

# **DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO**



**CURSO DE SUPERVISÃO TÉCNICA DO SAGITARIO ACC**

**TOP014**

**DISCIPLINA III – PROCESSAMENTO DE DADOS DE SENsoRES DE VIGILÂNCIA**

Departamento de Controle do Espaço Aéreo – DECEA  
2017  
Curso de Supervisão Técnica do SAGITARIO ACC  
TOP 014  
Disciplina III: Processamento de Dados de Sensores de Vigilância

Organização e elaboração do conteúdo:  
Eng Marcelo Lucena de Souza – PAME-RJ

Assessoria Pedagógica e Revisão Geral:  
Ten Ped Krícia Glenda Alves Ferreira – CINDACTA IV  
SO BET Carlos Manuel Teixeira Mansores – PAME-RJ

O presente trabalho foi desenvolvido para uso didático, em cursos que são oferecidos pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). O seu conteúdo é fruto de pesquisa em fontes citadas na referência bibliográfica, e que o(s) autor(es)/revisor(es) acreditam ser confiáveis. No entanto, nem o DECEA, nem o(s) autor(es)/revisor(es) garantem a exatidão e a atualização das informações aqui apresentadas, rejeitando a responsabilidade por quaisquer erros e/ou omissões, ou por danos e prejuízos que possam advir do uso dessas informações. Esse trabalho é publicado com o objetivo de orientar o aprendizado, não devendo ser entendido como um substituto a manuais, normas ou qualquer tipo de publicação técnica específica que trata de assuntos correlatos.

## **APRESENTAÇÃO:**

Este material didático corresponde à disciplina Processamento de Dados de Sensores de Vigilância. O material foi elaborado a partir de assuntos selecionados especialmente para orientar sua aprendizagem. A seguir você irá conhecer os objetivos que deverão ser alcançados ao fim da disciplina e os conteúdos que serão trabalhados.

## **OBJETIVOS:**

- descrever as características básicas dos radares de vigilância aérea (Cp);
- explicar o funcionamento do processamento de dados dos sensores de vigilância no SAGITARIO ACC (Cp);
- apresentar a extração de relatórios do aplicativo OFFLINE do SAGITARIO ACC (Cp); e
- contribuir para soluções de problemas (Re).

## **EMENTA:**

Sensores de Vigilância

Processamento de Dados de Vigilância

Extração de Relatórios de Dados de Vigilância do aplicativo OFFLINE do SAGITARIO ACC

## UNIDADE 1

### SENSORES DE VIGILÂNCIA

Esta unidade apresentará os SENSORES DE VIGILÂNCIA utilizados no SAGITARIO ACC, na qual o aluno conhecerá melhor as características básicas e os princípios de funcionamento desses sensores.

#### **1.1 RADAR**

Com o nascimento da aviação no início do século XX e a proliferação de voos realizados nos âmbitos civil e militar, surgiu a necessidade de se avaliar a situação aérea em uma determinada região de modo que voos pudessem ser acompanhados a partir do solo. Tal necessidade provém tanto de requisitos de defesa aérea, onde a determinação da quantidade e posição de aeronaves hostis é essencial para o planejamento e emprego eficiente de recursos de defesa e ofensivas aéreas, assim como da necessidade de apoiar a navegação e controle de aeronaves civis em um determinado espaço aéreo.

Os primeiros meios de avaliação da situação aérea a partir do solo eram visuais ou acústicos, onde operadores verificavam a presença de alvos aéreos utilizando binóculos, holofotes, ou amplificadores acústicos. O desempenho destes meios de detecção dependia fortemente de fatores como condições atmosféricas e luminosidade disponível, tornando-os ineficientes, além de, mesmo em condições ótimas, terem curto alcance.

