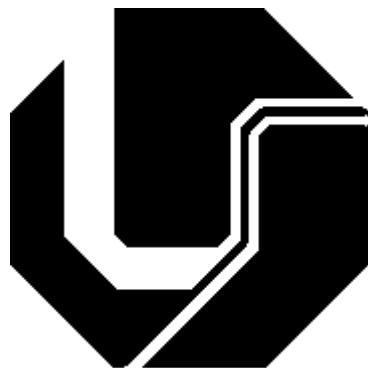


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**



Sistema Automático de Planejamento de Voos e Tratamento de Imagens Para  
Veículos Aéreos Não Tripulados

**Milton Miranda Neto**

**Março  
2016**

**Sistema Automático de Planejamento de Voos e Tratamento de Imagens Para  
Veículos Aéreos Não Tripulados**

**Milton Miranda Neto**

Texto apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências.

---

Prof. Alexandre Cardoso, Dr.  
Orientador

---

Prof. Edgard A. Lamounier Jr, PhD.  
Co-orientador

---

Prof. Darizon Alves de Andrade, Dr.  
Coordenador do curso de Pós-Graduação

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

M672s      **Miranda Neto, Milton, 1975-**

2016      Sistema automático de planejamento de voos e tratamento de imagens para veículos aéreos não tripulados / Milton Miranda Neto. - 2016.

86 f. : il.

Orientador: Alexandre Cardoso.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática.

Inclui bibliografia.

1. Engenharia elétrica - Teses. 2. Veículo aéreo não tripulado - Teses. 3. Realidade virtual - Inovações tecnológicas - Teses. 4. Agropecuária - Teses. I. Cardoso, Alexandre, 1964-. II. Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática. III. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu pai Ilacir Alves Rodrigues e minha mãe Luciene Rodrigues Miranda pelo apoio incondicional em todas as etapas de minha vida proporcionando a educação e os valores que sempre nortearam minhas ações e atitudes.

A minha esposa querida pela grande parceria e por ser a minha referência de caráter e dedicação à família.

As minhas filhas Júlia e Carol pelo apoio, incentivo e principalmente compreensão durante todo este tempo dedicado aos meus estudos.

Aos meus colegas do Lab-CG UFU, por toda ajuda e amizade, especialmente para Adriana Porto, Gerson Flávio, Alexandre Carvalho, Camilo Barreto e Ígor Andrade.

Ao meu orientador Professor Alexandre Cardoso, com o qual tive o prazer de trabalhar e aprender muito. Sem dúvida um professor admirável e um amigo presente.

Ao Professor Edgard Afonso Lamounier Jr um agradecimento muito especial por sua colaboração e por compartilhar comigo sua grande sabedoria e amizade.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, em especial aos professores e a querida secretária Cinara Fagundes, por toda a sua dedicação e paciência, sempre disposta a ajudar com nossas papeladas.

A toda equipe das empresas Geaap Agrociências e CGWorks, pelo apoio e incentivo durante todo desenvolvimento do trabalho, em especial para o Estevão, José Fernando, Lécio e Gerson.

Muito Obrigado a Todos!

#TBOS190316 – “UP THE IRONS!”

## **FINANCIADORES**

Este trabalho foi financiado pelo Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento – P&D Cemig/Aneel – GT411, parceria entre a Cemig Geração e Transmissão com a Universidade Federal de Uberlândia e por bolsa de demanda social da Capes. Sinceros agradecimentos deste pesquisador.

## RESUMO

MIRANDA NETO, Milton. *Sistema Automático de Planejamento de Voos e Tratamento de Imagens Para Veículos Aéreos Não Tripulados*. Uberlândia: Faculdade de Engenharia Elétrica – UFU, 2016.

**Palavras-chave:** Aeronaves Remotamente Pilotadas, Agropecuária de Precisão, Sistemas de Informação e Realidade Virtual.

Sistemas de Veículos Aéreos Não Tripulados – VANT, refere-se a uma tecnologia emergente que tem gerado impacto no campo da aviação mundial com a sua abordagem inovadora para o transporte aéreo em geral e pode ser aplicada em diferentes áreas, tais como segurança pública, militar, inteligência, busca e salvamento, mineração, agricultura e pecuária, entre outras. Uma de suas maiores contribuições é a redução do custo de desenvolvimento. Outra contribuição relevante é a redução do custo operacional destas novas ferramentas quando comparados à aviação tradicional. Estas plataformas voadoras possibilitam a criação de novas soluções específicas para cada área de aplicação e ainda viabiliza outras ideias já existentes, mas pouco utilizadas devido ao elevado custo operacional do uso de aeronaves tripuladas. Neste contexto, este trabalho propõe o desenvolvimento de um conjunto de ferramentas, incluindo a construção de uma aeronave não tripulada para a captação de dados através de sensores como câmeras e leitores de sinais de rádio frequência, que serão aplicadas ao agronegócio, com o objetivo de extrair informações que possibilitem a compreensão dos diversos aspectos da cadeia produtiva agrícola, possibilitando assim visualizar, gerenciar, decidir e maximizar os resultados obtidos.

## ABSTRACT

MIRANDA NETO, Milton; A Proposal Layer Object Interface for Virtual Reality Systems, Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica – UFU, 2016.

**Keywords:** Remotely Piloted Aircraft, Precision Agricultural, Information Systems and Virtual Reality.

Unmanned Aerial Vehicle Systems - UAVS relates to an emerging technology that has generated impact on the global aviation field with its innovative approach to general aerial transportation and can be applicable in different areas such as public security, military, intelligence, search and rescue, mining, agriculture and livestock, and others. One of their main contributions is the reduction of the development cost. Another important contribution is to reduce the operating costs of these new tools when compared to traditional aviation. These flying platforms enable the creation of new specific solutions for each application area and enables other existing ideas, but not tried because of the high operating cost of using manned aircraft. In this context, this work proposes the development of a set of tools, including the construction of an unmanned aircraft vehicle for data capture using sensors like cameras and radio-frequency readers, applied to agribusiness to get informations to understanding the various aspects of agricultural production chain, making possible to view, to manage, decide and maximize results.

## PUBLICAÇÕES

São publicações resultantes deste trabalho:

1. Miranda Neto, M.; Moraes, I. A; Barreto Junior, C. L.; Cardoso, A; Lamounier Jr., E.A.; Parreira, E.F.M. **Engenharia de software apoiada por sistemas de aeronaves remotamente pilotadas na pecuária de precisão.** In: Anais do X Congresso Brasileiro de Agroinformática – SBIAgro2015, 2015, Ponta Grossa, PR, Brasil.
2. Cardoso, A.; Lamounier Junior, E. A.; Zorral, E.; Nunes, F. L.; Miranda Neto, M.; Proença, A. P. **Realidade Virtual e Aumentada na Saúde e Reabilitação. Tecnologias, técnicas e tendências em Engenharia Biomédica.** 1ed.Bauru - SP: Canal 6 Editora, 2014, v. 1, p. 402-415.
3. Luiz, L. M. D.; Andrade, Adriano O.; Lima, G. F. M.; Miranda Neto, M. **Proposta de uma interface gráfica para aprendizagem.** In: VIII Simpósio em Engenharia Biomédica, 2015, Uberlândia. In: Anais do VIII Simpósio em Engenharia Biomédica, 2015, Uberlândia, MG, Brasil.
4. FERNANDES, F. G.; BARBOSA, J. L. M.; MIRANDA NETO, M.; CARDOSO, A. **Automação Residencial utilizando Dispositivos Móveis e Wearable Myo.** Realidade Virtual e Aumentada: Aplicações e Tendências, 2015, Presidente Prudente. In:
5. MORAES, I. A.; MIRANDA NETO, M.; CARDOSO, A.; LAMOUNIER JUNIOR, E. A.; PRADO, P. R. M. **Modeling Techniques and Development for Virtual Hydroelectric Power Plants Design.** Realidade Virtual e Aumentada: Aplicações e Tendências, 2015, Presidente Prudente. In:

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE QUADROS .....</b>	<b>12</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS.....</b>	<b>13</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
1.1. Contextualização e Motivação .....	15
1.2. Objetivos.....	15
1.3. Metas.....	16
1.4. Organização do Texto.....	16
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>18</b>
2.1. Agropecuária de Precisão .....	18
2.2. Veículos Aéreos Não Tripulados.....	21
2.3. Realidade Virtual .....	22
<b>3. TRABALHOS CORRELATOS .....</b>	<b>23</b>
3.1. Integração entre veículos aéreos não tripulados e rede de sensores sem fio para aplicações agrícolas .....	23
3.2. FillGap .....	24
3.3. Análise de imagens tomográficas da ciência do solo em ambiente de realidade virtual	25
3.4. Resumo Comparativo dos Trabalhos Analisados .....	27
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
4.1. Definição da plataforma de aquisição de imagens aéreas .....	29
4.2. Fotogrametria.....	32
4.3. Sensores .....	33
4.4. SISTEMAS RFID.....	36
4.5. Redes Neurais Artificiais.....	37
<b>5. CONSTRUÇÃO DA AERONAVE.....</b>	<b>41</b>
5.1. Barômetro .....	43
5.2. Giroscópio.....	43
5.3. Acelerômetro.....	43
5.4. Bússola.....	43
5.5. GPS.....	44

5.6.	Telemetria .....	44
5.7.	Rádio Controle.....	44
5.8.	Módulo de Piloto Automático - MPA .....	45
<b>6.</b>	<b>ARQUITETURA .....</b>	<b>47</b>
6.1.	Programador do Voo .....	47
6.1.1.	Captura de dados utilizando Imagens.....	48
6.1.2.	Captura de dados utilizando Tag RFID .....	51
6.1.3.	Captura de dados utilizando Imagens e Tag RFID.....	51
6.2.	Gerenciador do Voo .....	52
6.3.	Aquisição dos Dados.....	52
6.4.	Processamento dos Dados .....	53
6.5.	Apresentação.....	54
<b>7.</b>	<b>DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>55</b>
7.1.	Monitoramento de Rebanhos .....	55
7.1.1.	Experimento 1: Processamento Digital de Imagens .....	56
7.1.2.	Experimento 2: RFID.....	57
7.1.3.	Resultados.....	60
7.2.	Identificação de Falhas no Plantio de Cana de Açúcar Utilizando Rede Neural Artificial MLP	61
7.2.1.	Desenvolvimento do Experimento SweepView .....	64
7.2.2.	Resultados.....	68
7.3.	Reconstrução de campo de pastagem em 3D .....	69
7.3.1.	Resultados.....	70
<b>8.</b>	<b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>72</b>
8.1.	Conclusões.....	72
8.2.	Trabalhos Futuros.....	73
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>74</b>
<b>APÊNDICE I.....</b>		<b>78</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Uso da terra no território nacional Brasileiro de acordo com o Censo Agropecuário 2006.....	18
Figura 2 – Ciclo da tomada de decisões na Agropecuária de Precisão (Stafford, 2000). .....	19
Figura 3 – Cooperação entre um VANT e uma RSSF (Guzzo da Costa, 2013).....	24
Figura 4 – (a) Bhattacharya (b) Distância Euclidiana (c) Maxver (d) Maxver-ICM (e) Rede Neural e (f) Classificada Manualmente. (Pereira Neto -2007).....	25
Figura 5 – Visão geral do sistema de RV (Botega-2009).....	26
Figura 6 – Interface Implementada do sistema de RV (Botega-2009).....	27
Figura 7 – Classificação quanto a utilização de ARP (adaptado de Cox et al, 2004). .....	29
Figura 8 – Classificação quanto ao tipo de asas de ARP (adaptado de Santos-2008). .....	30
Figura 9 – Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (Adaptado de Brisset et al., 2006) .....	31
Figura 10 – Tipos de Sensores, adaptado de Novo (1992).....	34
Figura 11 – Canais ou bandas do espectro ótico, adaptado de Novo (1992) .....	34
Figura 12 – Energia eletromagnética solar refletida em superfícies distintas. ....	35
Figura 13 – Componentes de uma solução RFID (Adaptado de Roberti, 2004). .....	36
Figura 14 – (a) Neurônio Artificial (b) RNA de uma camada.....	38
Figura 15 – Representação da arquitetura de uma rede MLP.....	39
Figura 16 – Aeromodelo de Mercado (New Skywalker 2013, FPV Model).....	41
Figura 17 – Partes principais da aeronave remotamente pilotada.....	42
Figura 18 – Detalhes da cauda da aeronave.....	42
Figura 19 – Localização dos equipamentos na aeronave.....	46
Figura 20 – Diagrama de blocos do sistema de informações proposto.....	47
Figura 21 – Pontos de Caminho (Waypoints).....	48
Figura 22 – Aplicativo Mission Planner®.....	49
Figura 23 – Sobreposição Frontal (Overlap) e Lateral (Sidelap).....	50
Figura 24 – Estrutura do arquivo de lista de pontos de caminho. ....	51

Figura 25 – Tela de controle do voo do aplicativo Mission Planner®.....	52
Figura 26 – Processamento utilizando o Agisoft PhotoScan.....	53
Figura 27 – Processamento utilizando o Pix4D.....	54
Figura 28 – Sistemas de Monitoramento de Rebanho (FarmGIS).....	55
Figura 29 – Fluxo de criação de um novo mapa (FarmGIS). .....	56
Figura 30 – Gado identificado por Tag RFID ativa no interior do brinco (Adaptado de Mun Leng et. al. 2005).....	57
Figura 31 – Guia para o planejamento do voo (FarmGIS).....	59
Figura 32 – Apresentação dos animais encontrados (FarmGIS). .....	59
Figura 33 – Comparativo do tempo gasto em minutos entre a contagem manual e a contagem realizada pela ARP (FarmGIS). .....	61
Figura 34 – Tela Principal do Programa SweepView. ....	65
Figura 35 – Tela para indicação das amostras no SweepView. ....	65
Figura 36 – Tela de configuração da Rede Neural Artificial. ....	66
Figura 37 – Falhas na rebrota encontradas pelo SweepView.....	69
Figura 38 – Imagem do Sistema de Realidade Virtual criado para representar o campo de pastagem.....	71

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Classificação do DECEA quanto aos tipos de SARP .....	21
Quadro 2 – Quadro comparativo entre os trabalhos correlatos.....	28
Quadro 3 – Classificação da ANAC quanto ao peso da ARP .....	30
Quadro 4 – Sensores utilizados neste trabalho.....	35
Quadro 5 – Custos de produção da cana-de-açúcar em um ciclo de cinco anos.....	62
Quadro 6 – Reconhecimento de falhas conforme a arquitetura da rede neural .....	68

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

- ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil  
AP - Agricultura de Precisão  
APM - ArduPilot Mega  
ARP - Aeronave Remotamente Pilotada  
DECEA - Departamento de Controle do Espaço Aéreo  
ECS - Estação de Controle em Solo  
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
GPS - Global Position System  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IHM - Interface Homem-Máquina  
IMU - Inertial Measurement Unit  
LOS - Line of Sight  
MAVLink - Micro Air Vehicle Communication Protocol  
MLP - Multi-layer Perceptron  
MPA – Módulo de Piloto Automático  
NDVI - Normalized Difference Vegetation Index  
NIR - Near Infra Red  
RFID - Radio Frequency Identification  
RGB - Red, Green and Blue  
RPA - Remotely Piloted Aircraft  
RPAS - Remotely Piloted Aircraft System  
RSSF - Rede de Sensores Sem Fios  
RTL - Return To Launch  
RV - Realidade Virtual  
SA - Simulated Annealing

SARP - Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas

SCS - Sistema de Controle em Solo

SI – Sistema de Informação

SIG - Sistema de Informações Geográficas

SN - Sistema de Navegação

SOM - Self-Organizing Mapping

SRV - Sistema de Realidade Virtual

VANT - Veículo Aéreo Não Tripulado

VI - Visualização da Informação

WP - Waypoint

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Contextualização e Motivação

Uma Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) é definida como uma estrutura capaz de se sustentar e se conduzir no ar e que possui um sistema de computador embarcado integrado a diversos sensores iniciais, sistema de posicionamento global (GPS), atuadores e processadores que combinados devem ser capazes de controlar esta estrutura voadora sem a intervenção humana (Pastor et al., 2006).

A crescente popularização deste tipo de aeronave desperta o interesse das pessoas no mundo todo e acaba fomentando novas linhas de pesquisas científicas que vão desde a melhoria dos seus sistemas embarcados até a criação de novos produtos e serviços capazes de facilitar diversas atividades econômicas baseadas em seu baixo custo e sua flexibilidade operacional.

O Agronegócio no Brasil está em plena expansão, segundo a revista Globo Rural seu crescimento médio foi de 25% nos anos de 2011, 2012 e 2013 e a perspectiva é que esta taxa continue no mesmo patamar até 2018.

Algumas dificuldades identificadas na agropecuária como a detecção de falhas na rebrota de cana de açúcar, a geração de mapas de índice de biomassa dos plantios e a contagem de gado em grandes rebanhos de criação extensiva motivaram o desenvolvimento deste trabalho uma vez que viabilizam a possibilidade de se aplicar esta nova tecnologia na solução destes problemas. Para atingir estes resultados será construída uma aeronave não tripulada para a captura de imagens aéreas e também para captar sinais de rádio frequência emitidos por dispositivos de identificação em solo. Para os dados obtidos serão utilizadas técnicas computacionais como Processamento Digital de Imagens, Visualização da Informação (VI), classificadores baseados em Redes Neurais Artificiais e Realidade Virtual (RV).

### 1.2. Objetivos

O objetivo básico deste trabalho é propor um Sistema Automático para a aquisição de informações que inclui a construção de uma aeronave não tripulada para efetuar voos automáticos sobre uma determinada área, o planejamento do voo, o tratamento das imagens obtidas e por fim apresentá-las por meio de estratégias de

Visualização da Informação correlatas a ambientes virtuais interativos - Realidade Virtual.

Considerando estes aspectos, são objetivos específicos deste trabalho:

- Construir um Veículo Aéreo Não Tripulado - VANT.
- Conceber um sistema para o planejamento de voos do VANT.
- Aplicar o sistema proposto em casos de uso identificados durante a pesquisa que possam apresentar alguma evolução na produtividade agropecuária.
- Conceber um Sistema de Realidade Virtual (SRV) para a reconstrução em 3D da área sobrevoada e que servirá como prova de conceito da solução elaborada.

### **1.3. Metas**

Para a concretização dos objetivos definidos para este trabalho foram traçadas as seguintes metas:

- Definir uma plataforma de voo remotamente pilotada, de baixo custo e fácil operação capaz de transportar sensores para aquisição de informações agrícolas.
- Definir a arquitetura para sistemas de informação, desde o planejamento do voo até a apresentação para o usuário final.
- Identificar casos de uso em que a aplicação do sistema proposto possa ser um diferencial para o agronegócio.

### **1.4. Organização do Texto**

O texto desta dissertação foi organizado em oito capítulos da forma descrita a seguir.

O primeiro capítulo traz a contextualização, a motivação e os objetivos conforme apresentados anteriormente. O segundo capítulo aborda a fundamentação teórica de todo o trabalho e onde serão descritos os conceitos básicos para a criação do sistema proposto. Quanto ao terceiro capítulo, o mesmo apresenta os trabalhos encontrados, relacionados ao tema proposto, demonstrando assim a relevância desta pesquisa. O quarto capítulo descreve todos os conceitos, materiais e métodos utilizados para a aquisição e apresentação das informações. O capítulo cinco descreve a construção do VANT. O capítulo seis apresenta o desenvolvimento do sistema proposto. No capítulo sete, são apresentados alguns casos de uso identificados para a aplicação do sistema proposto e os resultados obtidos em cada um dos experimentos. Por último, o capítulo oito destaca as conclusões obtidas após encerradas todas as análises dos resultados deste trabalho apontando assim os trabalhos futuros para esta pesquisa.

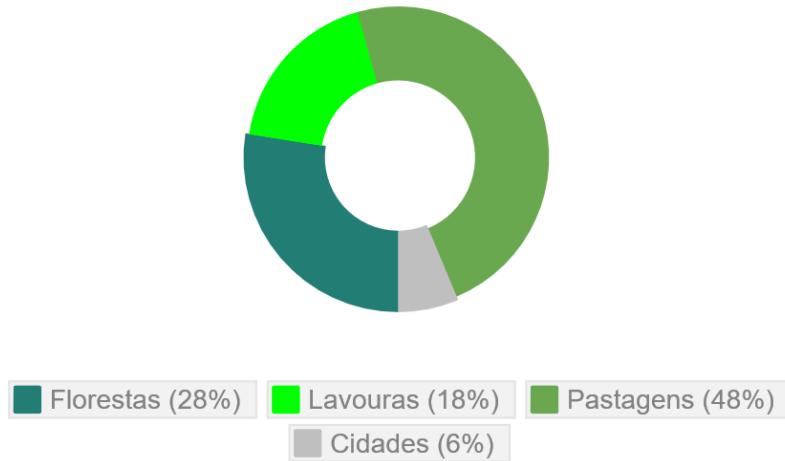
## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão abordados os tópicos que fundamentam este trabalho.

### 2.1. Agropecuária de Precisão

Agropecuária é conhecida como o estudo, a teoria e a prática da agricultura e da pecuária e suas inter-relações. É também classificada como uma das áreas do setor primário responsável pela produção de bens de consumo. O infográfico da figura 1 mostra o uso da terra no território brasileiro, divulgado pelo senso agropecuário de 2006 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Este censo é realizado em média a cada 10 anos.

**Uso da Terra no Território Nacional**



*Figura 1 – Uso da terra no território nacional Brasileiro de acordo com o Censo Agropecuário 2006.*

Para Molin (2001), o termo “Precisão”, passou a ser aplicado tanto na pecuária quanto na agricultura para indicar a utilização de técnicas e equipamentos de última geração tecnológica para aprimorar as atividades rurais com o objetivo de maximizar a produção, minimizar os danos ambientais causados durante o todo processo produtivo e principalmente atender a demanda por informações da procedência e da qualidade dos produtos adquiridos pelos consumidores finais.

