambai - GO	Arbórea	Mogno-africano (<i>Khaya spp.</i>)	1.14349775784753					1.14349775784753
Mambai - GO	Arbórea	Acácia (<i>Acacia man-gium Willd</i>)	1.03139013452915					1.03139013452915
Mambai - GO	Arbórea	Eucalipto (<i>Eucalyptus spp.</i>)	1.03139013452915					1.03139013452915
Mambai - GO	Cultura anual	Mandioca (<i>Manihot es-culenta</i>)	1.0762331838565	0.872506853794109				1.0762331838565
Mambai - GO	Cultura anual	Feijão (<i>Phaseolus vul-garis</i>)	0.941704035874439	0.957854406130268				0.941704035874439
Mambai - GO	Cultura anual	Milho (<i>Zea mays</i>)	1.16591928251121	0.785985563017178				1.16591928251121
Mambai - GO	Cultura anual	Arroz (<i>Oryza sativa</i>)	1.23318385650224	1.1613932275292				1.23318385650224
Mambai - GO	Cultura anual	melancia (<i>Citrullus la-natus</i>)	1.0762331838565	0.872506853794109				1.0762331838565
Mambai - GO	Cultura anual	Abóbora (<i>Cucurbita moschata</i>)	1.05381165919283	0.872506853794109				1.05381165919283
Mambai - GO	Cultura anual	Amendoim (<i>Arachis hypogea</i>)	1.2780269058296	1.04798075068957				1.2780269058296
Mambai - GO	Cultura anual	Mamão (<i>Carica pa-paya</i>)	1.0762331838565	0.872506853794109				1.0762331838565
Mambai - GO	Cultura anual	Abacaxi (<i>Ananas co-mosus</i>)	1.21076233183856	0.872506853794109				1.21076233183856
Mambai - GO	Cultura anual	maracujá amarelo (<i>Pas-siflora edulis</i>)	1.18834080717489	0.872506853794109				1.18834080717489
Mambai - GO	FORAGEIRA	Capim Elefante (<i>Came-roon</i>)			0.1374	0.8297	0.6107	
Mambai - GO	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Decum-bens</i>)			138	839	609	
Mambai - GO	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Bri-zantha</i>)			151	819	625	
Mambai - GO	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Humidi-cola</i>)			0.0889999999999999	823	593	
Mambai - GO	FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Ruzizien-sis</i>)			179	818	639	
Mambai - GO	FORAGEIRA	Colonião (<i>Panicum ma-ximum</i>)			0.2036	0.8385	0.5717	
Mambai - GO	FORAGEIRA	Colonião da Tanzânia (<i>Panicum maximum</i>)			0.0592	0.7727	0.6356	
Mambai - GO	FORAGEIRA	Capim Andropogon (<i>Andropogon gayanus</i>)			0.1539	0.8552	0.6065	
Mambai - GO	FORAGEIRA	Capim-Jaraguá (<i>Hypar-rhenia rufa</i>)			0.1594	0.8764	449	
Mambai - GO	FORAGEIRA	Capim-gordura (<i>Meli-nis minutiflora</i>)			0.3203	0.8737	0.35	
Mambai - GO	FORAGEIRA	Capim tifton 85 (<i>Cyno-don</i>)			0.0403	0.7705	584	
Luis Domingues MA	- Arbórea	Sombreiro (<i>Clitoria fairchidiana</i>)	0.929368029739777					0.929368029739777
Luis Domingues MA	- Arbórea	Gliricídia (<i>Gliricidia sepium</i>)	0.903345724907063					0.903345724907063
Luis Domingues MA	- Arbórea	Andiroba (<i>Carapa gui-anensis</i>)	0.87360594795539					0.87360594795539
Luis Domingues MA	- Frutifera	Cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	0.914498141263941	0.273181072210066				0.914498141263941
Luis Domingues MA	- Frutifera	Açaí (<i>Euterpe olera-cea</i>)	0.910780669144981	0.273181072210066				0.910780669144981
Luis Domingues MA	- Frutifera	Cajá (<i>Spondias mom-bin</i>)	1.03345724907063	0.981570210518373				1.03345724907063
Luis Domingues MA	- FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Decum-bens</i>)			138	839	609	
Luis Domingues MA	- FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Bri-zantha</i>)			151	819	625	
Luis Domingues MA	- FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Humidi-cola</i>)			0.0889999999999999	823	593	
Luis Domingues MA	- FORAGEIRA	Brachiaria (<i>B. Ruzizien-sis</i>)			179	818	639	
Luis Domingues MA	- FORAGEIRA	Colonião (<i>Panicum ma-ximum</i>)			0.2036	0.8385	0.5717	
Luis Domingues MA	- FORAGEIRA	Colonião da Tanzânia (<i>Panicum maximum</i>)			0.0592	0.7727	0.6356	

Tabela 7.2 – Continua na próxima página

Tabela 7.2 – Continuação

Localidade do SAF	Tipo	Espécie	Adaptação climática	Exigência da luz solar	Valor nutricional	Conteúdo proteico	Digestibilidade	Adaptação as condições locais
Luis Domingues MA	- Forrageira	Capim Andropogon (<i>Andropogon gayanus</i>)			0.1539	0.8552	0.6065	
Luis Domingues MA	- Forrageira	Capim-Jaraguá (<i>Hyparrhenia rufa</i>)			0.1594	0.8764	449	
Luis Domingues MA	- Forrageira	Capim-gordura (<i>Melinis minutiflora</i>)			0.3203	0.8737	0.35	
Luis Domingues MA	- Forrageira	Capim tifton 85 (<i>Cynodon</i>)			0.0403	0.7705	584	