Uma melhor avaliação da situação aérea só foi obtida com o desenvolvimento e emprego do radar, palavra oriunda do acrônimo em inglês *Radio Detection and Ranging*. O radar utiliza ondas eletromagnéticas refletidas por alvos aéreos para determinar a presença e estimar a distância desses alvos, possuindo alcance consideravelmente maior do que meios de detecção visuais e acústicos, sendo também mais robusto às condições climáticas.

O princípio de radiodeterminação foi demonstrado pela primeira vez pelo físico alemão Christian Hülsmeyer em 1904 na Holanda em um “sistema anticolisão para navios”, que explorou a refletividade de ondas eletromagnéticas em superfícies metálicas. Existiram planos de comercialização desse sistema, mas a tecnologia utilizada na época não era boa o suficiente para o emprego comercial e o projeto foi abandonado. Mais tarde, em 1935, o físico escocês Robert Watson-Watt elaborou um experimento bem sucedido para detectar e estimar a distância de aeronaves em voo. Robert Watson-Watt é considerado o pai do radar moderno.

A consolidação do radar veio com seu emprego sistemático durante a Segunda Guerra

Mundial, quando foi utilizado pela Grã-Bretanha como ferramenta de alerta antecipado de ataques aéreos. A utilização deste alerta evitou que a Alemanha obtivesse superioridade aérea na região do Canal da Mancha, sendo fundamental para a vitória final dos Aliados, na campanha conhecida como "A Batalha da Grã-Bretanha". O radar, no decorrer da guerra, passou a ser uma tecnologia obrigatória e de extrema importância nos sistemas de defesa dos países envolvidos. A Figura 1 apresenta os radares britânicos durante a Segunda Guerra.



Figura 1. Cobertura radar da Grã-Bretanha na Segunda Guerra Mundial

Nas décadas posteriores à guerra, o radar foi aperfeiçoado e seu emprego difundido em praticamente todos os países. Hoje, o radar é uma tecnologia bem difundida e radares de vigilância são encontrados em todos os sistemas de defesa aérea e em sistemas de controle de espaço aéreo para fins civis.

O radar, dependendo de suas características de funcionamento, tem diversas aplicações, desde a detecção de formações meteorológicas até a interceptação de mísseis balísticos. Para vigilância aérea, as aplicações do radar são:

- Controle de Tráfego Aéreo (CTA); e
- Defesa Aérea (DA).

Os radares podem ser classificados de acordo com a tecnologia de operação ou pelo seu emprego, de acordo com o tipo de vigilância a que se destina.

A Figura 2 mostra a classificação dos radares em relação à tecnologia, onde são divididos em radares primários e secundários. Estes radares serão vistos em detalhes nas seções seguintes desta apostila.