Ainda segundo [Molin](#) (2001), a Agricultura de Precisão baseia-se na variabilidade do solo e do clima nos campos de cultivo. Quanto a Pecuária de Precisão, para Luiz Gustavo Pereira, pesquisador da Embrapa, além de utilizar-se das técnicas da Agricultura de Precisão nos seus campos de pastagens ela também emprega uma atenção especial ao bem-estar, nutrição e manejo dos animais. A aplicação de alta tecnologia nas atividades agrícolas apoiadas por um sistema de suporte à tomada de decisões para a melhoria da produção rural é conhecida como Agropecuária de Precisão (AP). A figura 2 mostra o modelo do ciclo de tomada de decisões na AP segundo Stafford (2000).



*Figura 2 – Ciclo da tomada de decisões na Agropecuária de Precisão (Stafford, 2000).*

Na Agropecuária, os dados obtidos a partir de imagens aéreas são utilizados de diversas formas, como por exemplo: mapear os campos de cultivo e pastagens, prever as condições ambientais, prever a produção agrícola, avaliar as condições gerais dos campos, detectar falta de nutrientes nas plantas, falhas no plantio e até identificar o ataque de pragas (Berni et al., 2009).

O usuário possui suas próprias habilidades de percepção das informações que lhes são apresentadas, ao incorporá-las a um sistema de informações ele pode rastrear, mapear, examinar, reconhecer e recordar imagens rapidamente além disso

a sua capacidade de detectar alterações de tamanho, forma, cor, movimento ou textura enriquecem as interfaces computacionais (Shneiderman, 1996).

A utilização de mapas permite a transformação de grandes volumes de dados em representações visuais de forma a extrair o máximo de informação de uma forma rápida, clara e precisa.

Essa pesquisa pretende abordar conceitos que expressam especificidades no processo de captura de imagens para a agricultura de precisão através do uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) e técnicas de Realidade Virtual (RV), objetivando a extração de informações da variabilidade espacial das lavouras e sua correta interpretação.

A implementação de um sistema de informação específico para a agropecuária de precisão implica em um ciclo fechado de tarefas que devem incluir a geração e análise de mapas:

[...] os usuários e pesquisadores tem como uma verdade já consagrada que o mapa de colheita é a informação mais completa para se visualizar a variabilidade espacial das lavouras. Várias outras ferramentas têm sido propostas para se identificar as manchas existentes em um talhão. É assim que as fotografias aéreas, as imagens de satélite, a videografia e outros têm sido testadas. (MOLIN, 2000, p. 237).

A interpretação de mapas comprehende uma importante ferramenta no processo de aprendizagem para o agricultor, pesquisadores e prestadores de serviço de AP que cercam esta atividade. Distingue-se três etapas importantes na confecção e interpretação destes mapas:

- **A captura ou aquisição destas imagens**, que nesta pesquisa serão obtidas através de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) através de sensores RGB e NIR sobrevoando uma área determinada por coordenadas geográficas.
- **Processamento**, as técnicas voltadas para a análise de dados multidimensionais, adquiridos por diversos tipos de sensores recebem o nome de processamento digital de imagens, ou seja, é a manipulação de uma imagem por computador de modo que a entrada e a saída do processo são imagens. Neste caso elas serão referenciadas através dos dados de localização geográfica do VANT associando a elas as coordenadas de latitude,

latitude e altitude no momento que foram adquiridas. Estes dados podem ser utilizados posteriormente por Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

- **Interpretação dos Dados**, através de técnicas de Visualização da Informação e de Realidade Virtual, com a capacidade de mostrarem graficamente esses dados e de promover a interpretação das informações visando realizar simulações estratégicas.

## 2.2. Veículos Aéreos Não Tripulados

No Brasil, segundo a legislação vigente e regulada pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) através da Circular de Informações Aéreas AIC N 21/10, caracteriza-se como Veículo Aéreo Não Tripulado - VANT toda aeronave projetada para operar sem um piloto a bordo da aeronave. Tal conceito generaliza o uso deste tipo de aeronave e por este motivo o Departamento de Controle Do Espaço Aéreo Brasileiro (DECEA) através da portaria DECEA Número 415/DGCEA, de 9 de novembro de 2015 aboliu o uso da nomenclatura VANT e passou a adotar o termo Sistemas de Aeronaves Não Tripuladas além de criar duas subcategorias para esta nova classificação conforme mostra o Quadro 1.

*Quadro 1 – Classificação do DECEA quanto aos tipos de SARP*

Tipo	Descrição
Autônomos	Aeronaves totalmente autônomas e de uso exclusivo das forças armadas
Automáticos	Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP)

Uma aeronave não tripulada, é considerada autônoma quando apresenta parâmetros e perfil de voo previamente programados, não sendo possível intervenção externa desde o início do voo (decolagem) até a sua conclusão (pouso) e por este motivo está restrito ao uso militar. Já uma aeronave que da mesma forma apresenta parâmetros e perfil de voo previamente programados, mas que permite uma intervenção manual em qualquer fase do voo é considerada automática.

Como a aeronave objeto desta pesquisa possui parâmetros e perfil de voo previamente programados e permite a intervenção manual em qualquer fase do voo

então ela se enquadra na classificação de Aeronave Remotamente Pilotada, assim sendo, este trabalho de agora em diante a tratará por Aeronave Remotamente Pilotada - ARP e não mais pelo termo genérico Veículo Aéreo Não Tripulado - VANT, com exceção as referências dos trabalhos de outros autores citados no texto.

### **2.3. Realidade Virtual**

Para BURDEA et al. (1994), a Realidade Virtual (RV) relaciona-se com interfaces suportadas pela representação de ambientes sintéticos, gerados por computador, em três dimensões, no qual o usuário não somente se sente imerso neste ambiente, como também está habilitado a navegar e interagir com seus objetos de maneira intuitiva e natural, utilizando canais multissensoriais.

A Realidade Virtual é uma Interface Homem-Máquina (IHM) poderosa que permite ao usuário interação, navegação e imersão num ambiente tridimensional sintético gerado por computador através de canais multissensoriais e podendo ser categorizada em: realidade virtual imersiva e realidade virtual não-imersiva (TORI et al., 2006, p. 365).

Um aplicativo de RV pode proporcionar uma experiência sob três aspectos diferentes: Passiva, Exploratória ou Interativa (COSTA e RIBEIRO, 2009, p. 64). Uma experiência de RV passiva proporciona ao usuário uma exploração automática do ambiente sem nenhuma interferência. A rota de navegação e os pontos de observação do usuário são explícitos e controlados exclusivamente pelo software. O usuário não possui controle algum, exceto para encerrar a sessão. Uma experiência de RV exploratória proporciona a exploração do ambiente só que dirigida pelo próprio usuário. É ele quem escolhe a rota e os pontos de observação, mas não pode interagir de outra forma com outros objetos virtuais contidos na cena. Por fim, uma sessão de RV interativa proporciona a exploração do ambiente totalmente dirigida pelo usuário e além disso, os demais objetos do ambiente reagem às ações do participante (KIRNER et al, 2004).

Cardoso e Lamounier (2006) afirmam que Realidade Virtual é uma tecnologia composta pela combinação de computadores de alto desempenho, programas e periféricos especializados para a manipulação de objetos gráficos em um ambiente sintético de aparência realística.

### **3. TRABALHOS CORRELATOS**

Neste capítulo serão apresentados os trabalhos correlatos que ajudaram a fundamentar esta pesquisa. Estes trabalhos enfatizam a importância da utilização de VANT na agropecuária de precisão.

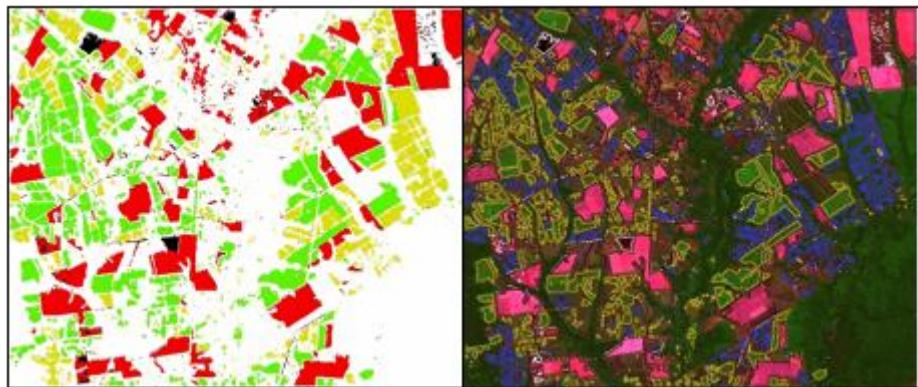
#### **3.1. Redes neurais artificiais na classificação de regiões de culturas de cana-de-açúcar na região da Bacia do Alto Rio Paraguai**

GALVANIN et al (2013) publicaram um trabalho propondo um método utilizando redes neurais artificiais para identificar e classificar as áreas de culturas de cana-de-açúcar a partir de imagens do sensor Thematic Mapper do satélite Landsat 5. Eles criaram, treinaram e testaram 23 redes MLP, usando os valores dos níveis de cinza das bandas 3, 4 e 5, a imagem índice de vegetação Normalized Difference Vegetation Index e valores de medidas de contraste via matriz de coocorrência como entradas. Foram definidas quatro classes de interesse: cana soca madura, cana soca pouco produtiva, áreas em reforma e áreas que sofreram processo de queimada na colheita. O resultado da rede com a melhor classificação foi comparado ao resultado da classificação feita manualmente. A comparação mostrou que a rede conseguiu classificar a maior parte das regiões corretamente, com 82,27% para a acurácia global do usuário e 76,54% para a acurácia global do produtor, sendo que somente não foi eficiente ao classificar as áreas que sofreram processo de queimada na colheita apresentando um número elevado de falsos positivos (74,03%).

Uma classificação manual foi realizada para as 4 classes de interesse para analisar quantitativamente o método escolhido através da elaboração da matriz de confusão e utilizando um método descritivo e outro analítico para determinação da acurácia, o cálculo da acurácia global e o índice Kappa, respectivamente, ambos baseados na matriz de erro.

O método proposto se mostrou viável, muito embora o número de falsos positivos para a classe “Queimada” tenha sido de quase 75% em relação ao número de pixels classificados, ações para corrigir este problema podem ser tomadas, como a elaboração de um conjunto de treinamento mais apropriado, visto que este foi um dos fatores que influenciou diretamente no resultado das classificações das redes testadas, e o uso de outras características das classes além dos valores dos níveis

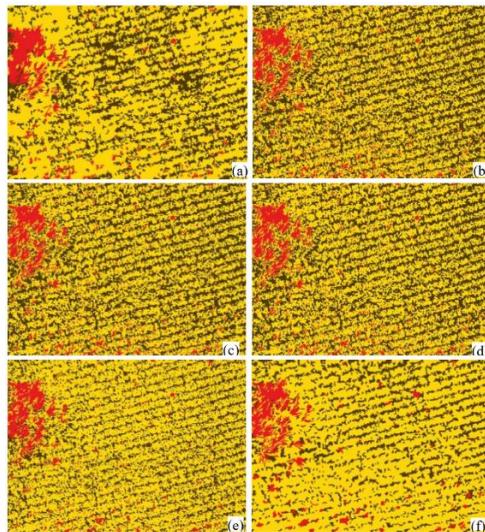
de cinza e a medida de contraste. A figura 3 mostra o resultado da classificação para as 4 classes de interesse.



*Figura 3 – Imagens resultado da classificação. (a) regiões classificadas: Cana 1 (verde), Cana 2 (amarelo), Reforma (vermelho), Queimada (preto) e outros usos (branco); (b) bordas das regiões classificadas sobrepostas à composição colorida (5R4G3B): Cana 1 (amarelo), Cana 2 (azul), Reforma (preto) e Queimada (branco).*

### 3.2. FillGap

Em seu artigo “Avaliação da Intensidade de Uniformização de temas em relação à precisão de mapeamento de plantas daninhas em cultura de soja”, o autor Pereira Neto (2007) desenvolveu um programa de computador, chamado FillGap, para uniformizar os mapas dos campos de plantio de soja para que após interseccionadas com uma imagem classificada manualmente pudesse analisar a precisão do mapeamento das plantas daninhas. O Autor aplica técnicas de visualização da informação para destacar a localização das plantas daninhas conforme mostra a figura 4. Esta mesma figura exibe a aplicação de cinco índices diferentes para a classificação de imagens digitais e também a imagem classificada manualmente.

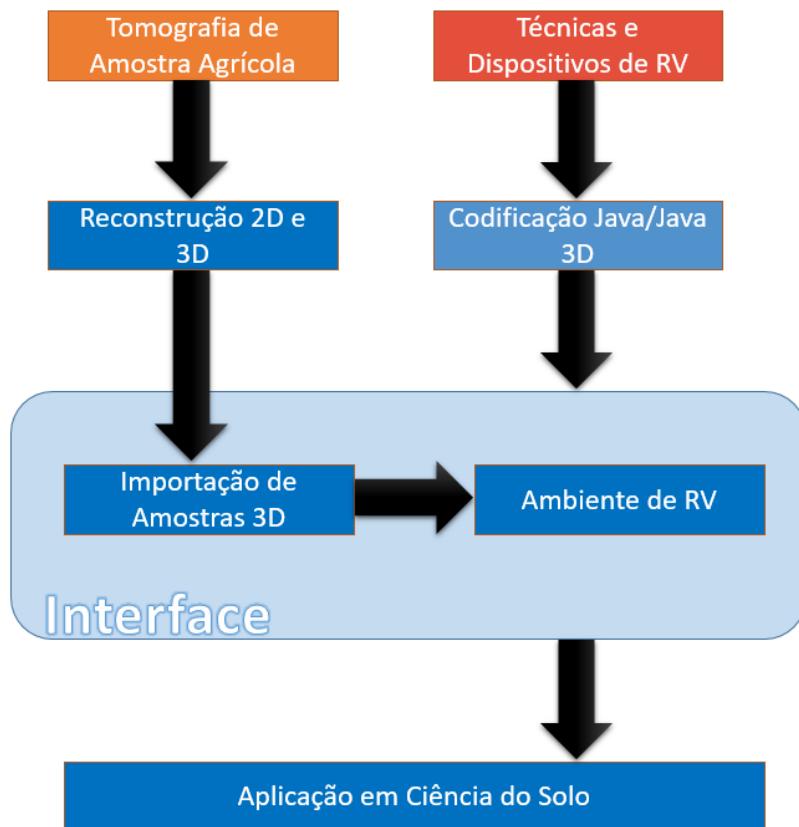


*Figura 4 – (a) Bhattacharya (b) Distância Euclidiana (c) Maxver (d) Maxver-ICM (e) Rede Neural e (f) Classificada Manualmente. (Pereira Neto -2007).*

Como o resultado é um mapa georreferenciado, o agricultor pode identificar rapidamente a localização das plantas invasoras e tomar as medidas necessárias para eliminá-las do plantio.

### **3.3. Análise de imagens tomográficas da ciência do solo em ambiente de realidade virtual**

Botega (2009) propõe a implementação de um ambiente sintético gerado a partir de um algoritmo de reconstrução tridimensional de imagens tomográficas adquiridas através de um equipamento de raio-x aplicado a amostras de solo. O ambiente proposto permite a imersão e a interação do usuário com os objetos em cena possibilitando uma análise não invasiva de amostras de solo na agricultura de precisão. A figura 5 apresenta uma visão geral do sistema de RV para a inspeção de amostras tomográficas de solos e o fluxo dos dados desde a sua aquisição até a visualização das informações geradas.



*Figura 5 – Visão geral do sistema de RV (Botega-2009).*

A figura 6 apresenta a interface do sistema de RV. Com sua implementação, o autor conseguiu identificar diversos resultados, dentre eles:

Na etapa de reconstrução das imagens tomográficas foi possível verificar uma redução no nível de ruído das imagens melhorando a qualidade do produto fornecendo cortes mais fidedignos aos modelos reais do ensaio.

Todas as características originais das amostras ensaiadas puderam ser preservadas permitindo ainda novas medidas, como mensurar o volume de poros das amostras, através do sistema de RV.

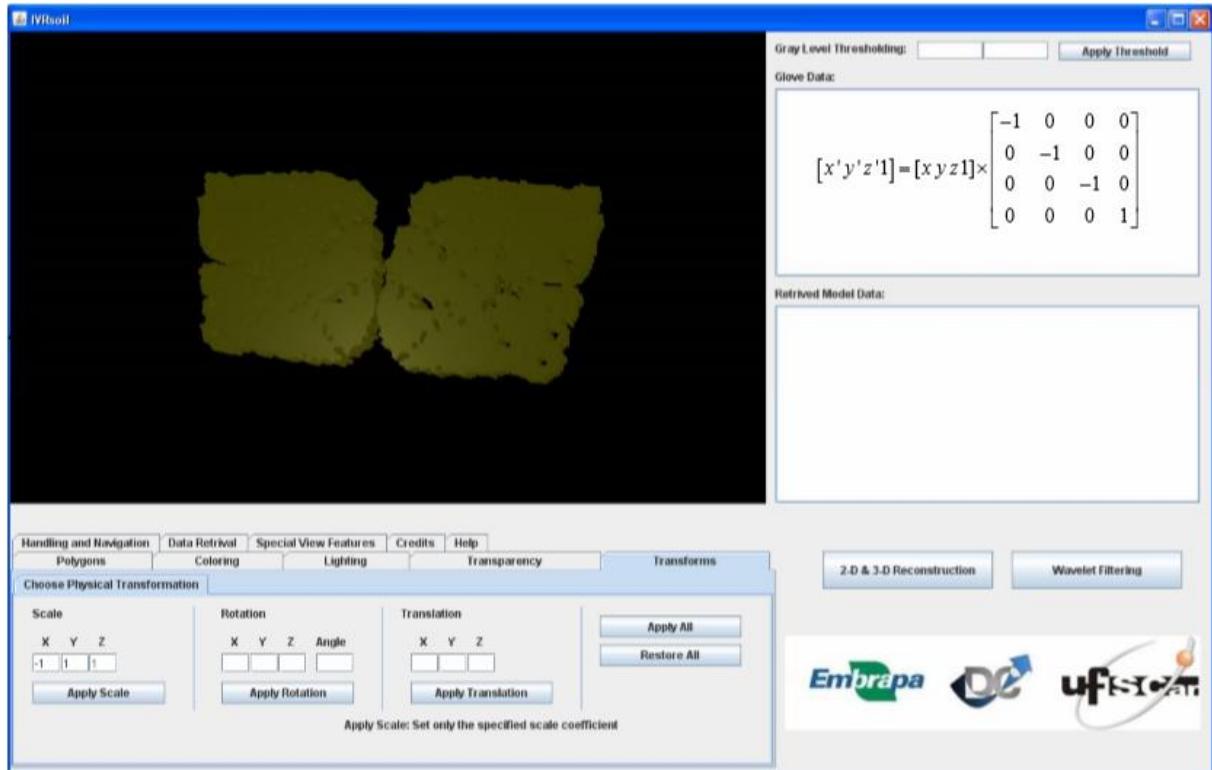


Figura 6 – Interface Implementada do sistema de RV (Botega-2009).

### 3.4. Resumo Comparativo dos Trabalhos Analisados

Apresentando abordagens distintas, os trabalhos analisados enriquecem o conteúdo desta dissertação em diferentes aspectos. O primeiro, “Integração entre veículos aéreos não tripulados e rede de sensores sem fio para aplicações agrícolas”, mostra como o uso de uma aeronave não tripulada pode melhorar o processo de pulverização de agrotóxicos, diminuindo a quantidade aplicada protegendo o consumidor final e o meio ambiente. O segundo trabalho, “FillGap”, mostra como a aplicação de visualização da informação permite a identificação de ervas daninhas em plantios de soja a partir da análise de imagens aéreas. Por último, “Análise de imagens tomográficas da ciência do solo em ambiente de realidade virtual” é o trabalho de maior contribuição para esta pesquisa pois apresenta uma estratégia semelhante de reconstrução em ambiente sintético empregando a Realidade Virtual para trazer imersão e interação para o usuário a partir de imagens obtidas por raio-x servindo assim como prova de conceito da proposta. Mesmo estas informações não tendo origem numa plataforma de aeronave remotamente pilotada, o resultado comprova que é possível fazer a reconstrução de informações agrícolas em ambiente de três

dimensões, capaz de envolver os sentidos do usuário e promover uma experiência rica e envolvente agregando ferramentas para melhorar a compreensão das informações trabalhadas.

O Quadro 2 apresenta os principais tópicos de cada trabalho relacionados com esta dissertação, permitindo o comparativo entre eles.