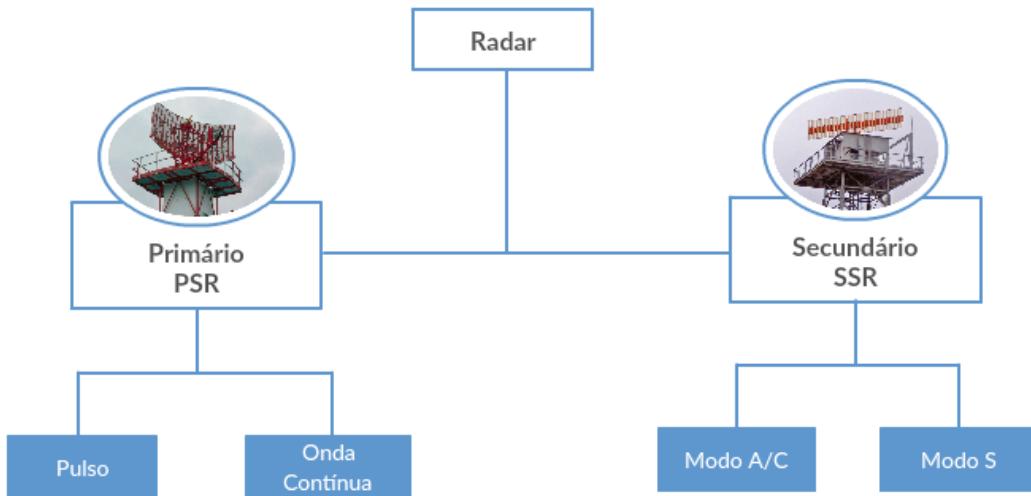


Figura 2. Classificação dos radares de acordo com a tecnologia

Os radares primários são divididos em radares pulsados ou de onda contínua. Nos radares pulsados, um pulso é transmitido durante um determinado tempo e após essa transmissão é realizada uma “escuta” por eventuais ecos desse pulso. Este tipo de radar permite que a mesma antena seja utilizada tanto para transmissão e recepção. Por outro lado, os radares de onda contínua sempre estão transmitindo, impossibilitando que a mesma antena seja utilizada para transmissão e recepção. Radares de onda contínua são em geral empregados em aplicações de baixo custo, como detectores de velocidade, presença, entre outros, ou em algumas aplicações de controle de mísseis aéreos. Radares de vigilância, que é o escopo desta apostila, utilizam tecnologia de pulso.

O radar secundário serve para complementar a vigilância das aeronaves com informações de identificação e outras informações do voo da aeronave, e está dividido em interrogadores Modo 3/A, Modo C e Modo S. O Modo S é uma evolução operacional dos modos 3/A e C, mas é empregado para o mesmo fim.

Radares primários, por sua vez, podem ser classificados de acordo com seu emprego como:

- Radares de Rota para CTA

Cobrem uma área relativamente grande do espaço aéreo superior, com aproximadamente 200 NM de raio, onde as aeronaves em geral estão voando niveladas e com velocidade constante.

- Radares de Terminal para CTA

Cobrem áreas de terminais de grandes e médios aeroportos, com alcance aproximado de 60 NM de raio, nas quais as aeronaves estão voando em altitudes mais baixas e realizando manobras para pousos e decolagens.

- Radares de Defesa Aérea

Assim como os radares de rota, os radares de defesa aérea têm alcance aproximado de 200 NM, com requisitos de detecção específicos para defesa aérea, como por exemplo, determinação da altura do alvo em relação ao radar e funções de proteção eletrônica.

Esta classificação é apresentada graficamente na Figura 3. Os radares secundários que operam em conjunto com radares primários em geral não são afetados pelo tipo de radar primário a ele associado.