*Quadro 2 – Quadro comparativo entre os trabalhos correlatos*

Tópico Abordado	Trabalho 1 (VANT + RSSF)	Trabalho 2 (FillGap)	Trabalho 3 (Tomografia + RV)
VANT	✓	✓	✓
Aplicado à Agropecuária	✓	✓	✓
Uso de Imagens Aéreas	✗	✓	✗
Sensores em Solo	✓	✗	✗
Realidade Virtual	✗	✗	✓
Reconstrução da área sobrevoada em 3D	✗	✗	✗
Modelo digital de elevação do terreno (DEM)	✗	✗	✗

✓ - SIM      
 ✗ - NÃO      
 ✳ - FORMA PARCIAL OU APROXIMADA

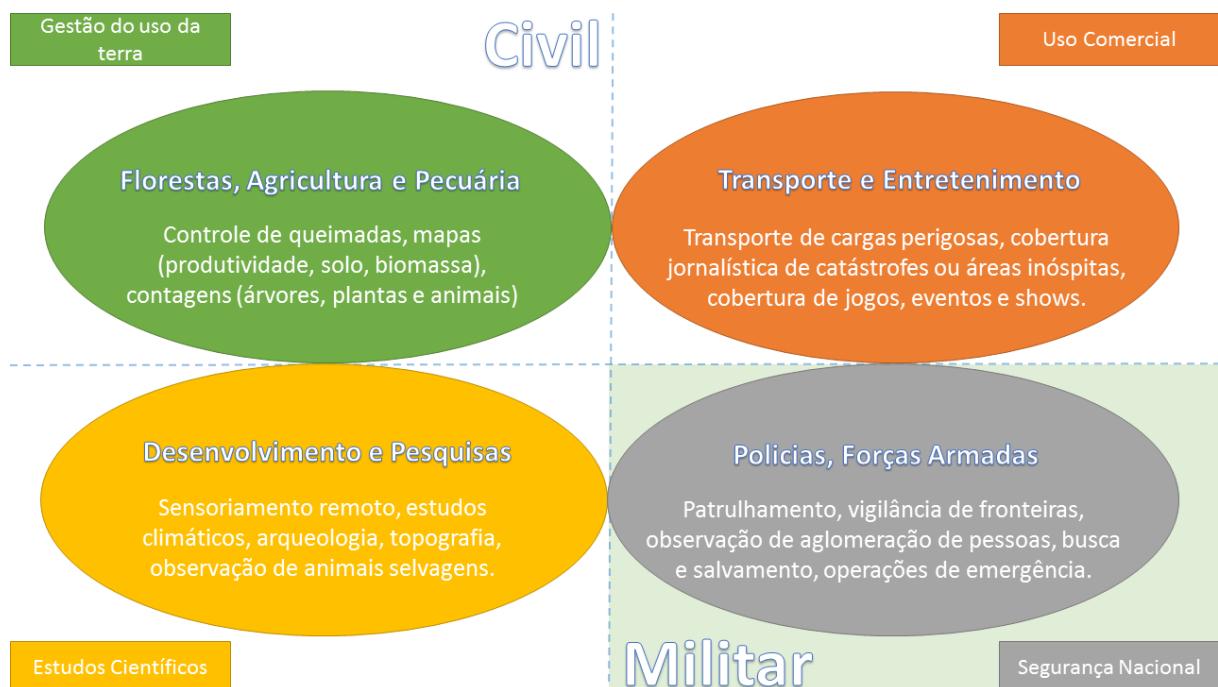
O escopo para a elaboração de um sistema de aquisição e visualização de dados para a agropecuária de precisão utilizando Veículos Aéreos Não Tripulados – VANT foi baseado nos tópicos abordados e analisados nos trabalhos correlatos e será apresentado nos capítulos a seguir.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo reúne os conceitos fundamentais da pesquisa bem como as especificações técnicas do sistema de aquisição de imagens escolhido para o desenvolvimento deste trabalho.

### 4.1. Definição da plataforma de aquisição de imagens aéreas

Aeronaves Remotamente Pilotadas estão sendo regulamentadas em todo o mundo, países como Austrália e Estados Unidos já criaram leis específicas para sua utilização, o infográfico da figura 7 apresenta como esta utilização pode ser classificada, baseada na proposta de Cox et al (2004).



*Figura 7 – Classificação quanto a utilização de ARP (adaptado de Cox et al, 2004).*

Outra classificação importante é quanto ao tipo de asas da ARP, o infográfico da figura 8 extraída da monografia de Santos (2008) ilustra este conceito.

## ARP – Tipos de Asas



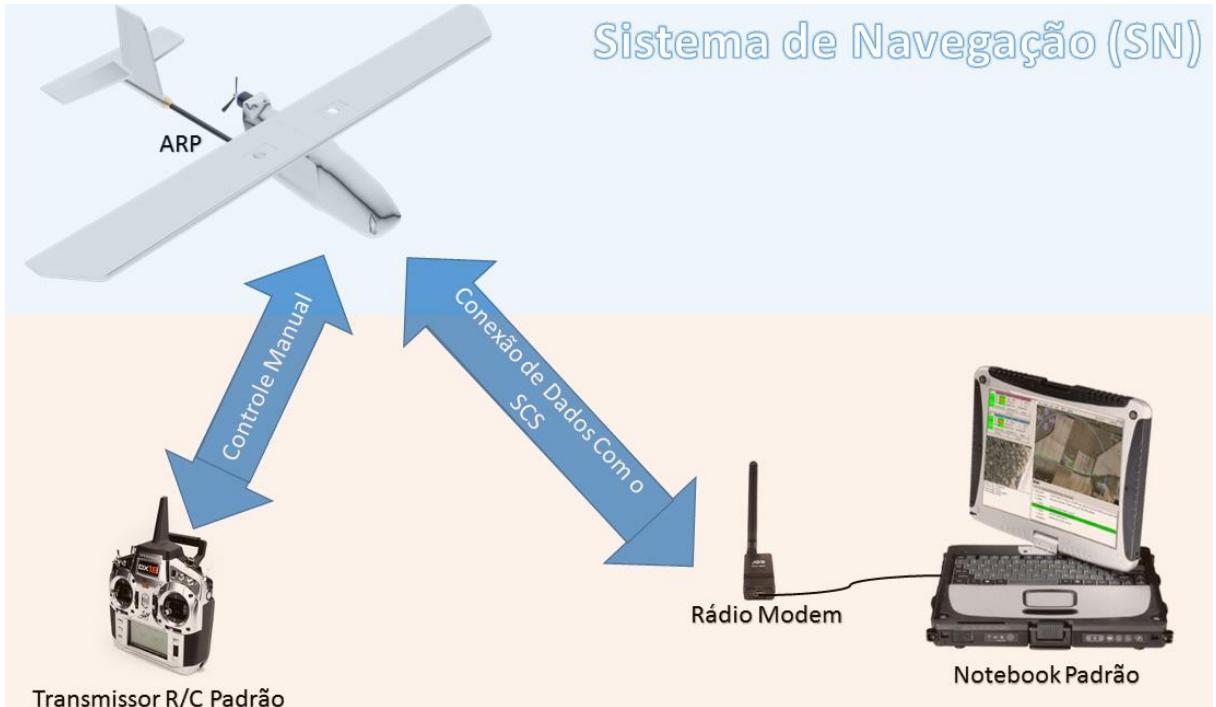
Figura 8 – Classificação quanto ao tipo de asas de ARP (adaptado de Santos-2008).

Para efeito de regulamentação da operação de ARP no Brasil, a ANAC também propõe uma classificação conforme o peso da aeronave. O Quadro 3 apresenta esta classificação:

Quadro 3 – Classificação da ANAC quanto ao peso da ARP

Classe	Peso
1	Maior que 150kg
2	Maior que 25 kg e Menor ou Igual a 150kg
3	Menor ou Igual a 25kg

O conceito de uma plataforma ARP está inserido no contexto de um sistema complexo, por isso a ANAC define esta plataforma como Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP). A figura 9 mostra os dois principais subsistemas que compõe um SARP, o Sistema de Controle em Solo (SCS) e o Sistema de Navegação (SN) a bordo da aeronave.



### Sistema de Controle em Solo (SCS)

*Figura 9 – Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (Adaptado de Brisset et al., 2006).*

A plataforma escolhida para aquisição das imagens aéreas, segundo as classificações apresentadas, possui as seguintes características:

- Asa fixa. Por ser necessário cobrir grandes áreas, tanto na agricultura quanto na pecuária, a autonomia de voo acima de uma hora e a velocidade de operação em torno de 90km/h foram características decisivas na escolha.
- Classe três na classificação da ANAC, com peso final para decolagem de aproximadamente 3kg quando embarcada com os sensores para imagens (RGB e NIR) e de 3.2kg quando embarcada com o sensor RFID.
- O aeromodelo de mercado escolhido para compor esta plataforma foi o modelo New Skywalker 2013, adquirido através do site FPV Model com 188 centímetros de envergadura e 129 centímetros de comprimento, com propulsão elétrica.

## 4.2. Fotogrametria

A obtenção de informações confiáveis de objetos e do meio ambiente através do estudo de imagens fotográficas, incluindo processos de gravação, medição, interpretação e análise definem o conceito de fotogrametria segundo Abib (1982). Para este autor, a fotogrametria é a ciência que permite que se faça medições precisas representadas por uma fotografia permitindo a obtenção de atributos como forma, natureza, dimensões e posição no espaço.

A aerofotogrametria é a ciência relacionada ao estudo de fotografias aéreas através de técnicas definidas na fotogrametria convencional. Para RAY (1963) fotografias aéreas são utilizadas para obter informações geológicas qualitativas e quantitativas. Sua interpretação é feita a partir de mapas e baseada em elementos como tom, cor, textura, padrões, relação entre características associadas, forma e tamanho.

Imagens para aerofotogrametria podem ser obtidas através de sensores instalados em aeronaves ou satélites como por exemplo: câmeras fotográficas digitais, scanners a laser ou ultrassom. A melhor resolução de uma imagem obtida por um satélite é de aproximadamente quinze centímetros por pixel, ou seja, cada pixel da imagem representa quinze centímetros do objeto alvo. Esta resolução é alcançada pelo LANDSAT-7 que orbita a terra a setecentos e cinco quilômetros de altitude. Uma aeronave voando a três mil metros de altitude consegue uma resolução aproximada de dez centímetros por pixel.

A estéreo fotogrametria é a inclusão da noção de profundidade, baseada na percepção do olho humano, aplicada na reconstrução tridimensional do mapa a partir de pares de imagens da mesma cena, mas obtidas em posições diferentes GONÇALVES (1995). Com a introdução deste conceito bem como a digitalização do processo de aquisição das imagens em conjunto com a identificação de suas respectivas coordenadas geográficas foi possível a criação de mosaicos georreferenciados. Um mosaico é um tipo de mapa cartográfico composto por várias imagens adjacentes de uma mesma área e que após alinhadas representam está área de uma maneira mais ampla e com detalhes geográficos.

Aplicando-se algoritmos de processamento digital de imagens é possível gerar uma representação em três dimensões do terreno contido em um mosaico georreferenciado, incluindo suas métricas reais. Este tipo de processamento é

conhecido como reconstrução de superfícies e é baseado na geração de uma nuvem de pontos que representa toda a cena reconstruída e que pode posteriormente ser utilizada em diversas áreas e aplicações, como: modelagem e animações em 3D, efeitos especiais, indústria de jogos, simulações e sensoriamento remoto.

As técnicas para a reconstrução 3D de superfícies de terrenos não são objetos desta pesquisa e, portanto, não serão abordadas.

#### **4.3. Sensores**

Os objetos dispostos na superfície da terra, cuja temperatura absoluta esteja acima de zero Kelvin refletem e absorvem de maneira seletiva, dependendo da sua composição molecular, a energia eletromagnética dos raios solares em forma de radiação (Martins, 1994). Segundo Rosa (1992) esta energia pode ser associada tanto à capacidade de emissão quanto à capacidade de absorção deste corpo e seu registro é composto por diferentes intervalos espectrais (canais ou bandas) podendo formar uma imagem multiespectral.

Para Novo (1992) um sensor é definido como qualquer equipamento capaz de captar alguma forma de energia gerada por um corpo e transformá-la em um sinal passível de ser convertido em uma informação precisa sobre esta forma de energia captada. Ainda segundo Novo (1992), os sensores atuais podem ser classificados conforme a fonte de energia, a região do espectro ótico em que operam e também quanto ao produto final obtido através da transformação sofrida pela radiação captada, esta classificação é mostrada com mais detalhes no infográfico da figura 10.



Figura 10 – Tipos de Sensores, adaptado de Novo (1992).

As informações utilizadas neste trabalho para gerar o índice vegetativo (NDVI) nas aplicações para a agricultura de precisão se encontram na parte reflexiva compreendida entre 0.38 µm e 1.3 µm do comprimento de onda do espectro ótico. A figura 11 detalha os canais ou bandas multiespectrais do espectro ótico onde estão localizadas as áreas visíveis (RGB) e o infravermelho próximo (NIR).

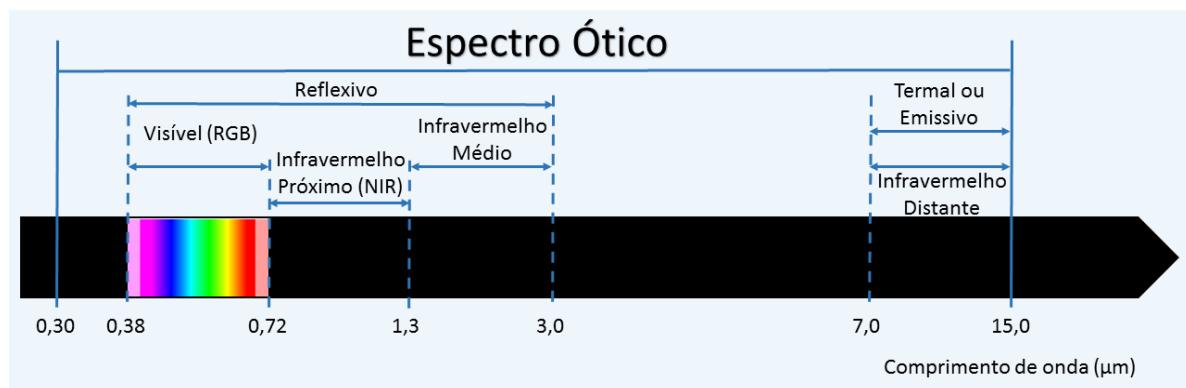


Figura 11 – Canais ou bandas do espectro ótico, adaptado de Novo (1992).

Para este trabalho serão utilizadas duas câmeras fotográficas digitais como sensores de imagem, pois irão produzir imagens multiespectrais. Estes sensores serão passivos, uma vez que não possuem sua própria fonte de radiação. Quanto ao espectro ótico, o Quadro 4 abaixo mostra em qual área cada sensor atua:

Quadro 4 – Sensores utilizados neste trabalho

<b>Tipo</b>	<b>Descrição</b>
Câmera Fotográfica Digital RGB	Captação de imagens aéreas na área visível do espectro ótico.
Câmera Fotográfica Digital NIR	Captação de imagens aéreas do infravermelho próximo já na área invisível do espectro ótico.

Foram escolhidas duas câmeras S110 da Canon, sendo que em uma delas o filtro infravermelho foi removido para que a mesma pudesse obter imagens da banda NIR.

A figura 12 mostra como um sensor instalado em uma ARP capta a energia eletromagnética emitida pelo sol quando refletida por diferentes superfícies de objetos localizados no meio ambiente.

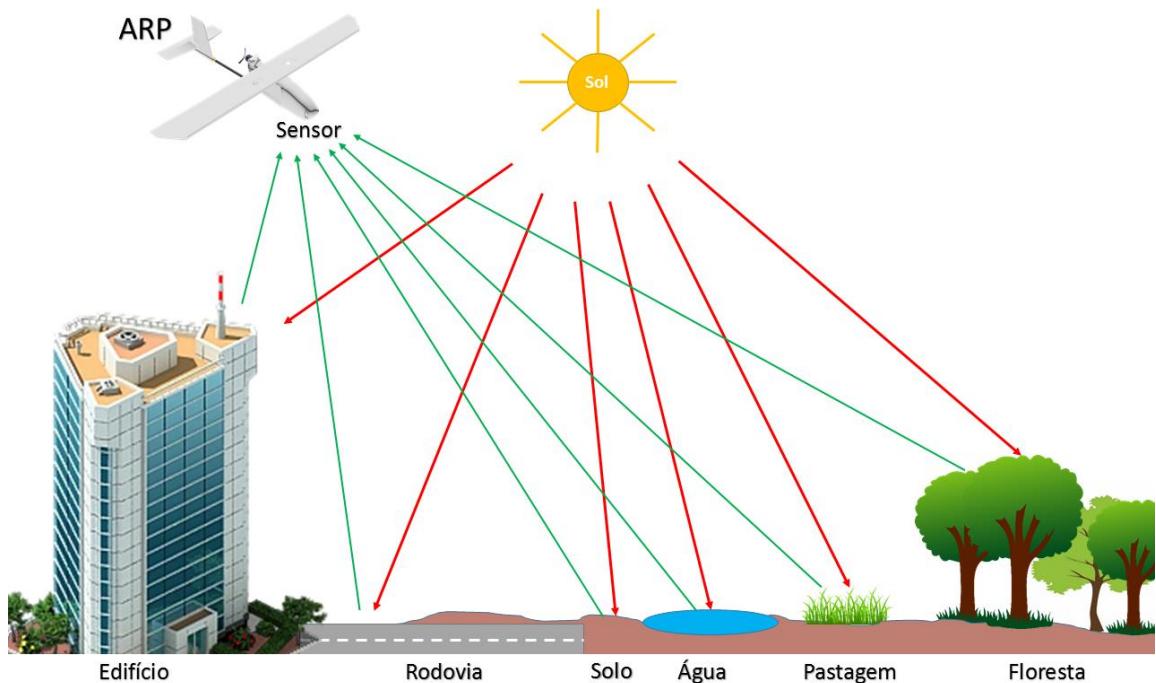
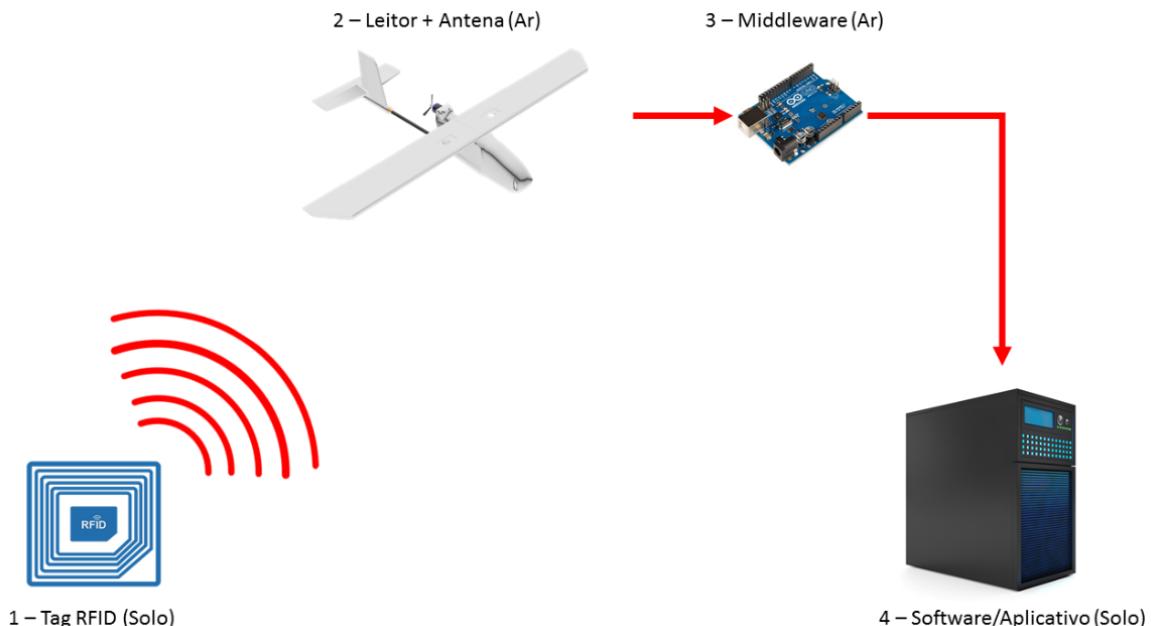


Figura 12 – Energia eletromagnética solar refletida em superfícies distintas.

#### 4.4. SISTEMAS RFID

A tecnologia de identificação por rádio frequência, conhecida pelo termo em inglês RFID é composta basicamente por quatro componentes, conforme mostra a figura 13.



*Figura 13 – Componentes de uma solução RFID (Adaptado de Roberti, 2004).*

Para Roberti (2004), os componentes que formam um sistema de RFID são:

1. Tag RFID é a etiqueta inteligente, com um chip encapsulado onde é gravado a informação. Ela pode ser com bateria (ativa) ou sem bateria (passiva). A distância de propagação do sinal de rádio atinge até 200 metros nas Tags ativas e até 16 metros nas Tags passivas. Para cada tipo de ambiente (sujo, úmido, baixa ou alta temperatura, corrosivo, etc) determina-se o tipo ideal de material para encapsular o chip, que pode ser plástico, vidro, tecido, madeira, couro, etc. Uma Tag RFID também pode ser encontrada em diversos formatos e dimensões (espessura, comprimento e largura).
2. O leitor (reader) de uma Tag RFID possui uma antena para captar o sinal de rádio emitido por ela. O leitor pode ser fixo, por exemplo quando montado em um portal como nas praças de pedágios, neste caso a Tag

RFID (acoplada ao veículo) é quem passa por ele, ou pode ser móvel, onde o mesmo é deslocado até o local onde a Tag RFID está. Para este trabalho o leitor fica acoplado à aeronave.

3. Middleware é o software para o tratamento de dados capturados da Tag. Diferente de uma etiqueta de código de barras são capturadas várias etiquetas simultaneamente, várias vezes. Por isso, o leitor precisa de um algoritmo que permita processar e armazenar estas leituras simultâneas. Para este trabalho o Middleware fica acoplado à aeronave e seus dados devem ser descarregados após cada voo.
4. O aplicativo ou software é o destino final dos dados armazenados no middleware, é ele quem agrupa “inteligência” aos processos.

Esta tecnologia foi criada para rastrear produtos na cadeia produtiva com informações como origem, destino, nome do fornecedor, validade e o que mais possa ser armazenado para agregar informações a estes produtos. No Brasil está sendo amplamente utilizada para o pagamento de pedágios nas rodovias sob concessão privada.

Para este trabalho, no experimento de contagem de gado descrito no capítulo sete, foi utilizada a Tag RFID ativa por limitações técnicas da tecnologia atual. Como a Tag RFID passiva depende da proximidade da antena do leitor, a aeronave teria que voar muito baixo para conseguir ler o dispositivo passivo e isto inviabilizaria a aplicabilidade da solução pois tratando-se da pecuária extensiva em grandes áreas de pastagem, quanto mais alto a aeronave voar maior será a cobertura do sistema em um voo.

#### **4.5. Redes Neurais Artificiais**

Para FAUSETT (1994), as redes neurais artificiais (RNA) são sistemas computacionais utilizados para o reconhecimento e a classificação de padrões, sendo seu modelo de treinamento construído analogamente ao aprendizado humano (FAUSETT, 1994). Uma de suas principais características é a sua capacidade de generalização utilizando pesos sinápticos para armazenar seus conhecimentos.

Na fase de treinamento, alguns padrões de entrada são apresentados e processados pela rede, assim os pesos sinápticos vão sendo ajustados conforme

estes padrões de entrada. Após o treinamento e os ajustes dos pesos a rede neural artificial se torna capaz de classificar adequadamente qualquer padrão de entrada, dentro do mesmo domínio, mesmo os padrões diferentes dos utilizados para o treinamento. A eficiência na classificação dos padrões de entrada depende da configuração e da complexidade dos padrões apresentados.

Existem diversos tipos de redes neurais artificiais, classificadas conforme sua arquitetura. Cada uma delas sofre uma variação no algoritmo de treinamento e reconhecimento de padrões. Uma rede neural artificial pode conter desde uma camada com um único neurônio até mesmo diversas camadas com diversos neurônios em cada uma.

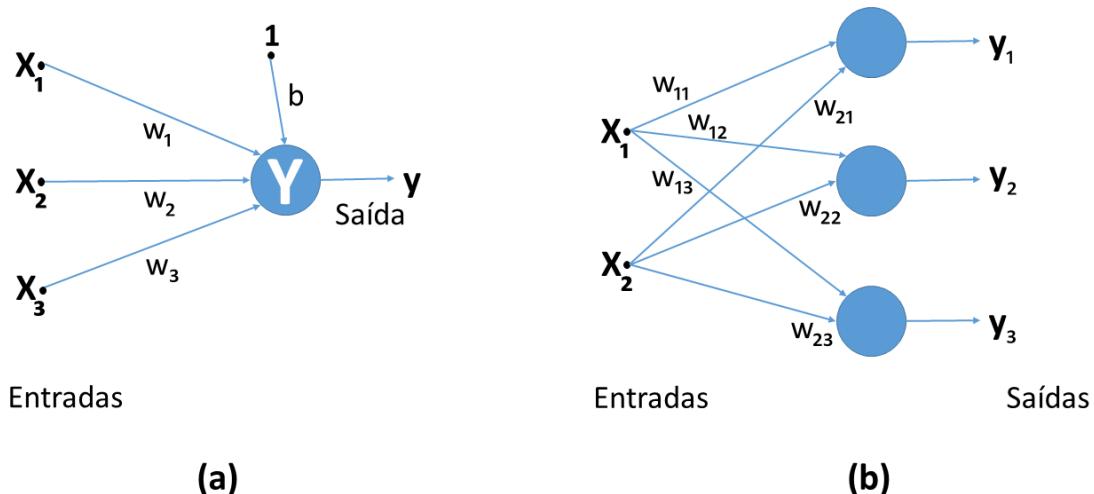


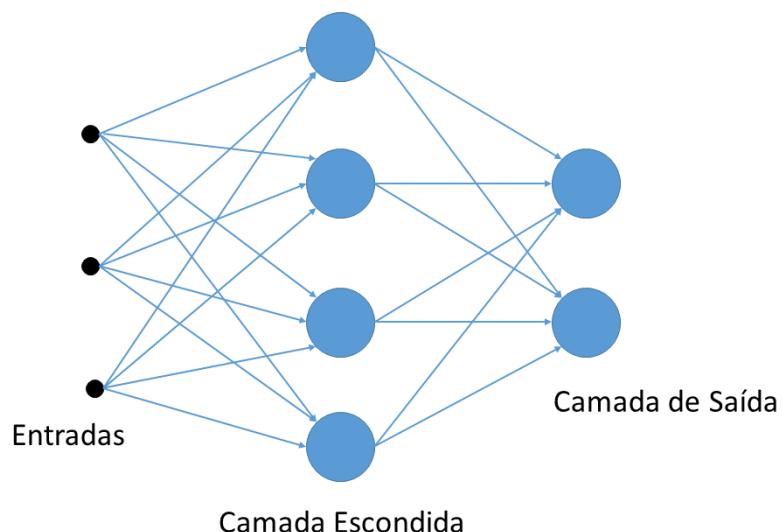
Figura 14 – (a) Neurônio Artificial (b) RNA de uma camada.

A figura 14 (a) mostra a representação de um neurônio artificial Y que recebe sinais  $x_1$ ,  $x_2$  e  $x_3$  de entrada e tem como pesos sinápticos  $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$  e  $b$ . Já a figura 14 (b) mostra uma rede neural artificial de uma camada com três neurônios.

Para que a eficiência de uma rede neural artificial possa ser ajustada, parâmetros como taxa de aprendizado ( $\alpha$ ), decaimento da taxa de aprendizado, tolerância e outros podem ser alterados, permitindo um refinamento no ajuste fino dos pesos sinápticos durante a fase de treinamento, o que otimiza a classificação durante a sua execução (FAUSETT, 1994).

YUAN et al. (2009) fizeram um estudo de caso no contexto das redes neurais artificiais para a classificação de padrões em imagens de satélite, utilizando três tipos de redes neurais: MLP, SOM e uma combinação de SOM com AS. Elas foram aplicadas na classificação do uso e cobertura do solo, incluindo culturas agrícolas, a partir de imagens do sensor Thematic Mapper (TM) do satélite Landsat (Landsat TM 5, 1987-1988). A rede MLP obteve o melhor desempenho dentre as três redes analisadas, assim, no estudo de caso do capítulo sete, também será utilizada uma rede neural artificial com arquitetura de múltiplas camadas em um aplicativo em que a quantidade de neurônios em cada camada possa ser ajustada, para que se encontre a arquitetura com o melhor resultado para o problema proposto no experimento.

A MLP é uma rede supervisionada, esta característica determina que o ajuste dos pesos sinápticos é submetido a uma avaliação durante a fase de treinamento. Este treinamento consiste em um método de retropropagação do erro ou backpropagation (CAETANO, 2012). O algoritmo backpropagation considera toda a rede como uma função alterando seus termos para que o erro calculado pela diferença do valor esperado com o valor gerado por um determinado neurônio na camada de saída seja menor a cada iteração do algoritmo. Desta forma tem-se a equação do erro em função do termo que se deseja alterar. Os termos que são alterados são os pesos das conexões sinápticas, um de cada vez.

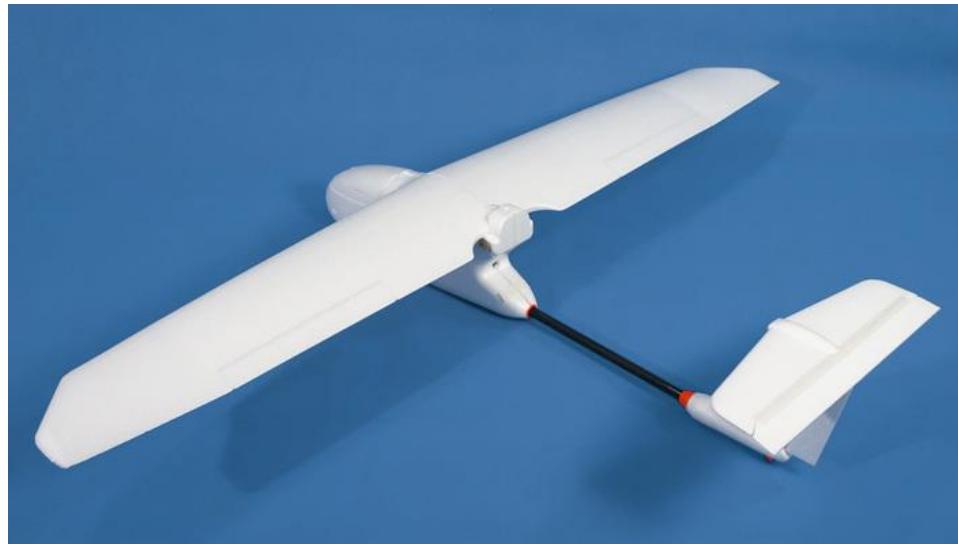


*Figura 15 – Representação da arquitetura de uma rede MLP.*

A figura 15 mostra a representação genérica da arquitetura de uma rede neural artificial MLP, neste exemplo contendo três entradas, quatro neurônios na camada escondida e dois neurônios na camada de saída. Esta arquitetura surgiu para resolver problemas não linearmente separáveis e vem sendo utilizadas em diversos problemas com sucesso (HAYKIN, 1991).

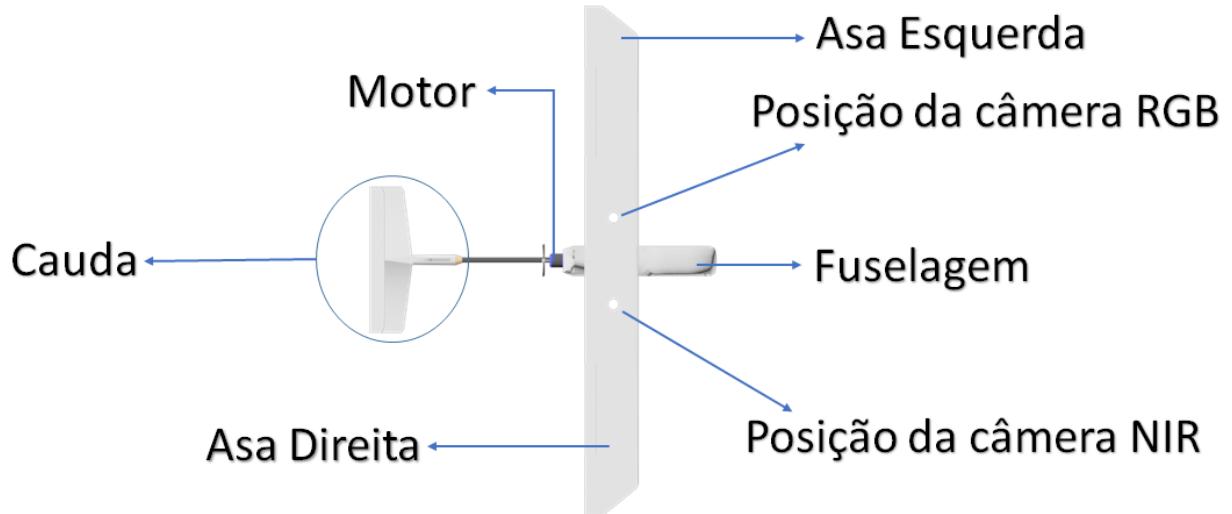
## 5. CONSTRUÇÃO DA AERONAVE

As Aeronaves Remotamente Pilotadas de pequeno porte geralmente são montadas a partir de aeromodelos de mercado como o aeromodelo mostrado na figura 3 e que foi escolhido para ser a ARP para este trabalho. Esta aeronave foi equipada com equipamentos para a navegação, como sensores iniciais e GPS.



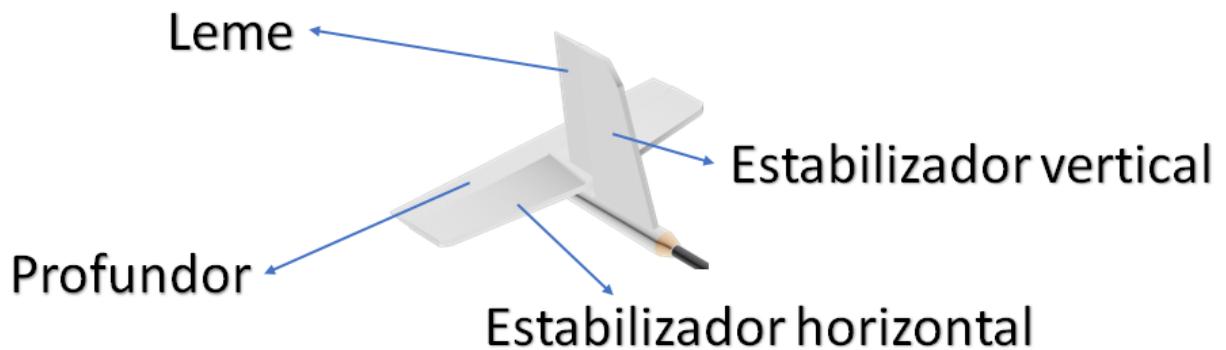
*Figura 16 – Aeromodelo de Mercado (New Skywalker 2013, FPV Model).*

Com o intuito de minimizar seu custo final, a aeronave possui fuselagem, asas e estabilizadores feitos de isopor resistente, o que além de mais barato, protege os equipamentos e sensores de uma eventual queda. A figura 17 destaca as partes principais que compõe a aeronave.



*Figura 17 – Partes principais da aeronave remotamente pilotada.*

A figura 18 detalha as partes que compõem a Cauda. O estabilizador horizontal é removível para evitar danos durante o transporte para o campo.



*Figura 18 – Detalhes da cauda da aeronave.*

A propulsão da aeronave é feita através de um único motor elétrico de 770 kv alimentado por uma bateria do tipo Li-Po (polímeros de lítio) de 4 células, totalizando 14,8 volts. A autonomia da aeronave com esta motorização e em velocidade padrão de operação (36 Km/h) é de 1 hora e 30 minutos. A aeronave é equipada com diversos instrumentos e sensores: barômetro, giroscópio, acelerômetro, bússola, GPS, telemetria, rádio controle e módulo piloto automático.

### **5.1. Barômetro**

Responsável por medir a pressão atmosférica durante a execução do voo para determinar indiretamente a altitude da aeronave (JIONG, 2010). É um microchip embutido no Módulo de Piloto Automático – MPA.

### **5.2. Giroscópio**

Segundo ACAR et al. (2009), é um dispositivo que mede a velocidade ou posição angular de um objeto em torno do seu eixo de rotação, baseado no princípio da inércia. Pode-se definir seus ângulos de orientação no sistema de coordenadas global z, y e x respectivamente como guinada, arfagem e rolagem. O MPA possui um giroscópio embarcado responsável por detectar a direção do movimento da aeronave, servindo como referência para sua navegação automática.

### **5.3. Acelerômetro**

Responsável por calcular a aceleração própria da aeronave, ou seja, a sensação de peso em relação a um determinado referencial quando em movimento. É outro microchip embutido no MPA e suas informações são utilizadas por um algoritmo no software de navegação para identificar a inclinação e a vibração da aeronave. Este software é o APM (<http://www.plane.ardupilot.com>), seu uso é gratuito mesmo para aplicações comerciais e é compatível com o MPA de diversos fabricantes como o Arduplane® e o PixHawk® da 3D Robotics (<http://www.3dr.com>).

### **5.4. Bússola**

Determina as direções horizontais da aeronave a partir do meridiano magnético terrestre. A bússola utilizada pela aeronave é compatível com o Arduplane® e o PixHawk®, mas diferente dos outros instrumentos, ela deve ficar fora do MPA devido a sua sensibilidade às ondas eletromagnéticas geradas por ele.

## 5.5. GPS

A aeronave possui um receptor GPS com 5Hz de taxa de atualização para orientá-la durante o voo automático. O GPS utilizado pela aeronave é compatível com o Arduplane® e o PixHawk®, mas pelos mesmos motivos da bússola, ele fica fora do MPA evitando assim as interferências eletromagnéticas. O modelo utilizado é o u-blox NEO-7 que já vem com a bússola integrada.

## 5.6. Telemetria

É responsável pela comunicação serial entre o Sistema de Navegação - SN a bordo da aeronave e o Sistema de Controle em Solo – SCS através de um enlace de rádio de 915 Mhz.

A comunicação se dá através do protocolo MAVLink. Muito leve, foi desenvolvido por Lorenz Meier em 2009 especificamente para aeronaves não tripuladas de pequeno porte, baseia-se em uma mensagem composta somente por um cabeçalho contendo o código do tipo da mensagem a ser transmitida. Existe uma biblioteca contendo todos estes códigos para validar a mensagem. Ele é muito eficiente para empacotar estruturas de dados sobre canais seriais.

## 5.7. Rádio Controle

É um sistema comum em aeromodelismo, composto de um rádio transmissor comandando pelo operador e um rádio receptor embarcado na aeronave. Estes dois rádios se comunicam de maneira que torne possível que o operador comande remotamente a aeronave. O sistema de rádio controle utilizado opera na frequência de 2.4Mhz.

Por ser rádio controlada, a aeronave dever ser comandada por um operador treinado e maior de 18 anos, garantindo uma operação segura do equipamento. É recomendado seguir as regras definidas pela Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC.

## 5.8. Módulo de Piloto Automático - MPA

Para que uma aeronave comum se torne uma aeronave não tripulada ou remotamente pilotada é necessário que um computador seja o responsável por seu sistema de navegação, este computador é o módulo de piloto automático. Em seu projeto MedizDroids, AMENYO et al (2014) utilizam o Arduplane® fabricado pela 3D Robotics (<http://www.3dr.com>) baseado na placa de prototipação Arduino®. Uma vez que este modelo é o mais barato encontrado no mercado, foram feitas análises em laboratório para verificar se suas características atendem as necessidades do projeto e o após interligar todos os instrumentos e sensores da aeronave o resultado foi positivo e este modelo foi então adotado.

O MPA é capaz de direcionar a aeronave até um ponto pré-determinado pelo operador mantendo a direção e a altitude especificada. Ele também pode ser acionado para que em caso de emergência a aeronave retorne para o local de onde decolou, evitando assim a perda dos equipamentos.

Todos os dados do voo são salvos na memória do MPA para que posteriormente, em um processamento pós voo, possam ser utilizadas para extrair informações como: duração do voo, caminho percorrido, coordenadas geográficas (latitude, longitude, altitude, guinada, inclinação e rotação) do momento em que cada imagem foi capturada, etc.

Toda a operação do MPA é executada pelo software APM (<http://www.plane.ardupilot.com>), incluindo a comunicação com o Sistema de Controle em Solo, a navegação da aeronave, a execução dos planos de voo e a detecção de falhas operacionais.

A figura 19 mostra a localização de todos os equipamentos na aeronave.

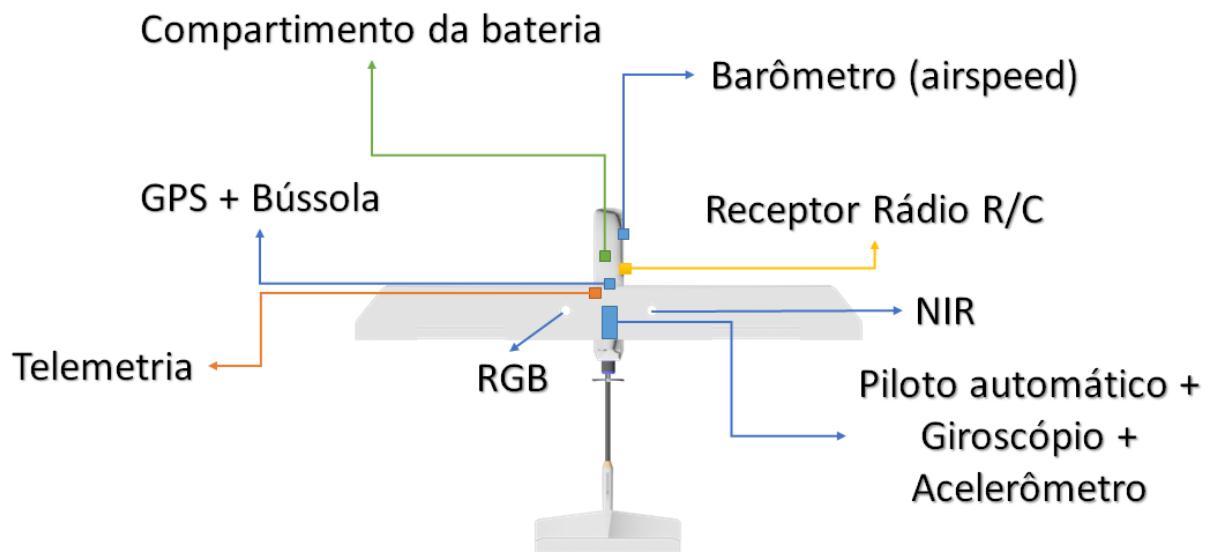
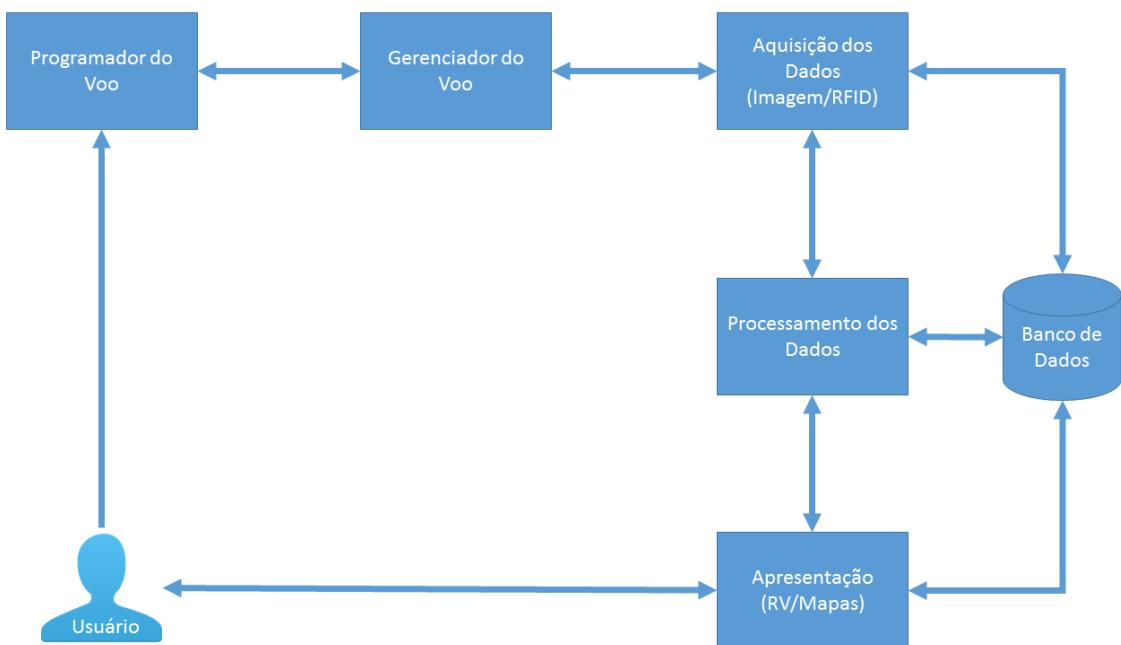


Figura 19 – Localização dos equipamentos na aeronave

## 6. ARQUITETURA

Este capítulo propõe a arquitetura do sistema de informação para a agropecuária de precisão baseado na aquisição de informações através de Aeronave Remotamente Pilotada - ARP.