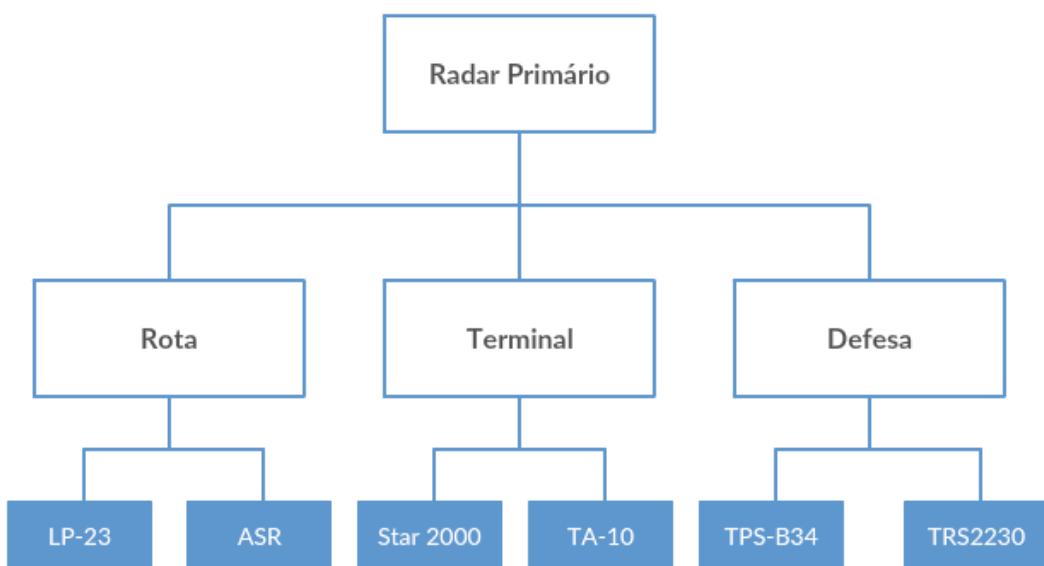


Figura 3. Classificação dos radares primários de acordo com o emprego

Os alvos a serem detectados pelos radares são classificados em: **alvos cooperativos**, que emitem sinais a partir de equipamentos de bordo para os radares ou demais sensores de vigilância de forma a viabilizar ou facilitar sua detecção. Em outras palavras, são alvos que “querem ser vistos”. Alvos deste tipo são, em sua maioria, aeronaves comerciais ou aeronaves que utilizam a CAG (Circulação Aérea Geral). Por outro lado, **alvos não-cooperativos** não emitem nenhum tipo de sinal para os sensores de vigilância, sendo detectados apenas por meios próprios do radar, bastando o alvo estar na cobertura de vigilância para serem detectados.

### 1.1.1. RADAR PRIMÁRIO (PSR)

O radar primário (PSR – *Primary Surveillance Radar*) funciona de acordo com o princípio do eco: o transmissor do radar emite um pulso eletromagnético de alta potência em uma determinada direção. Na presença de uma aeronave nesta direção, parte do pulso atinge a superfície da aeronave e é refletido de volta para a antena, sendo captada pelo receptor do radar. A Figura 4 ilustra este princípio.

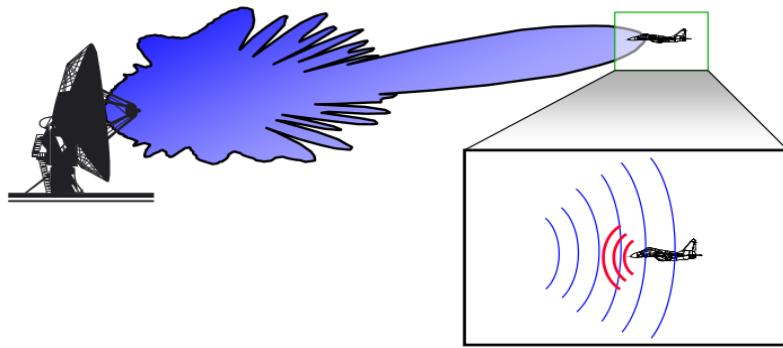


Figura 4. Princípio de funcionamento do radar

É importante destacar que, neste cenário, o alvo não precisa realizar nenhuma interação com o radar, basta estar “no caminho” do pulso eletromagnético. Portanto, o radar primário detecta alvos não-cooperativos (e complementa a detecção de alvos cooperativos), em aplicações de controle de tráfego aéreo e de defesa aérea.