A figura 20 apresenta o diagrama de blocos das principais atividades do sistema de informação proposto.



*Figura 20 – Diagrama de blocos do sistema de informações proposto.*

### 6.1. Programador do Voo

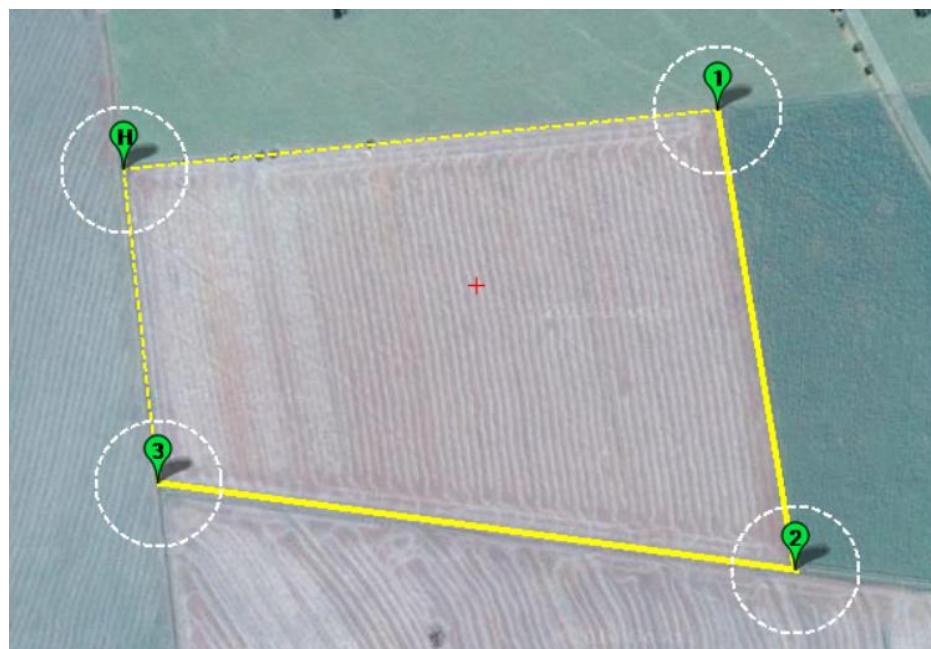
Para dar início ao trabalho de levantamento das informações relevantes à agropecuária de precisão, alguns parâmetros precisam ser definidos para a aquisição das informações, dentre eles os mais importantes são:

- A área a ser sobrevoada.
- A velocidade do voo.

A Aeronave Remotamente Pilotada executará um voo ou missão, sobre uma determinada área. Tal missão é definida por uma lista de Pontos de Caminho, do

inglês (Waypoints) e cada ponto se refere a uma coordenada geográfica formada pelo conjunto latitude, longitude e altitude.

O computador a bordo da aeronave, na forma de um Piloto Automático, recebe uma lista de pontos durante esta fase de planejamento. Esta lista pode representar uma cerca virtual da qual a ARP não pode sair, ou representar a sequência de pontos que devem ser visitados sucessivamente desde o primeiro ponto até o último ponto da lista. A decisão de como a lista de pontos será utilizada depende o tipo de captura de dados a ser realizada. A Figura 21 mostra a representação de pontos de caminho em um mapa.



*Figura 21 – Pontos de Caminho (Waypoints).*

O sistema propõe dois tipos de captura de dados:

- Por Imagens.
- Por leitura de dispositivo RFID.

#### **6.1.1. Captura de dados utilizando Imagens**

Para uma missão de aquisição de imagens o que se pretende produzir é um mapa da área desejada, na forma de um mosaico, a ser aplicado à agricultura de precisão. Para o planejamento deste tipo de missão o aplicativo Mission Planner®,

mostrado na figura 22, pode ser utilizado. Este aplicativo é do tipo Open Source e é o produto de um trabalho colaborativo, onde vários desenvolvedores do mundo inteiro contribuem para o seu desenvolvimento.



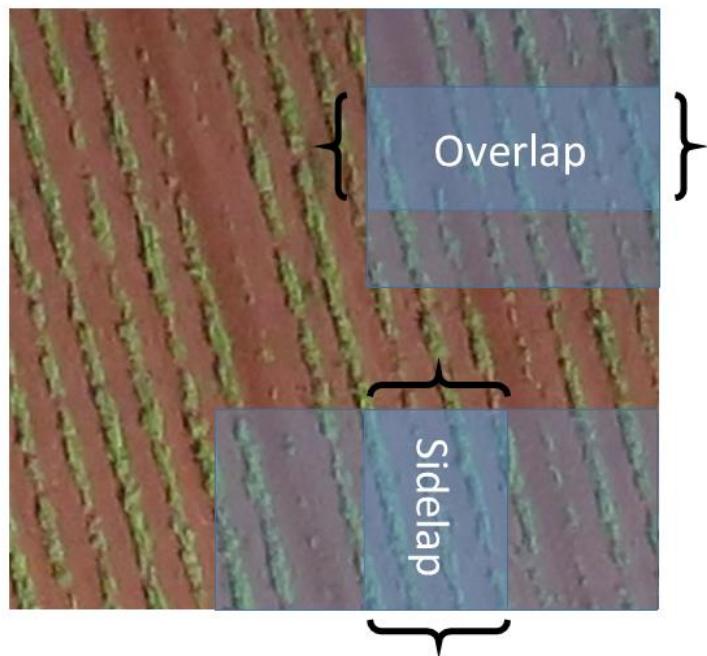
Figura 22 – Aplicativo Mission Planner®.

O Mission Planner® permite a configuração de todos os parâmetros da missão e depois de tudo definido ele gera a lista de pontos de caminho. O primeiro ponto desta lista é representado pela letra H (do inglês, Home) e os pontos seguintes são numerados na ordem que devem ser visitados.

Os principais parâmetros a serem configurados são:

- A área a ser fotografada: Traça-se um polígono, conforme pode ser visto na figura 16 definido pelas linhas vermelhas delimitando a área de interesse.
- A câmera que será utilizada: O processamento fotogramétrico necessita das medidas da câmera, dentre elas altura e largura da foto em pixels e a distância focal da lente em milímetros.
- A altitude do voo.
- A velocidade do voo.

- A sobreposição frontal (overlap): Indica o percentual que uma mesma cena capturada por uma foto deve ser repetida na próxima foto. A figura 17 mostra um exemplo de sobreposição frontal.
- A sobreposição lateral (sidelap): Indica o percentual que uma mesma cena capturada por uma foto deve ser repetida quando a aeronave voltar na linha lateral. A figura 23 mostra um exemplo de sobreposição lateral.



*Figura 23 – Sobreposição Frontal (Overlap) e Lateral (Sidelap).*

Com base nestes parâmetros o aplicativo consegue calcular o tempo de voo, a quantidade de fotografias a serem tiradas e principalmente de quantos em quantos metros o piloto automático deve comandar a câmera para que ela tire cada foto, assim durante o percurso tem-se a quantidade necessária de fotos para a geração do mosaico.

A lista de pontos de caminho é definida por um arquivo texto e pode ser gerado por um aplicativo como o Mission Planner® ou pode ser digitado manualmente se for necessário pois possui uma estrutura muito simples, conforme mostra a figura 24.

ID;Latitude;Longitude;Altitude;Velocidade

*Figura 24 – Estrutura do arquivo de lista de pontos de caminho.*

### **6.1.2. Captura de dados utilizando Tag RFID**

Para este tipo de missão a ARP deverá ser equipada com uma antena receptora de sinais RFID e sua aplicação será para a contagem de animais nos campos de pastagem. Os dispositivos localizados nos brincos nas orelhas dos animais vão emitir um sinal, contendo um número único que os identifique e que será capturado pela ARP no momento que forem sobrevoados, salvando assim o número do animal e a localização geográfica da aeronave no momento da leitura em um arquivo de texto no piloto automático. Este arquivo deve ser salvo ao final de cada missão.

Para planejar a missão o aplicativo Mission Planner® também pode ser utilizado, mas com uma pequena diferença, somente a área de interesse deve ser delimitada, conforme o polígono representado pelas linhas vermelhas na figura 16. Esta área vai representar uma cerca virtual para que a aeronave não saia de seus limites e voe até que sua bateria atinja um nível de 50%. Neste momento a ARP retorna para o seu ponto de decolagem e efetua a manobra de pouso. Os demais parâmetros devem ser ignorados.

Depois do arquivo de pontos de caminho serem gerados é necessária uma alteração manual, onde a sequência (ID) de cada ponto deve ser trocado pelo número 0 (zero), assim o aplicativo de navegação do piloto automático saberá que se trata de uma cerca virtual.

### **6.1.3. Captura de dados utilizando Imagens e Tag RFID**

Para que a aplicação de contagem de animais nos campos de pastagem se tornassem mais eficientes, foi definido um tipo misto de aquisição de informações, que além de identificar os animais, a ARP ainda captura as imagens para que se possa reconstruir o relevo dentro de um sistema de Realidade Virtual, onde cada animal será projetado conforme a sua localização.

## 6.2. Gerenciador do Voo

Durante a execução de cada missão a ARP ficará o tempo todo conectada ao sistema de controle em solo – SCS e todos os dados dos sensores de navegação poderão ser observados. O protocolo utilizado é o MavLink, este protocolo é Open Source e está sendo utilizado por diversos SCS disponíveis gratuitamente como o DronePlanner®, GroundControl® e também o Mission Planner®. A figura 25 mostra a tela de gerenciamento do voo do Mission Planner®.



Figura 25 – Tela de controle do voo do aplicativo Mission Planner®.

## 6.3. Aquisição dos Dados

A aquisição dos dados depende do tipo de aquisição planejado para cada missão.

Para o caso de captura de imagens, ao final de cada missão o usuário deve salvar as imagens efetuadas pela câmera bem como o log de voo da aeronave para que se possa georreferenciar cada foto com o GPS da ARP. Como é o piloto automático que comanda o disparo de cada foto, neste mesmo momento ele armazena uma informação indicando o disparo e a localização geográfica deste disparo em seu arquivo de log de voo.

Tanto as fotos quanto o arquivo de log de voo devem ser armazenadas no banco de dados do sistema de informações para posteriormente serem processados.

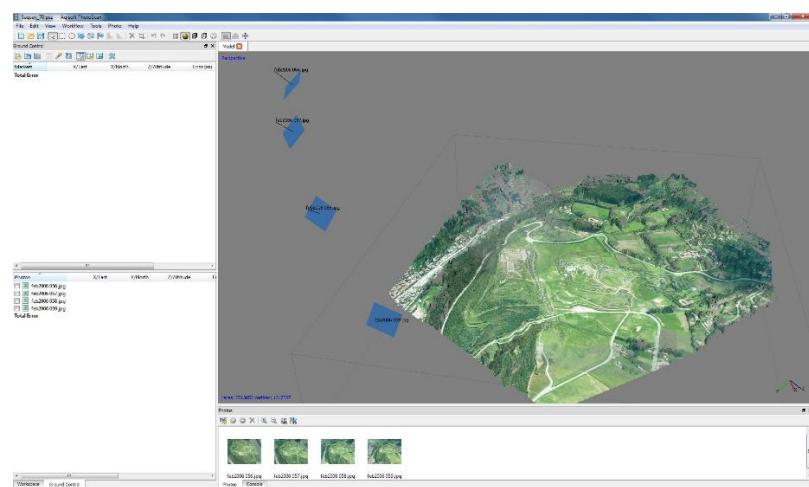
Para o caso de leitura de dispositivos RFID o usuário deve salvar no sistema de informação o arquivo contendo os animais identificados bem como a localização geográfica da ARP no momento da leitura.

#### 6.4. Processamento dos Dados

Depois que as informações foram adquiridas pela ARP e armazenadas no sistema de informação, o usuário poderá processá-las para que possam gerar mosaicos, relatórios de contagem de animais e nuvem de pontos das áreas sobrevoadas.

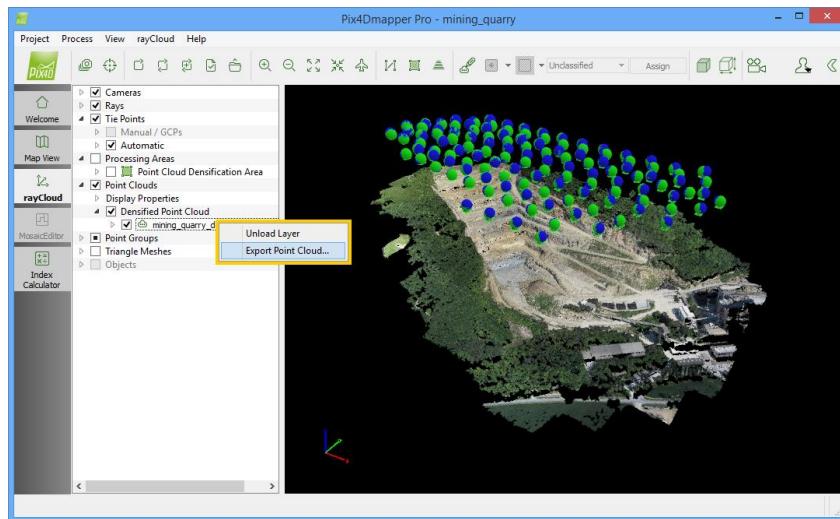
Para a contagem de animais, os dados geográficos são armazenados no sistema de informação, assim o sistema pode apresentar uma localização aproximada de cada animal, lembrando que a coordenada geográfica é a da ARP no momento da leitura do brinco de cada animal e não a do próprio animal, uma vez que o dispositivo de RFID não é equipado com GPS.

Para o processamento das imagens deste trabalho foi utilizada a versão educacional do aplicativo Agisoft PhotoScan, mostrado na figura 26. Como este tipo de processamento envolve algoritmos complexos, o desenvolvimento de ferramentas para este propósito não faz sentido para esta dissertação, assim foi escolhido um aplicativo de mercado e que possuísse uma versão gratuita para estudantes e que fosse capaz de gerar mosaicos e nuvem de pontos.



*Figura 26 – Processamento utilizando o Agisoft PhotoScan.*

Outro aplicativo muito utilizado mundialmente é o Pix4D, mostrado na figura 27. No site <https://www.pix4d.com> podem ser encontradas mais informações sobre esta ferramenta.



*Figura 27 – Processamento utilizando o Pix4D.*

Uma vez gerado o mosaico e a nuvem de pontos da área sobrevoada pela missão da ARP, os mesmos devem ser armazenados no sistema de informação para posterior apresentação ao usuário.

## 6.5. Apresentação

Após o processamento das informações capturadas o sistema está apto a gerar as informações para o usuário.

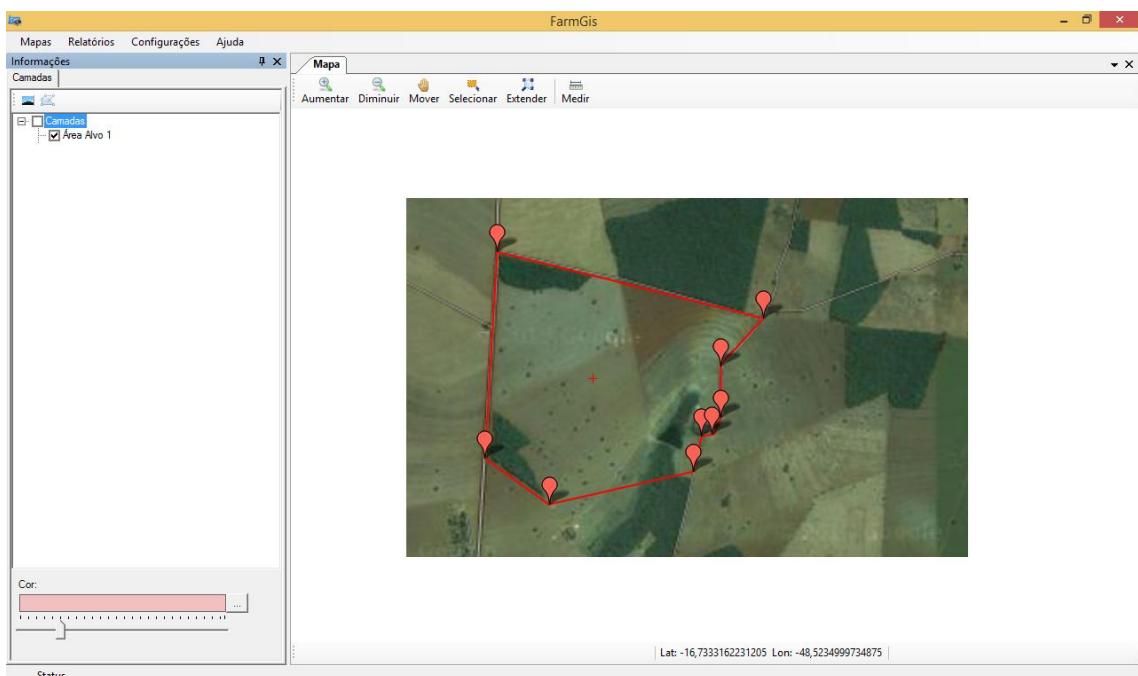
Uma das visualizações propostas é a apresentação de mosaicos de uma plantação para que um algoritmo de reconhecimento de padrões possa identificar as falhas do plantio ou da rebrota.

Outra proposta é a reconstrução de um ambiente virtual da área sobrevoada através da nuvem de pontos processada. Como textura utiliza-se o mosaico, assim o ambiente sintético gerado representa com detalhes os campos sobrevoados, permitindo a imersão do usuário.

## 7. DESENVOLVIMENTO

### 7.1. Monitoramento de Rebanhos

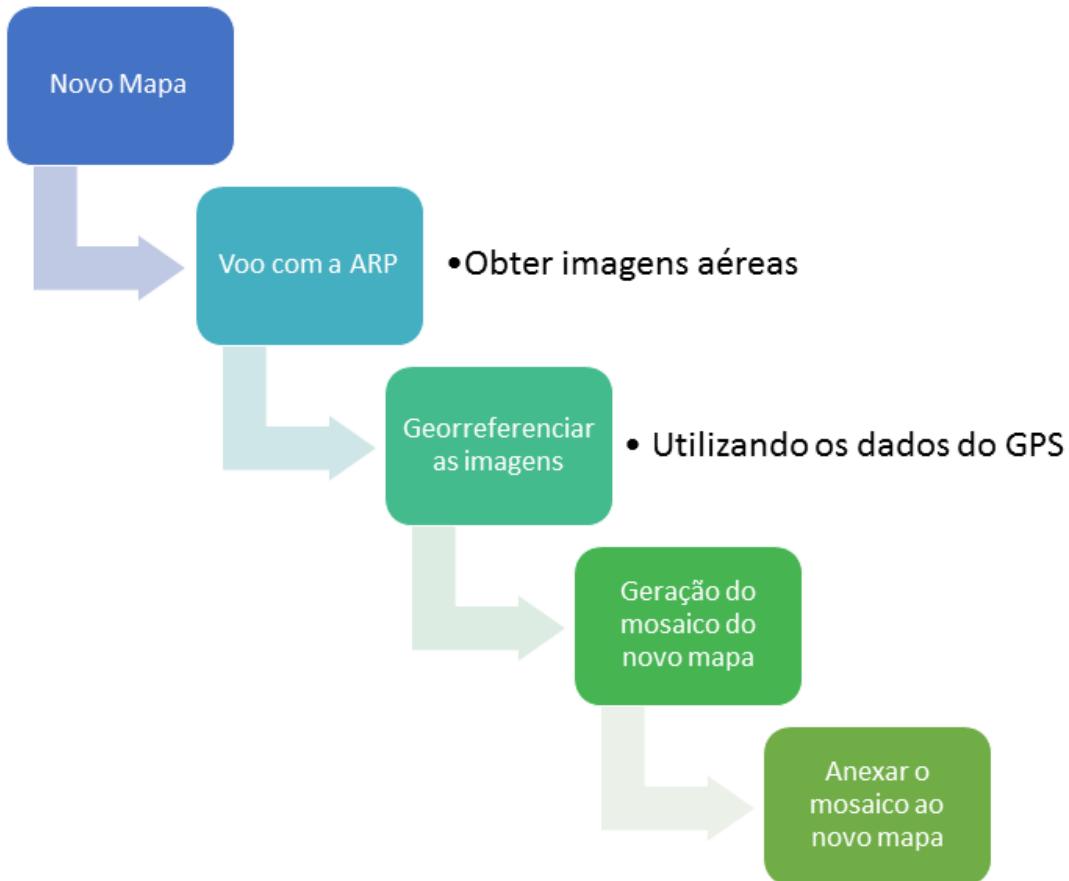
Com o intuito de melhorar os processos da Pecuária de Precisão, dentre eles, a contagem de indivíduos em rebanhos de criação extensiva foi desenvolvida uma ferramenta, chamada FarmGIS, baseada na arquitetura de Sistemas de Informação para a agropecuária de precisão proposta neste trabalho. A Figura 28 exibe a sua interface.



*Figura 28 – Sistemas de Monitoramento de Rebanho (FarmGIS).*

Cada área de criação de animais é representada por um mapa no sistema FarmGIS e os animais identificados são inseridos neste mapa exatamente na localização geográfica em que foram encontrados.

Quando o usuário cria um novo mapa para uma determinada área de criação de animais, é necessário que se faça um voo com a ARP sobre esta área para a captura das imagens e posterior geração do mosaico que irá representá-la no sistema. A Figura 29 detalha o fluxo da criação de um novo mapa no FarmGIS.



*Figura 29 – Fluxo de criação de um novo mapa (FarmGIS).*

Para a prova de conceito foram planejados dois experimentos: O primeiro propõe a identificação de cada animal através de um sistema de processamento digital das imagens aéreas captadas pela ARP e o segundo propõe a utilização de dispositivos de identificação por rádio frequência (RFID).

#### **7.1.1. Experimento 1: Processamento Digital de Imagens**

Para este experimento um campo de pastagem de gado foi sobrevoado com uma ARP equipada com um sensor para a aquisição das imagens dos animais neste campo. Em seguida estas imagens foram submetidas a um processo de reconhecimento de imagens a partir de técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI) para que cada indivíduo do rebanho fosse identificado. O algoritmo de reconhecimento dos animais através de PDI para este experimento não chegou a ser concluído pois foram detectados dois problemas que inviabilizaram a proposta.

O primeiro problema foi quanto a existência de árvores no campo de pastagem. Alguns animais ficaram debaixo de suas sombras e as imagens não captaram estes animais, logo, o processo de reconhecimento de imagens não traria um resultado coerente. O segundo problema encontrado foi devido à extensa área das pastagens nas criações extensivas, o que demandou um sobrevoo com duração longa o bastante para que os animais se movimentassem durante o período de aquisição das imagens e por este motivo foram registrados em mais de um lugar na fase de geração do mosaico. Neste caso o processo de reconhecimento contaria mais de uma vez o mesmo animal gerando novamente uma contagem imprecisa.

Pode-se concluir então que a contagem de animais em rebanhos de criação extensiva utilizando-se técnicas de reconhecimento de imagem através de processamento digital de imagens não é viável.

#### 7.1.2. Experimento 2: RFID

Para este experimento cada um dos indivíduos de um rebanho de gado foi equipado com um brinco de plástico preso em uma de suas orelhas contendo um Tag RFID ativo, capaz de armazenar um número único que permita a identificação de um indivíduo em particular (Mun Leng et. al. 2005). A figura 30 exibe a fixação do brinco RFID na orelha do animal.



Figura 30 – Gado identificado por Tag RFID ativa no interior do brinco (Adaptado de Mun Leng et. al. 2005).

Para utilizar uma aeronave equipada com um sensor para leitura RFID foi necessário desenvolver um processo de planejamento do voo dentro do sistema FarmGIS, onde o usuário deve informar:

- A altitude do voo. Quanto mais alto maior a cobertura em uma sessão de voo, mas corre-se o risco de sair do alcance de leitura dos dispositivos RFID que neste experimento é de no máximo 60 metros.
- A quantidade de animais a serem identificados. Este parâmetro permite que a ARP encerre a sua operação e volte para a base de onde decolou, evitando que a mesma fique vagando a esmo quando todos os indivíduos tiverem sidos identificados.
- Uma cerca virtual. Este conceito de cerca virtual delimita a área onde a ARP deve sobrevoar até que encontre todos os indivíduos a serem identificados e evita que ela se afaste demasiado de sua base correndo o risco de não ter combustível para voltar.

A figura 31 mostra o guia de planejamento do voo dentro do sistema FarmGIS, na tela (a) o usuário informa os dados gerais do voo como a data, o diretório onde serão armazenados os resultados, um nome para identificar o voo, a altitude da ARP, a quantidade de animais no campo de pastagem e uma descrição geral. Na tela (b) o usuário desenha manualmente a cerca virtual sobre a representação do mapa já cadastrado no sistema. Estas informações são transmitidas para a ARP através da comunicação entre o Sistema de Controle em Solo e o Sistema de Navegação da aeronave.

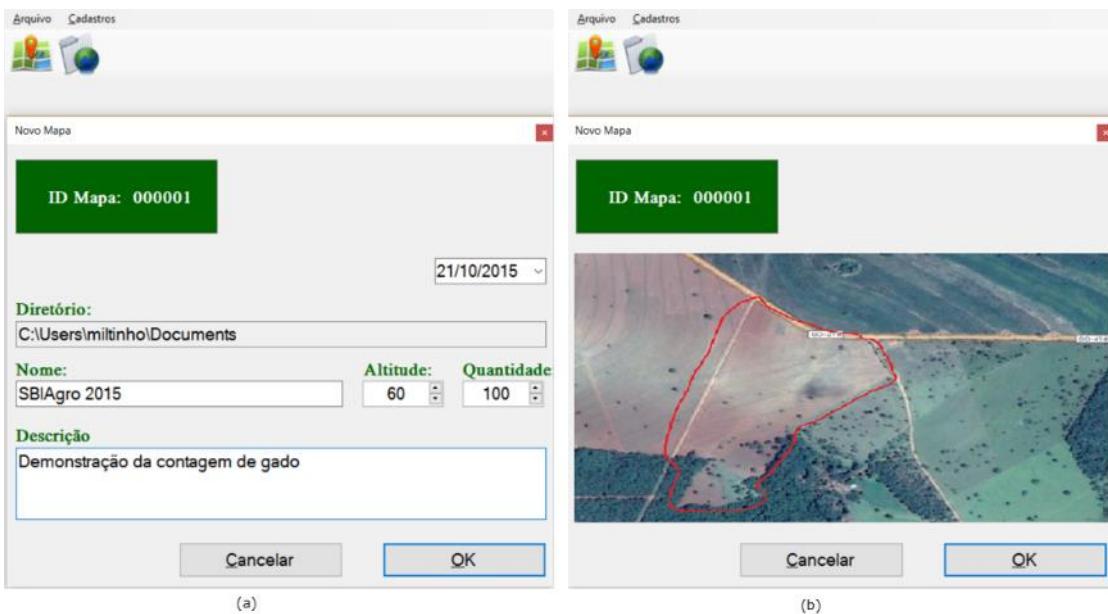


Figura 31 – Guia para o planejamento do voo (FarmGIS).

A cada indivíduo localizado pela ARP, o Sistema de Navegação salva o número único que identifica o animal, bem como as suas coordenadas geográficas em seu log de voo. Ao fim da missão os dados são transmitidos para o Sistema de Controle em Solo que alimenta o FarmGIS. Os resultados da contagem de um voo planejado sobre um campo de 100 hectares com 100 animais podem ser vistos na figura 32.

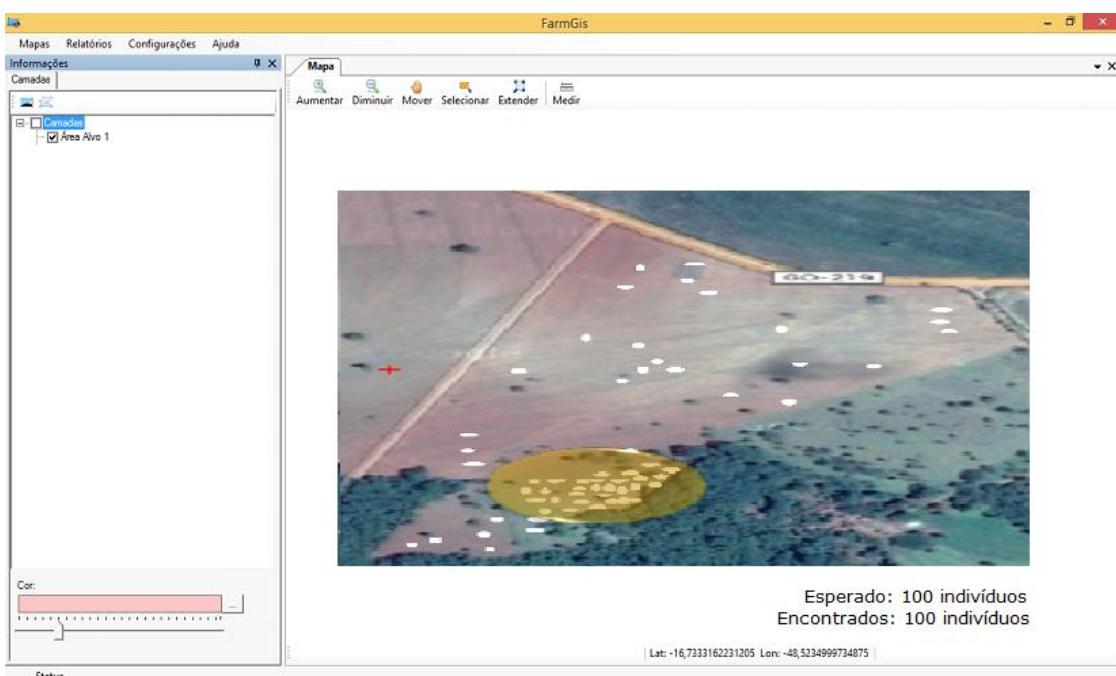


Figura 32 – Apresentação dos animais encontrados (FarmGIS).

O FarmGIS proporciona ao usuário uma percepção dos hábitos dos animais, como por exemplo a aglomeração de indivíduos em um mesmo local conforme mostra a área circulada na figura 32.

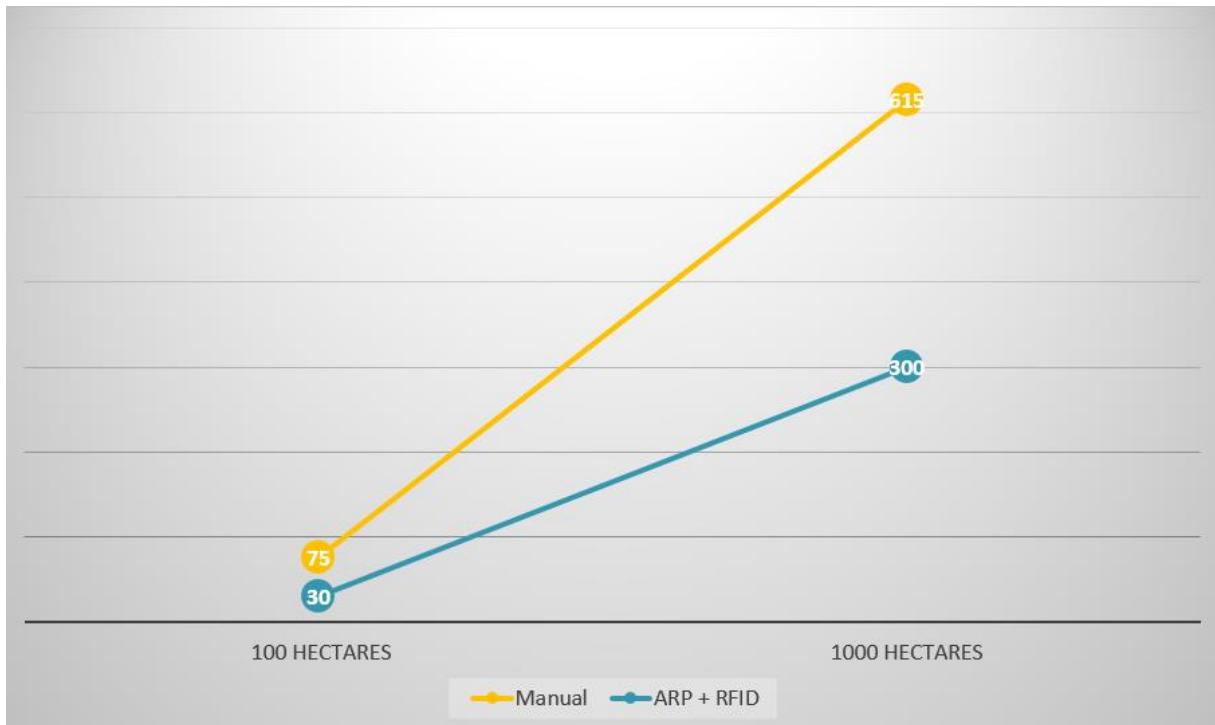
Em todos os voos realizados a ARP identificou 100% dos animais, sem nenhuma falha.

### 7.1.3. Resultados

Para este primeiro caso de uso, usando o sistema FarmGIS para a contagem de animais nos campos de pastagem, os experimentos mostraram alguns resultados importantes:

- A impossibilidade de se usar um sistema de reconhecimento de imagens para a contagem do rebanho.
- A eficiência da contagem quando se utiliza o sistema RFID.

O primeiro experimento se mostrou inviável para a contagem dos animais e não trouxe nenhum resultado, já o segundo experimento, além de viável, mostrou uma precisão expressiva na contagem quando comparada com o método manual. A figura 33 mostra um comparativo entre o tempo gasto em minutos para a contagem manual e a contagem feita pela ARP. Foram utilizadas duas situações distintas, a primeira com 100 animais em uma área de 100 hectares e a segunda com os mesmos 100 animais em uma área de 1000 hectares.



*Figura 33 – Comparativo do tempo gasto em minutos entre a contagem manual e a contagem realizada pela ARP (FarmGIS).*

Os resultados do segundo experimento motivaram a produção de um artigo chamado “Engenharia de software apoiada por sistemas de aeronaves remotamente pilotadas na pecuária de precisão” aceito como trabalho completo e apresentado por este autor no X Congresso Brasileiro de Agroinformática realizado em outubro de 2015 em Ponta Grossa, PR, Brasil.

## 7.2. Identificação de Falhas no Plantio de Cana de Açúcar Utilizando Rede Neural Artificial MLP

Segundo Silva (2008), a colheita da cana-de-açúcar é feita pelo corte do seu caule, restando uma pequena parte da planta (rizomas, colmos e raízes) denominada soca ou soqueira. Após a colheita inicia-se então a brotação da soca, que constitui uma fase importante no ciclo de produção e que dura cerca de um ano. Uma boa brotação trará plantas vigorosas à área cultivada resultando em uma colheita financeiramente compensadora. A fase de brotação da soca é de fundamental importância econômica para o produtor. O Quadro 5 aponta o custo de um ciclo de cinco anos para o plantio de um campo de um hectare de cana-de-açúcar. Os valores

se referem à média de preços na região de Sorocaba/SP no ano de 2012 e foram divulgados pela Associação Rural dos Fornecedores e Plantadores de Cana da Média Sorocabana (Assocana). Dados mais recentes ainda não foram divulgados e por isso foram utilizados apenas como referência para o experimento.

*Quadro 5 – Custos de produção da cana-de-açúcar em um ciclo de cinco anos*

Operação	Quantidade	Custo Unitário (R\$/ha)	Custo Total (R\$/ha)
<i>Preparo do solo</i>	<i>Uma vez</i>	<i>635,36</i>	<i>635,36</i>
<i>Plantio</i>	<i>Uma vez</i>	<i>3.832,76</i>	<i>3.832,76</i>
<i>Colheita</i>	<i>Cinco vezes</i>	<i>1.664,89</i>	<i>8.324,43</i>
<i>Manutenção da soqueira</i>	<i>Quatro vezes</i>	<i>879,73</i>	<i>3.518,92</i>
<i>Total</i>	-	-	<i>16.311,48</i>
<i>Custo médio por ano (5 cortes)</i>	-	-	<i>3.262,30</i>

A produtividade média no Brasil, apontada pelo levantamento da Conab no mesmo período (abril/12) é de 68,28 toneladas por hectare e o preço vigente em março de 2012 era R\$0,5018 por quilo, com base nestes valores, a receita bruta calculada foi de R\$4.625,49 por hectare. Deduzindo os custos de produção conforme o Quadro 5, chega-se a uma rentabilidade anual de R\$1.363,20 por hectare, ou seja, um lucro líquido de 42% sobre o capital investido. A partir de todas estas informações, pode-se concluir que uma falha de 20% na fase de rebrota da cana-de-açúcar implica em uma redução de cerca de 50% no lucro líquido do produtor.

O objetivo deste experimento é criar uma ferramenta capaz de analisar imagens dos campos de plantio de cana-de-açúcar adquiridas no período de rebrota da soqueira e identificar o percentual de falhas na brotação já que são diretamente ligadas ao percentual de rentabilidade da safra gerando um arquivo georeferenciado

das regiões que necessitam serem replantadas para minimizar a perda de rentabilidade causada por estas falhas.

A aquisição das imagens foi feita com uma ARP equipada com um sensor RGB e um sensor NIR voando a baixa altitude para obter fotografias de boa resolução de maneira que o algoritmo desenvolvido possa reconhecer os padrões de falhas da reboota.

O reconhecimento de padrões é uma característica inerente ao cérebro humano que consegue associar as características do objeto contemplado com informações prévias armazenadas em sua mente. Mesmo sendo uma atividade trivial para os seres humanos em um ambiente real, o reconhecimento de objetos no mundo da inteligência artificial é uma tarefa elementar. Segundo Jesan (2005), o ato de reconhecer padrões pode ser dividido em duas grandes categorias:

- Reconhecimento de itens concretos: São itens com características espaciais ou temporais. Exemplo de itens espaciais: impressões digitais, fotos e objetos físicos. Exemplo de itens temporais: formas de ondas e sinais.
- Reconhecimento de itens abstratos: São os itens que não existem fisicamente como a solução de algum problema.

O experimento vai abordar o reconhecimento de objetos concretos com características espaciais e por isso as imagens precisam passar por um processamento inicial que envolvem filtragem, extração de características e classificação.

A filtragem é o processo que retira as informações desnecessárias dos dados de entrada. Para cada tipo de aplicação o algoritmo aplicado para a filtragem deve ser específico para as características do objeto em análise. Por exemplo, considere a foto de um campo de plantação de cana-de-açúcar onde é possível visualizar a plantação e uma pequena estrada de terra. Esta estrada deve ser removida antes que o processamento da imagem se inicie para evitar que ela seja confundida com uma falha na plantação.

A extração das características e o processo de analisar e obter informações úteis da entrada de dados já filtrada para obter as características gerais do objeto em análise. Estas características serão usadas posteriormente para facilitar o processo de reconhecimento. Para cada tipo de aplicação é necessário definir o método de

extração e quais serão as características necessárias para o processamento. No caso de processamento de imagem, as características extraídas contêm informações sobre o tom, a cor, a textura, a forma e o tamanho.

O estágio final do reconhecimento de padrões é a classificação dos objetos, é nesta etapa que o sistema computacional irá declarar que o objeto reconhecido pertence a uma determinada classe em particular.

O método de classificação escolhido é aplicado nesta fase. Assim como no trabalho correlato analisado sobre a classificação de regiões de plantio de cana-de-açúcar feito por GALVANIN et al. (2013) este experimento também utilizará uma rede MLP, mas para o reconhecimento das falhas na rebrota da cana-de-açúcar. A rede vai classificar os elementos da imagem em duas classes: falha (solo) ou planta baseando-se em amostras destes dois tipos de elementos indicados durante o processo de aprendizagem.

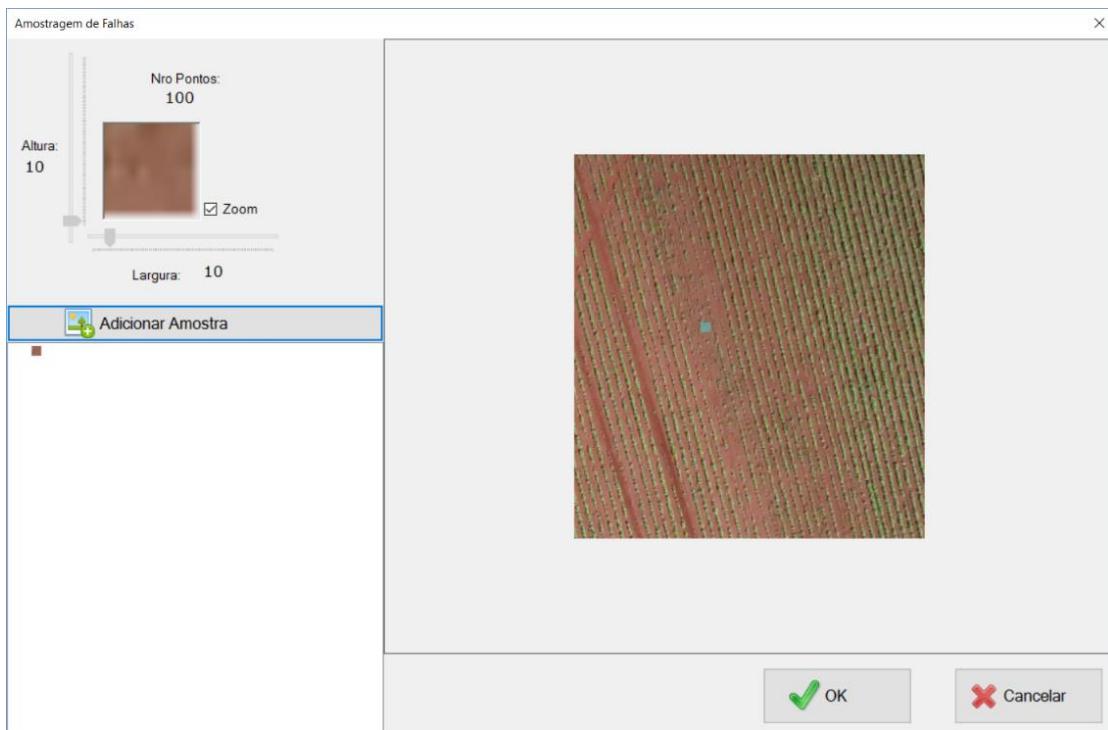
### **7.2.1. Desenvolvimento do Experimento SweepView**

A ferramenta criada para o reconhecimento de falhas foi desenvolvida em plataforma .Net C# orientado a objetos e implementa uma interface de fácil compreensão aplicando os conceitos de Visualização da Informação. A figura 34 mostra a interface principal do programa que foi chamado SweepView.