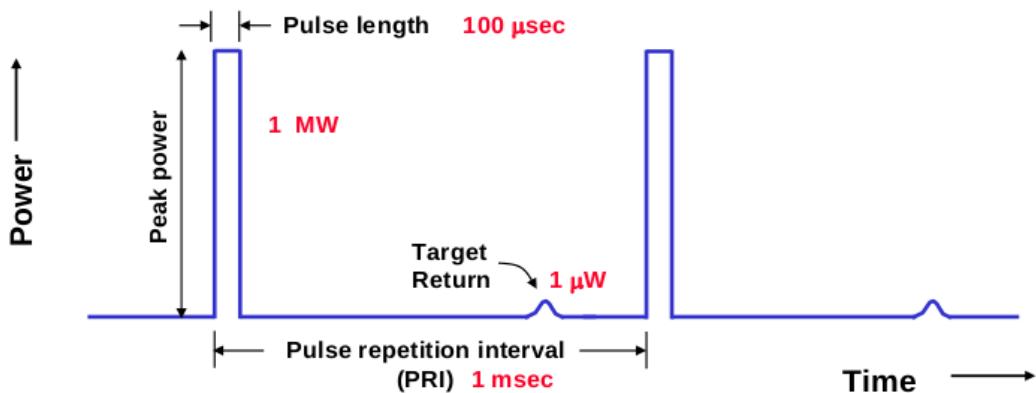


Figura 5. Potência do sinal na antena do radar

De outra maneira, a Figura 5 mostra este mecanismo de funcionamento tendo referência a potência do sinal na antena radar. A transmissão do pulso de alta potência é realizada de tempos em tempos em um determinado intervalo, chamado de IRP, Intervalo de Repetição de Pulso (do inglês PRI - *Pulse Repetition Interval*), com a duração do pulso sendo pequena. Na maior parte do tempo do IRP, o receptor do radar atua na “escuta” de possíveis ecos originados de alvos. Da Figura 5 nota-se também que a potência do sinal refletido do alvo é bem menor do que o sinal transmitido, mas que ainda assim é possível detectar a presença de alvos nos sinais recebidos. A detecção se dá por meio de um valor de limiar da potência de sinal recebido: se a potência do sinal no receptor ultrapassar esse limiar, um alvo é considerado como detectado e é gerado um plote. Essa detecção por limiar é exemplificada na Figura 6.

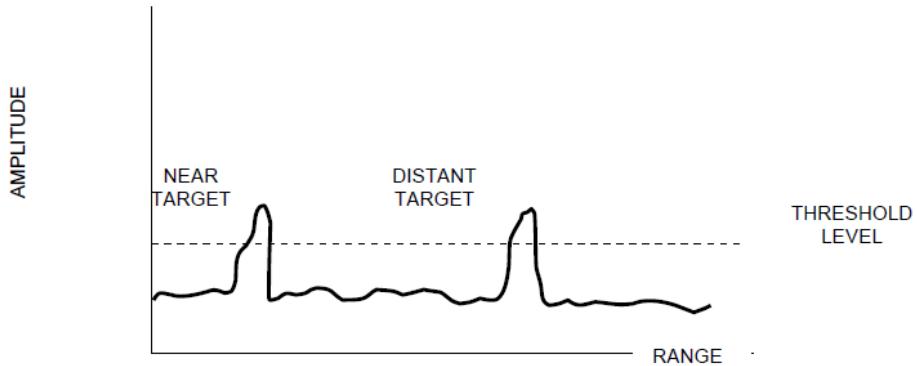


Figura 6. Detecção por limiar

Alvos detectados são chamados de plotes. Para determinar da posição do alvo (representada pela posição do plote), o receptor calcula o tempo em que o pulso percorreu do radar até o alvo, dado que o pulso eletromagnético viaja na velocidade da luz (valor conhecido) e que o receptor conhece a direção na qual o pulso foi enviado. A determinação da distância do alvo é dada pela simples equação:

$$c = \frac{2R}{t} \rightarrow R = \frac{ct}{2}$$

onde  $R$  é a distância do alvo até o radar (o que se deseja determinar),  $t$  é o tempo decorrido da transmissão do pulso até a recepção do eco e  $c$  é a velocidade da luz.

O azimute do alvo pode ser determinado de duas maneiras. Na primeira, em radares cuja rotação é mecânica (a antena do radar realiza revoluções periódicas em torno do seu próprio eixo), o azimute é dado pela posição da antena radar em relação ao norte (geográfico ou magnético) no momento em que o alvo foi detectado. Na outra maneira, o azimute é dado pela varredura eletrônica executada por um arranjo de antenas em fase, que é um conjunto de várias antenas pequenas posicionadas próximasumas das outras. Um processador controla a fase do sinal transmitido em cada antena de modo a se ter, na recepção do sinal, interferências construtivas em determinado azimute e destrutivas em outros. Com isto, é possível “apontar” eletronicamente a antena, mesmo que fisicamente a antena do radar esteja fixada e não se move. A Figura 7 e a Figura 8 exemplificam esses dois casos.