*Figura 34 – Tela Principal do Programa SweepView.*

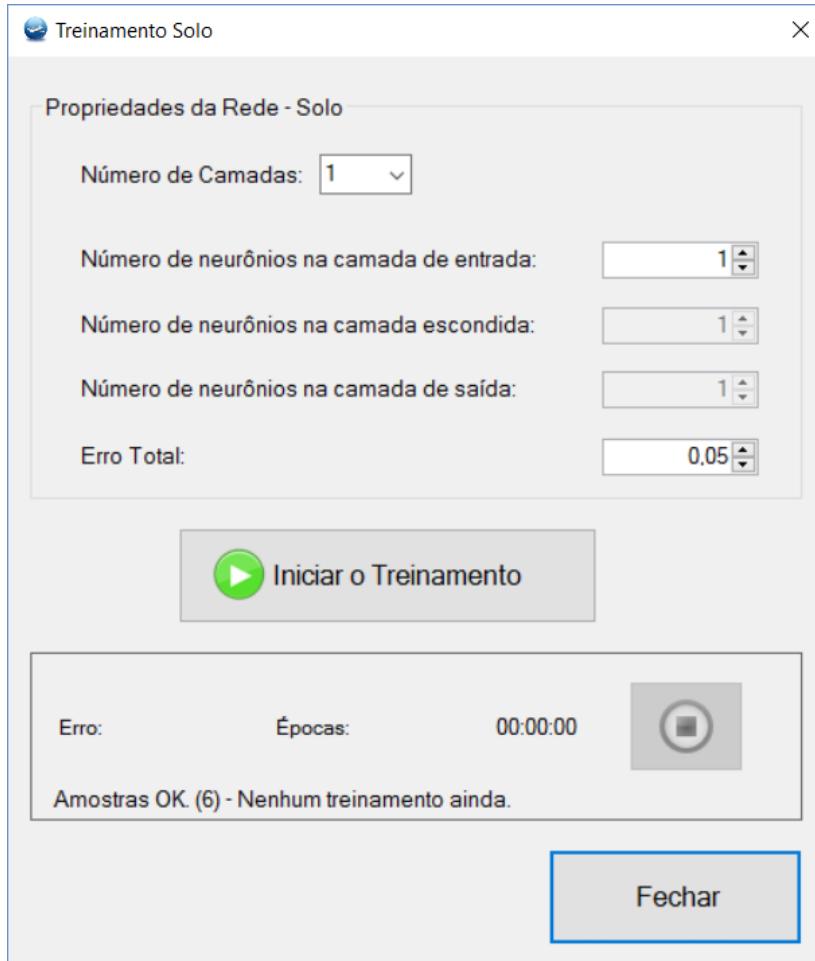
O usuário deve abrir o arquivo com a imagem a ser analisada e selecionar amostras de plantas e do solo para o treinamento da rede. A figura 35 mostra a interface de seleção das amostras.



*Figura 35 – Tela para indicação das amostras no SweepView.*

Para o experimento foi utilizada uma imagem obtida a oitenta metros de altitude de um campo de rebrota de cana-de-açúcar representando uma área de 25m<sup>2</sup>. Foi feita uma análise manual para a medição das falhas nesta área e a quantidade de falhas encontradas representa 20% da área.

Para o treinamento da rede, a ferramenta oferece uma tela de configuração onde o usuário pode selecionar a quantidade de camadas da rede, a quantidade de neurônios em cada camada e o valor máximo do erro que será utilizado como condição de parada do aprendizado, conforme mostra a figura 36.



*Figura 36 – Tela de configuração da Rede Neural Artificial.*

Antes de iniciar o treinamento, um algoritmo faz o pré-processamento das imagens, calculando o índice de vegetação NDVI e em seguida convertendo-a para um padrão de cinza para realçar o contraste entre as plantas e o solo. O treinamento utiliza os valores dos níveis de cinza nas bandas 3, 4 e 5 das imagens e os insere em uma matriz de co-ocorrência que servirá como entrada da rede conforme o modelo proposto por GALVANIN et al. (2013). Foram definidas duas classes de interesse: planta e solo.

Segundo Tucker (1979), o NDVI foi desenvolvido para monitorar diferentes tipos de vegetação devido à sua sensibilidade ao verde fotossinteticamente ativo e à forte biomassa de vegetações, sua fórmula é descrita na Equação 1, onde NIR é a banda do infravermelho próximo e R é a banda do vermelho:

$$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R} \quad (1)$$

Ainda segundo o modelo proposto por GALVANIN et al. (2013), para calcular a medida do contraste utilizou-se a matriz de co-ocorrência, método desenvolvido por Haralick et al. (1973) e por Liberman (1997), cuja finalidade é prover informações estatísticas a partir do número de ocorrências de um dado pixel com um determinado nível de cinza ser vizinho em uma direção e uma distância de um outro pixel com outro nível de cinza distinto, em forma de uma matriz, cujas coordenadas posicionais são os diferentes níveis de cinza e os elementos o número de ocorrências. Logo, dada uma matriz de co-ocorrência C, o elemento  $C_{ij}$  é o número de ocorrências que um pixel com nível de cinza i é vizinho, conforme uma determinada direção e distância, de um pixel com o nível de cinza j. Estas direções podem ser: horizontal, vertical, diagonal principal e diagonal secundária. Para este experimento a resolução das imagens captadas pela aeronave foi de 2,54 centímetros por pixel, e foi necessário, para acelerar o processamento da rede, que o algoritmo de pré-processamento para converter a imagem em um padrão de cinza também compactasse a imagem, selecionando pequenos fragmentos de 10x10 pixels da imagem, tirando a média do nível de cinza destes 100 pixels e gerando apenas 1 pixel com este resultado. Para imagens com resolução superior a 5 centímetros por pixels está compactação pode afetar a qualidade do resultado.

A medida para o contraste é obtida através da matriz de co-ocorrência dada pela equação 2, onde  $c_{ij}$  é o valor do elemento da matriz de co-ocorrência nas coordenadas (i, j) normalizados pela soma dos elementos da matriz. Esta fórmula gera valores maiores que 1, por isso i e j foram normalizados por 255.

$$f(\text{contraste}) = \sum_{ij} ((i - j)^2 C_{ij}) \quad (2)$$

A função de ativação usada é uma sigmoide, dada pela equação 3, onde a constante  $\alpha$  determina o grau de inclinação da função sigmoide.

$$\varphi(x) = \frac{1}{1 + e^{\alpha x}} \quad (3)$$

Na fase de treinamento, baseado em retro propagação do erro (backpropagation) foram submetidas as imagens das amostras previamente selecionadas pelo usuário, de solo e de planta. A constante de momentum foi fixada em 0,2 e a taxa de aprendizado em 0,5. Como condição de parada foi usado erro

máximo permitido e o aplicativo possibilita que o usuário ajuste seu valor antes de iniciar o treinamento. O melhor resultado foi obtido com o erro máximo igual a 0,00017.

### 7.2.2. Resultados

Para este segundo caso de uso, utilizando o sistema SweepView para a identificação das falhas na rebrota da cana de açúcar, a imagem escolhida, representando uma área de 25m<sup>2</sup> e com 20% de falhas, foi submetida a várias configurações da rede neural visando encontrar qual é a melhor arquitetura para o reconhecimento de falhas. O Quadro 6 mostra as configurações e os resultados obtidos em cada uma delas:

*Quadro 6 – Reconhecimento de falhas conforme a arquitetura da rede neural*

Número de Camadas	Neurônios na Camada de Entrada	Neurônios na Camada de Entrada	Neurônios na Camada de Entrada	Percentual de Falhas
1	1	-	-	> 80%
1	2	-	-	> 50%
1	3	-	-	> 45%
2	1	1	-	45%
2	2	2	-	45%
2	3	3	-	45%
3	1	1	1	45%
3	2	2	2	35%
3	3	3	3	23%

A ferramenta foi muito útil para a identificação da melhor configuração da rede para o reconhecimento de falhas na rebrota da cana-de-açúcar. O resultado da rede com a melhor classificação foi comparado ao resultado da classificação feita manualmente. A comparação mostrou que a rede conseguiu classificar a maior parte das regiões corretamente, com 23,12% para a acurácia global. Somente não foi eficiente ao classificar as imagens contendo estradas.

Com base nos resultados do experimento a ferramenta desenvolvida pode ser utilizada para detectar o percentual de falhas em grandes áreas de produção de cana-de-açúcar. A figura 37 mostra a forma como são exibidas para o usuário as falhas identificadas pelo programa.



*Figura 37 – Falhas na rebrota encontradas pelo SweepView.*

### 7.3. Reconstrução de campo de pastagem em 3D

Para este experimento foram adquiridas imagens RGB georreferenciadas utilizando a aeronave para que fossem processados o mosaico e a nuvem de pontos 3D para a reconstrução do campo de pastagem em um ambiente sintético de três dimensões.

Tanto para a geração do mosaico como para a geração da nuvem de pontos foi utilizado o aplicativo Agisoft PhotoScan®. Este aplicativo utiliza um algoritmo que reconhece os pontos em comum entre as fotografias adquiridas pela aeronave para que possam ser alinhadas e processadas gerando uma fotografia única, ou seja, o mosaico. O Agisoft PhotoScan® também utiliza algoritmos baseados em fotogrametria para calcular as elevações do terreno, permitindo a geração do modelo digital de elevação – DEM, para este processamento é necessário conhecer as coordenadas geográficas de cada fotografia do mosaico, a altitude que a câmera estava no momento da captura da imagem e a distância focal da lente da câmera. Todas estas informações são obtidas do próprio arquivo de cada fotografia através de metadados armazenados no momento do disparo da foto.

A nuvem de pontos gerada a partir do DEM representa detalhadamente as características do terreno permitindo que se construa uma malha 3D para que o motor de jogos possa renderizar o ambiente virtual permitindo a simulação do ambiente real sobrevoado pela aeronave.

### **7.3.1. Resultados**

A figura 38 mostra o sistema de Realidade Virtual construído com o apoio do motor de jogos Unity3D® gerado a partir desta nuvem de pontos e utilizando o mosaico RGB como textura para o terreno.



*Figura 38 – Imagem do Sistema de Realidade Virtual criado para representar o campo de pastagem.*

Este sistema foi desenvolvido como uma alternativa para um sistema de informação baseado em simulações de ambientes 3D e pode vir a ser objeto de trabalhos futuros para que se possa aplicar técnicas de simulação de ambiente e de máquinas agrícolas na atividade rural.

## **8. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS**

Neste capítulo serão apontadas as conclusões e a contribuição científica da pesquisa apresentada nesta dissertação e acompanhando os resultados obtidos, serão indicadas algumas sugestões para trabalhos futuros.

### **8.1. Conclusões**

Existem muitas possibilidades para a utilização das aeronaves remotamente pilotadas no agronegócio brasileiro e a produção de ferramentas que permitam organizar e classificar todas estas informações já é um dos principais objetos de investimento nesta área.

A utilização de sistemas de informação específicos para a área de agropecuária de precisão vem de encontro a esta nova demanda, pois é capaz de organizar o grande volume de dados que já vem sendo gerados bem como a sua óbvia expansão à medida que novas utilizações sejam aplicadas. Este trabalho demonstrou a importância da utilização de algumas destas técnicas, descrevendo resultados relevantes de sua utilização que contribuíram para o alcance dos objetivos propostos.

Os sistemas desenvolvidos, incluindo suas interfaces simples e intuitivas, foram a chave para a conclusão satisfatória dos experimentos propostos, pois conseguiram proporcionar uma maneira simplificada de preparação dos parâmetros de entrada bem como uma entrega relevante das informações obtidas após seu processamento. Um exemplo é a geração do mapa georreferenciado com a localização exata das falhas na rebrota de cana. Com esta informação o agricultor pode fazer uma intervenção precisa nos exatos locais onde as falhas ocorreram, diminuindo seu custo operacional e maximizando a sua produção.

Outro resultado muito importante foi quanto a contagem de grandes rebanhos. Uma das principais características dos pecuaristas brasileiros é a utilização de vastos campos de pastagem, deste modo acabam fazendo a contagem somente no momento da compra e no momento da venda de seus animais não tendo controle nenhum da sua população por meses. A solução proposta não só proporciona uma contagem periódica, mas também indica características até então desconhecidas pelos criadores.

## 8.2. Trabalhos Futuros

A partir das aplicações abordadas neste trabalho foi possível a identificação de algumas possibilidades para a melhoria dos processos do agronegócio brasileiro além da possibilidade de melhorar os próprios algoritmos utilizados nas soluções propostas por esta pesquisa, como por exemplo outros tipos de arquiteturas de redes neurais para a identificação das falhas da cana e que também possam ser utilizadas para falhas de outros tipos de cultivares.

Outro aspecto muito importante é a utilização de sistemas de realidade virtual para efetuar simulações como por exemplo das linhas de plantio, permitindo simular o escoamento da água da chuva para que se possa planejar de forma precisa a melhor maneira de efetuar o plantio.

A realidade virtual pode facilitar a inspeção de toda a propriedade rural, através da reconstrução dos ambientes em três dimensões diminuindo custos e permitindo a simulações de diversos ambientes ou situações climáticas a que as propriedades rurais possam ser submetidas, prevenindo problemas e sugerindo soluções antes mesmo que uma determinada situação se apresente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIB, O. A. Aerofotogrametria. Presidente Prudente: Instituto de Planejamento e Estudos Ambientais (IPEA) – Unesp, 1983. 217 p.
- ABULEIL, A. M.; TAYLOR, G. W.; MOUSSA, M. An Integrated System for Mapping Red Clover Ground Cover Using Unmanned Aerial Vehicles: A Case Study in Precision Agriculture, 12th Conf. Comput. Robot Vis., pp. 277–284, 2015.
- ACAR, C.; SHKEL, A. An Approach for Increasing Drive-Mode Bandwidth of MEMS Vibratory Gyroscopes. Solid state Sensor and Actuator Workshop, Junho 2004.
- AMENYO, J.; PHELP, D.; OLADIPO, O.; SEWOVOE-EKUOE, F.; JADONANAN, S.; TABASSUM, T.; GNABODE, S.; SHERPA, T. D.; FALZONE, M.; HOSSAIN, A.; KUBLAL, A. MedizDroids Project : Ultra-Low Cost , Low-Altitude , Affordable and Sustainable UAV Multicopter Drones For Mosquito Vector Control in Malaria Disease Management Glob. Humanit. Technol. Conf., pp. 590–597, 2014.
- BERNI, J.; Zarco-Tejada, P.; Suárez, L.; Fereres, E. Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from na unmanned aerial vehicle. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, v. 47, n. 3, p. 722-738, 2009.
- BOTEGA, Leonardo Castro. Análise de imagens tomográficas da ciência do solo em ambiente de realidade virtual. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2009. 213 p.
- BRISSET, P. et al. The Paparazzi Solution. 2006. Disponível em: <<http://tech-insider.org/diy-drones/research/acrobat/0610.pdf>>. Acesso em: 23 de janeiro de 2016.
- BURDEA, G. E.; COIFFET, P. Virtual Reality Technology, New York, John Wiley & Sons, 1994. 128p.
- CAETANO, D.S.D. Comparação entre as redes LVQ e MLP no controle de próteses virtuais para membros superiores. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2012. 120 p.
- CARDOSO, A.; LAMOUNIER, E. A Realidade Virtual na Educação e Treinamento. In: TORI, Romero; KIRNER, Claudio; SISCOUTO, Robson. Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada. Belém: SBC, 2006. P. 304-312.
- Censo Agropecuário 2006 – IBGE, disponível online em:  
<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2006/utiliza.pdf>
- CHRISTENSEN, M. C. O Ensino de Medicinas Alternativas e Complementares em Escolas Médicas: Revisão Sistemática de Literatura. Campinas-SP.

COSTA, R. M.; RIBEIRO, M. W. Aplicações de realidade virtual e aumentada. Porto Alegre: SBC, 2009. 146 p.

COSTA, Fausto Guzzo da. Integração entre veículos aéreos não tripulados e rede de sensores sem fio para aplicações agrícolas. São Paulo: Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, 2013. 65 p.

COX, T. H. et al. Civil UAV Capability Assessment. NASA; CSM, Inc. [S.I.]. 2004.

DIAS, Mateus Pereira; CARVALHO, José Oscar Fontanini de. "A Visualização da Informação e a sua contribuição para a Ciência da Informação." DataGramZero: Revista de Ciência da Informação 8.5 (2007).

FALSETT, L.; Fundamentals of Neural Networks. Prentice Hall, 1994.

GALVANIN, E. A. S.; Jesus, P. H. H. Redes neurais artificiais na classificação de regiões de culturas de cana-de-açúcar na região da Bacia do Alto Rio Paraguai. Revista Espacios Vol. 34 (4) 2013. P. 6.

GALVAO, T. F.; PEREIRA, M. G. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. Epidemiologia e Serviços de Saúde, v. 23, p. 183-184, 2014. Este trabalho está disponível online [www.scielosp.org](http://www.scielosp.org).

HARALICK, R. M.; Shanmugam, K. (1973); Its'Hak Dinstein. Textural features for image classification. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. v. SMC-3, n. 6. New York: IEEE, p. 610-621

OWEN, G. S. History of Visualization. Disponível em:  
<http://www.siggraph.org/education/materials/HyperVis/visgoals/visgoal3.htm>.  
 Acessado em: 04. Jan. 2016.

GONÇALVES, L. M. G. Reconstrução a partir de estéreo fotogrametria, Rio de Janeiro-RJ.

JESAN, John Peter. "The neural approach to pattern recognition". Ubiquity: An ACM IT Magazine and fórum. Disponível em Ubiquity Information Everywhere. Acessado em: 30. Jan. 2016.

HAYKIN, S. Redes Neurais: Princípios e Prática, ARTMED Editora S. A., Brasil, (pp 27-69, 283-348), 1991.

KIRNER, C.; SISCOUTTO, R. Realidade virtual e aumentada: conceitos, projeto e aplicações. In: IX SYMPOSIUM ON VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY. Porto Alegre: SBC, 2007. 202 p.

KIRNER, C.; TORI, R. Introdução à Realidade Virtual, Realidade Misturada e Hiper-Realidade. In: Cláudio Kirner; Romero Tori. (ed.). Realidade Virtual: conceitos, tecnologia e tendências. 1ª ed. São Paulo, 2004, V. 1, P. 3-20.

LIBERMAN, F. (1997); Classificação de imagens digitais por textura usando redes neurais. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre

LONGHITANO, George Alfredo. VANTS para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas. Diss. Universidade de São Paulo, 2010.

MARTINS, M. R. Estudos da Massa d'água superficial das baías de Paranguá e Antonina PR, utilizando sensoriamento remoto e geoprocessamento. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista – Unesp, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro – SP, 1994.

MOLIN, J.P. "Geração e interpretação de mapas de produtividade para agricultura de precisão." BORÉM, A.; GIÚDICE, MP; QUEIROZ, DM; MANTOVANI, EC (2000): 237-58.

MOLIN, J.P. Agricultura de Precisão – O Gerenciamento da Variabilidade. Piracicaba 2001.

MUN LENG NG; KIN SEONG LEONG; HALL, D.M.; COLE, P.H. A small passive UHF RFID tag for livestock identification. *Microwave, Antenna, Propagation and EMC [ ] Technologies for Wireless Communications*, 2005. MAPE 2005. IEEE International Symposium on, vol.1, no., pp.67,70 Vol. 1, 8-12 Aug. 2005

NOVO, Evelyn. Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações. Editora Edgard Blücher. 2<sup>a</sup> Ed. São Paulo, Brasil: 1992.

PASTOR, E.; LÓPEZ; Royo, P. A. Hardware/Software architecture for UAV payload and mission control. 25th Digital Avionics Systems Conference IEEE/AIAA, p. 5B41-5B48, 2006.

PEREIRA, Luiz Gustavo. Disponível em <http://www.embrapa.com.br>. Acesso em 23. Jan 2016.

PEREIRA NETO, Osvaldo Coelho. Mapeamento de feições agrícolas através de redes neurais com fotos obtidas por veículo aéreo não tripulado (VANT). Londrina: Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Londrina, 2007. 77 p.

Revista Globo Rural de 12/06/2013, Disponível em:

<http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,EMI339201-18272,00-AGRICULTURA+DE+PRECISAO+CRESCERA+AO+ANO+NO+BRASIL.html>.

Acessado em: 31. Jan. 2016.

RAY, Richard Godfrey. Aerial photographs in geological interpretation and mapping, U.S. Geological, Survey, paper 373, Washington, U.S.A., 1963, 88pp.

Roberti, Mark. DOD releases final RFID policy. *RFID Journal*, 2004. Disponível em: <http://www.rfidjournal.com/articles/view?1080>.

Acessado em: 31. Jan. 2016.

ROSA, Roberto. Introdução ao Sensoriamento Remoto. Uberlândia: EDUFU, 1992.

RUMELHART, D. E., Hilton, G. E. e Williams, R. J. Learning internal representations by error propagation. D. E. Rumelhart e J. L. McClellands (Eds.). Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructures of cognition, vol. 1: Foundations, Cambridge, MA, MIT Press, (pp. 318-362), 1986.

SHNEIDERMAN, B. The eyes have it: A task by data type taxonomy for information visualizations. In Proceedings of the 1996 IEEE Symposium on Visual Languages, VL '96, pages 336–, Washington, DC, USA, 1996. IEEE Computer Society.

SILVA, Marcelo de Almeida; JERONIMO, Elisangela Marques; LÚCIO, Alessandro Da'ICol (2008). "Perfilhamento e produtividade de cana-de-açúcar com diferentes alturas de corte e épocas de colheita". Brasilia: Pesquisa Agropecuária Brasileira. Pesquisado em 22 de julho de 2014. Disponível em SciELO Brazil, Scientific Electronic Library Online.

STAFFORD, J. Implementing precision agriculture in the 21st century. Journal of Agricultural Engineering Research, v. 76, n. 3, p. 267-275, 2000.

SILVA, Angela Maria; PINHEIRO, Maria Salete de Freitas; FRANÇA, Maira Nani. Guia para normalização de trabalhos técnico-científicos: projetos de pesquisa, trabalhos acadêmicos, dissertações e teses. Uberlândia: UFU, 2006. 5. ed. 145 p.

SUZUKI, T.; AMANO Y.; HASHIZUME, T. Development of a SIFT Based Monocular EKF-SLAM Algorithm for a Small Unmanned Aerial Vehicle. Tóquio, Japão, 2011. Pesquisado em 16 de fevereiro de 2016. Disponível em SciELO Brazil, Scientific Electronic Library Online.

TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOUTO, R. Fundamentos e tecnologia da realidade virtual e aumentada. Belém, 2006. *In: SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY*, 8. Anais. Belém: SBC, 2006.

TUCKER, C. J. (1979); Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*. n. 8, Elsevier, p. 127-150.

JIONG, Y.; LEI, Z.; JIANGPING, D.; RONG, S.; JIANYU, W. GPS/SINS/BARO Integrated Navigation System for UAV. *Information Technology and Applications (IFITA)*, 2010 International Forum on, Kunming, 2010, pp. 19-25.

YUAN, H.; WIELE, C. F. V. D; KHORRAM, S. (2009); An automated artificial neural network system for land use/land cover classification from Landsat TM imagery. *Journal of Remote Sensing*, 1(3), p. 243-265.

## APÊNDICE I

### **Técnicas de Engenharia de Software e Visualização da Informação de dados capturados por aeronaves remotamente pilotadas associadas na Pecuária de precisão**

<sup>1</sup> FEELT – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, alexandre@ufu.br, lamounier@ufu.br

<sup>2</sup> Grupo de Realidade Virtual e Aumentada, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, barretojuniormail@gmail.com.br, [iamoraes@mestrado.ufu.br](mailto:iamoraes@mestrado.ufu.br), voidmmn@mestrado.ufu.br

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo, Geaap Agrociencias, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, estevão.parreira@geaap.com.br

#### **RESUMO**

O surgimento dos sistemas de aeronaves remotamente pilotadas gerou impacto no campo da aviação mundial, uma vez que sua proposta inovadora permite aplicações militares, logísticas e de aquisição de informações reduzindo drasticamente seus custos de desenvolvimento e operação. O propósito deste trabalho é apresentar uma solução de baixo custo utilizando engenharia de software, baseada em visualização da informação, associada à utilização de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) de pequeno porte de maneira que um criador de gado faça rotineiramente uma varredura aérea das suas áreas de criação para identificar os animais do rebanho a partir de dispositivos de identificação por rádio frequência (RFID, do inglês “Radio-Frequency IDentification”) localizados em suas orelhas em formato de brincos. As informações recebidas pelos sensores embarcados na aeronave serão apresentadas em um mapa, de forma interativa e cognitiva, permitindo a contagem destes animais, identificar a localização individual de cada um deles dentro da área de criação e fazer análises de movimentação e de permanência em uma determinada região.

**PALAVRAS-CHAVE:** VANT, Rebanho, Contagem, Mapas, RFID.

## ABSTRACT

The appearance of remotely piloted aircraft systems has generated impact in the global aviation field, once its innovative proposal eases military applications, logistics and information acquiring, dramatically reducing their development and operation's costs. The purpose of this paper is to present an information visualization-based software engineering solution, that which allows a livestock farmer do an aerial sweep, routinely, of their areas of creation using an small Unmanned Aerial Vehicle (UAV) able to identify animals found through Radio-Frequency IDentification (RFID) devices located on their ears as an earring format. The data received from embedded sensors in the aircraft will be displayed on a map, in an interactively and cognitive way, allowing the count, identify the individual location of each animal within the area and make analysis of movimentation and permanence on a particular region.

**KEYWORDS:** UAV, Herd, Counting, Maps, RFID.

## INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) para fins civis no Brasil é cada vez mais crescente e motiva pesquisadores e empreendedores em todo país a criarem soluções inovadoras apoiadas por esta tecnologia, principalmente na área do agronegócio. Esta tecnologia abre oportunidade para melhorar os processos da já conhecida pecuária de precisão, dentre eles, a possibilidade de efetuar uma busca pelas áreas de criação de gado ou qualquer outro tipo de criação extensiva (Vroegindeweij, et. al. 2014). Estes animais são equipados com um brinco de plástico preso em uma de suas orelhas contendo um circuito eletrônico do tipo RFID capaz de armazenar um número único que permita a identificação de um indivíduo em particular (Mun Leng et. al. 2005). Com o uso deste dispositivo em cada animal é possível desenvolver uma Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) equipada com uma antena para leitura, conforme Mun Leng et al. (2005), para sobrevoar os campos de criação realizando a identificação de todos os indivíduos do rebanho. O sistema embarcado na ARP transmite dados em tempo real, via telemetria, para o sistema de visualização da informação em terra, possibilitando assim a organização e exibição destas informações de maneira que permita a sua imediata compreensão bem como a geração de análises que possam levar às tomadas de decisão por parte do gestor da informação, o próprio criador ou o gerente responsável pela criação (George, 2013).

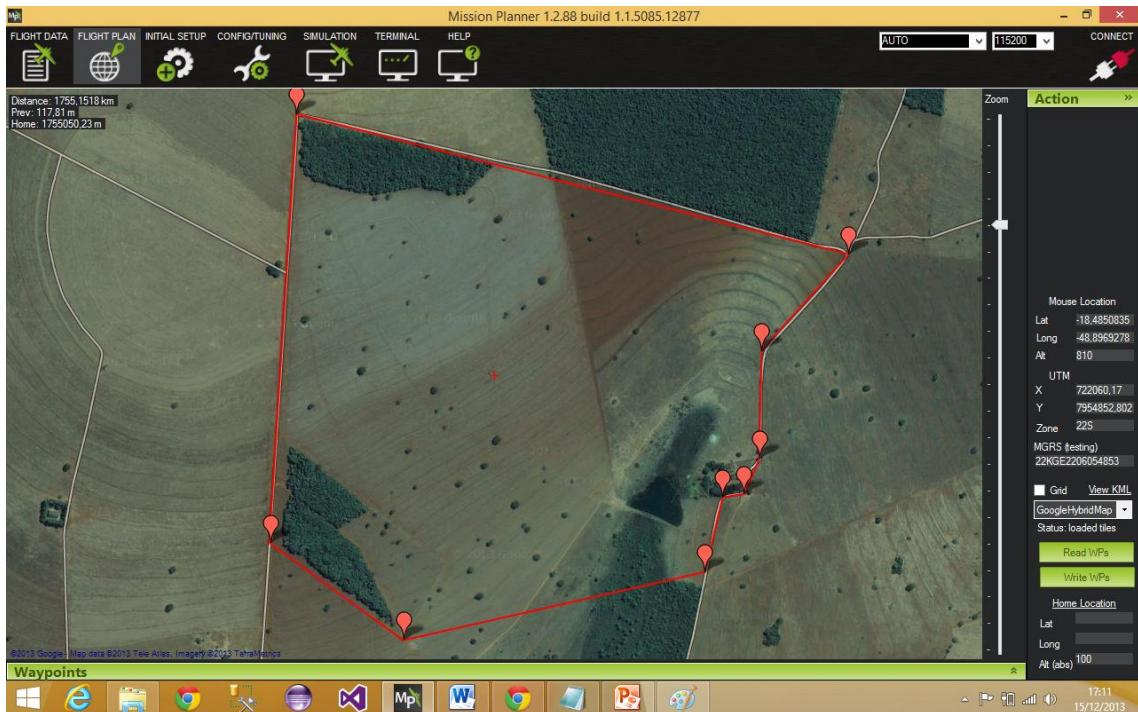
O objetivo principal deste trabalho é o desenvolvimento de uma solução de baixo custo, fazendo uso das tecnologias mencionadas anteriormente para auxiliar o usuário na contagem e no gerenciamento do rebanho distribuído em uma dada área, a qual será supervisionada pela solução. Ainda são poucos os trabalhos realizados nesta área, um que pode se destacar é o de busca e salvamento utilizando sistemas de aeronaves remotamente pilotadas (SARP), mas em nenhum caso utiliza-se uma ferramenta de visualização de informação elaborada, todos exibem as imagens captadas por uma câmera, em tempo real, para que um operador em solo possa identificar o que se está procurando.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho assume o uso de um VANT dotado de um GPS e uma antena capaz de efetuar leitura RFID, permitindo assim identificar e registrar a localização de cada indivíduo na área delimitada. Esse registro, além de apresentar com clareza a posição de cada animal, é útil também na identificação de padrões de comportamento do gado, evidenciando as tendências e necessidades de ajustes no ambiente no qual os animais estão inseridos.

O planejamento de voo é feito por meio da ferramenta *Mission Planner®* (MP), de uso livre para fins não comerciais exibido na figura 1. O usuário deve criar um polígono, em cima de um mapa previamente carregado pelo MP a partir do *Google Maps* para delimitar a área de voo ou área alvo.

Figura 1 – Criação da área alvo.



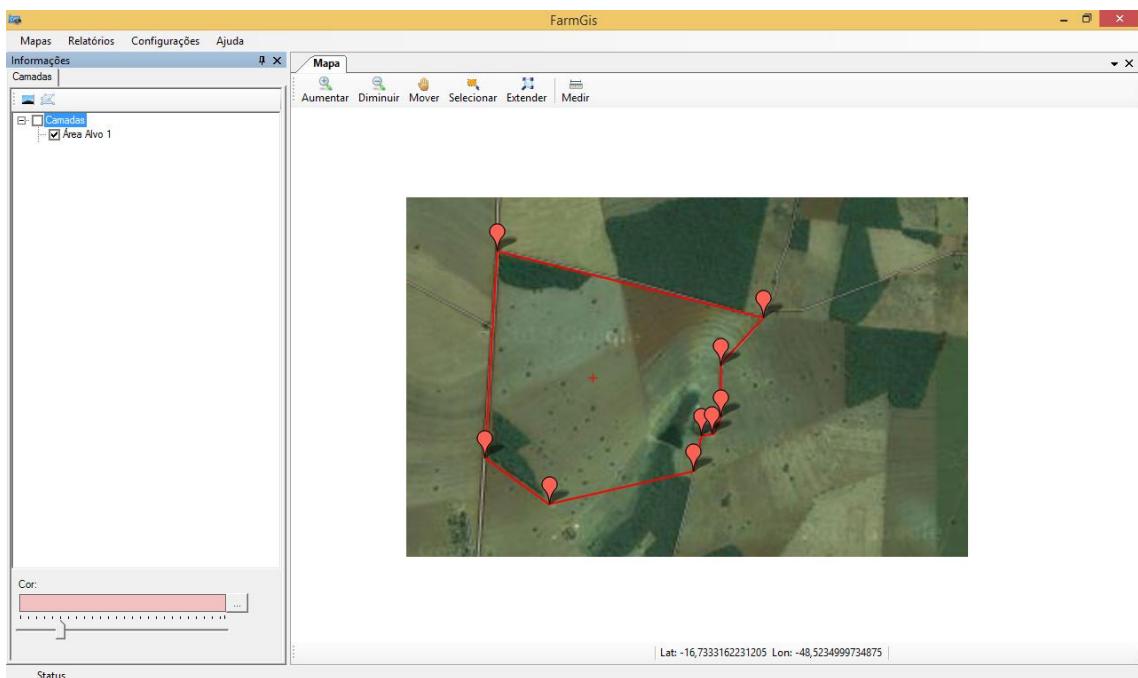
Fonte: (Mission Planner®, 2015)

O planejamento do voo sobre a área alvo é feita somente quando se deseja uma nova área, assim, o operador pode executar a busca por várias áreas alvo que já tenham sido criadas no sistema. O operador da aeronave por sua vez deve efetuar voos diários para que se possa criar um histórico da localização e da movimentação dos animais que proporcionando ao sistema a geração dos dados estatísticos para análise do gestor da informação. No que se refere a execução de um voo, é importante que se estabeleçam duas regras essenciais para evitar que a aeronave fique vagando aleatoriamente: o tempo máximo do voo baseado na autonomia da ARP e uma vez que todos os indivíduos do rebanho tenham sido cadastrados previamente em seu plano de voo, finalizar a missão quando todos eles forem encontrados.

A figura 2 apresenta o sistema criado para a visualização das informações e que foi chamado *FarmGis*. O sistema foi desenvolvido para o sistema operacional Windows (Windows 7, Windows 8 e Windows 8.1) com arquitetura de 32 ou 64 bits, na plataforma Microsoft .Net

4.0 e linguagem C#. Para armazenar as informações geradas pela aeronave e também as informações geradas pelas análises do sistema foi utilizado o banco de dados gratuito SQLServer Express 2008, caso o volume de dados a ser trabalhados seja superior a 4 gigabytes, será necessário a atualização da versão do banco de dados para a versão paga do SQLServer. Esta interface apresenta as áreas de criação em um mapa e uma barra de ferramentas que permite a interação do usuário: aumentar (zoom), diminuir, mover, selecionar, estender e medir.

*Figura 1 - Interface do sistema de visualização da informação*

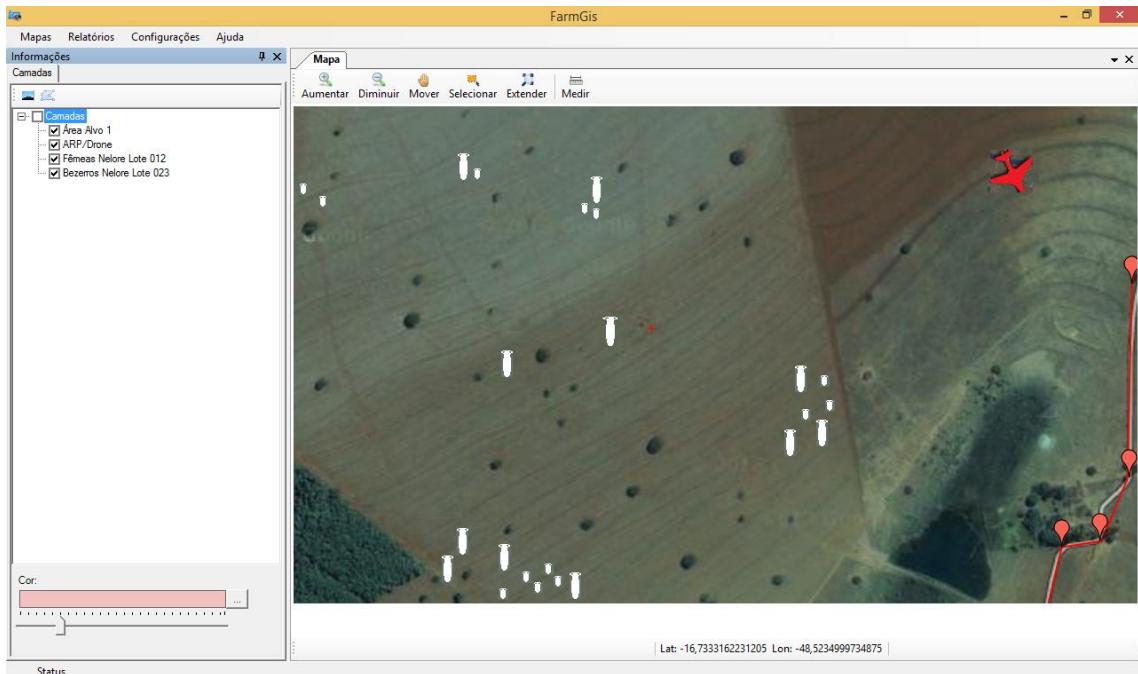


Fonte: (FarmGis, 2015)

Dentre as funcionalidades do sistema, destaca-se um painel do lado esquerdo do mapa que exibe as camadas de visualização, assim, todas as informações podem ser filtradas e classificadas em vários níveis facilitando sua compreensão. Estas camadas possuem um componente do tipo *checkbox*, onde o usuário poderá marcá-las ou desmarcá-las. Todas as camadas marcadas são exibidas e as desmarcadas ficam escondidas.

O usuário pode escolher quais informações serão exibidas, por exemplo: Todo o rebanho, as fêmeas da raça nelore do lote 012, os bezerros da raça nelore do lote 023, somente os machos, dentre outras. Com esta flexibilidade, o gestor pode criar categorias do seu interesse para obter rapidamente as informações mais importantes, conforme a figura 2. O sistema apresenta ainda a geração de relatórios que poderão ser impressos, contendo as atividades diárias, mensais e anuais de cada rebanho.

Figura 2- Visualização em camadas



Fonte: (FarmGis, 2015)

O sucesso do uso de Identificadores de Rádio Frequência na identificação da pecuária pode ser comprovado em [4], aspecto que reforça ainda mais a viabilidade de implantação da proposta. Essas etiquetas identificadoras contemplam materiais suficientes para a identificação de cada integrante do rebanho, bem como sua localização no momento da contagem executada pelo sistema.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ainda não temos dados de um sistema automático para a contagem do gado para efeito de comparação com o método apresentado neste trabalho, por isso esta seção descreve o desempenho do procedimento proposto em testes comparando seus resultados com a contagem manual. Para a contagem manual utilizou-se um dispositivo numérico sequencial, conforme mostra a figura 3. Todo o rebanho foi recolhido em um curral e a cada animal que passou pela porteira o dispositivo de contagem manual era acionado.

*Figura 3 – Dispositivo para contagem manual*



Fonte: (Internet)

Na tabela 1 podemos ver um comparativo da contagem manual com a contagem efetuado pelo VANT, em áreas com o mesmo tamanho e com 100 animais no rebanho.

Tabela 1 – Comparativo entre a contagem manual e a contagem automática com o uso de VANT.

Área (hectares)	Tempo Manual (minutos)	Tempo Automática (minutos)
100	75	30
1000	615	300
5000	3015	1500

Para gerar a tabela 1 foram feitas as seguintes medidas: A pessoa responsável pela contagem manual gastou 15 minutos para contar 100 indivíduos quando eles já estão no curral e o peão recolheu o rebanho em cerca de 60 minutos na área de 100 hectares. Já a ARP cobriu a área de 100 hectares em 30 minutos voando a 150 metros de altura e a uma velocidade de 15 metros por segundo. Para as áreas de 1000 e 5000 hectares foi feito um cálculo matemático proporcional à medição feita com a área de 100 hectares.

Foi identificada uma falha na contagem efetuada pela aeronave e que gerou erros. Esta falha ocorreu quando alguns animais se movimentaram para uma parte da área onde o VANT já havia sobrevoado, assim eles não foram contados. A solução para este problema é sobrevoar a área mais de uma vez ou até que todos os animais sejam localizados.

## **CONCLUSÕES**

O uso do método proposto neste trabalho se mostrou muito eficiente e atendeu as expectativas de custo e precisão na contagem dos animais. A aplicação contínua do sistema permite uma visão comportamental do rebanho possibilitando a identificação de oportunidades para a melhoria da produção e contribuindo com setor pecuário.

## **AGRADECIMENTOS**

À CAPES pela concessão de bolsa aos três mestrandos co-autores deste trabalho, ao projeto de P&D GT411 – Cemig/UFU, intitulado “Desenvolvimento de ambientes virtuais, para centro de operação de sistemas representativos das subestações e usinas da Cemig, associados a tecnologias de projeção 3D” que possibilitou o conhecimento necessário para o desenvolvimento deste trabalho e à empresa de agricultura de precisão Geaap Agrociência LTDA por dar apoio financeiro e teórico para o desenvolvimento do sistema de contagem de gado proposto.

## **REFERÊNCIAS**

- [1]ANAC: Agência Nacional de Aviação Civil. Disponível em: < <http://www.anac.gov.br>>. Acesso em: 12 de mai. 2015.
- [2] BASNYAT, Prakash et. al; Agriculture Field Characterization Using Aerial Photograph and Satellite Imagery. *Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 1. pg 7-10, 2004.
- [3]GEORGE, Eobin Alex, et. al. UAV SYSTEMS FOR PARAMETER IDENTIFICATION IN AGRICULTURE. *Global Humanitarian Technology Conference*. pg 270-273, Trivandrum, 2013.
- [4] MUN LENG NG; KIN SEONG LEONG; HALL, D.M.; COLE, P.H. A small passive UHF RFID tag for livestock identification. *Microwave, Antenna, Propagation and EMC [Technologies for Wireless Communications]*, 2005. MAPE 2005. *IEEE International Symposium on* , vol.1, no., pp.67,70 Vol. 1, 8-12 Aug. 2005

- [5] PRITT, Mark D.; Fast Orthorectified Mosaics of Thousands of Aerial Photographs from Small UAVs. Applied Imagery Pattern Recognition Workshop. Washington, 2014.
- [6] QUARTER, Autumn; Introduction to Photogrammetry. Department of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science. Ohio, 2005.
- [7] VROEGINDEWEIJ, Bastiaan A, et. al. AUTONOMOUS UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR AGRICULTURAL APPLICATIONS. International Conference of Agricultural Engineering, Zurich, 2014.