Figura 7. Radar primário com varredura eletrônica em azimute e elevação



Figura 8. Radar primário com rotação mecânica (radar 2D)

Com as informações de distância e azimute, a posição do alvo (plote) em coordenadas polares está determinada. Esta informação será a base para o rastreamento do alvo.

- Resumo de funcionamento

O funcionamento do radar primário pode ser resumido da seguinte forma:

- um pulso eletromagnético é transmitido pelo radar;
- se o pulso atingir um alvo, parte da energia transmitida é espalhada em várias as direções, inclusive na direção do radar (reflexão);
- uma pequena parte da energia espalhada é coletada pela antena do radar (eco do alvo);
- o radar identifica que o pulso retornado é um alvo e determina:
  - a distância do alvo pela diferença de tempo entre a transmissão do pulso e a recepção do eco;

- o azimute do alvo; e
- se o radar for 3D, determina também a altitude do alvo.

### 1.1.1.1. Componentes

Os componentes básicos do radar são: transmissor, receptor e antena. Geralmente a mesma antena é utilizada para transmissão e recepção do pulso eletromagnético, como é apresentado na Figura 9. Um radar que utiliza a mesma antena para transmissão e recepção é chamado de monoestático.

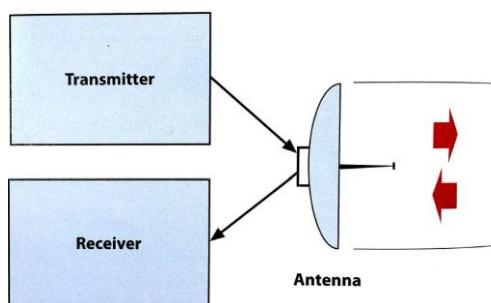


Figura 9. Componentes básicos do radar

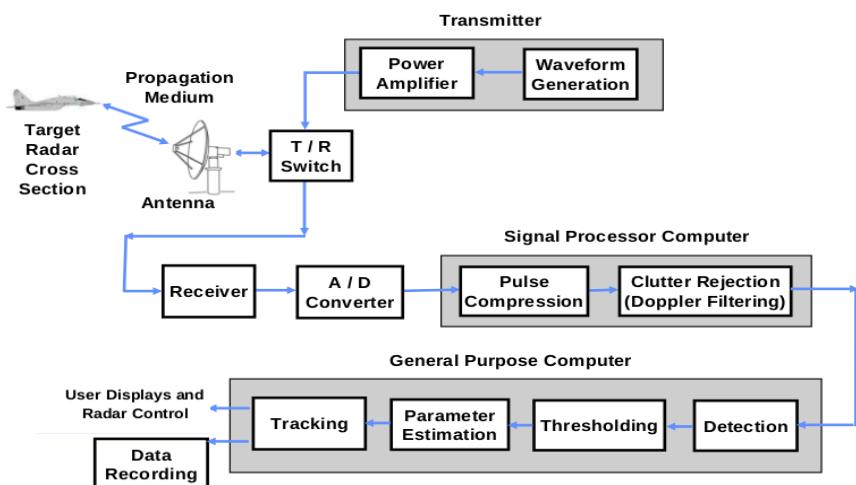


Figura 10. Componentes do radar em detalhes

A Figura 10 mostra a composição do radar com mais detalhes, onde se pode notar as funções de transmissão e recepção e as tarefas necessárias para o funcionamento do radar. Não é escopo deste curso entrar em detalhes sobre cada bloco da figura, contudo as funcionalidades de detecção e rastreamento serão comentadas.

### 1.1.1.2. Diagramas de irradiação

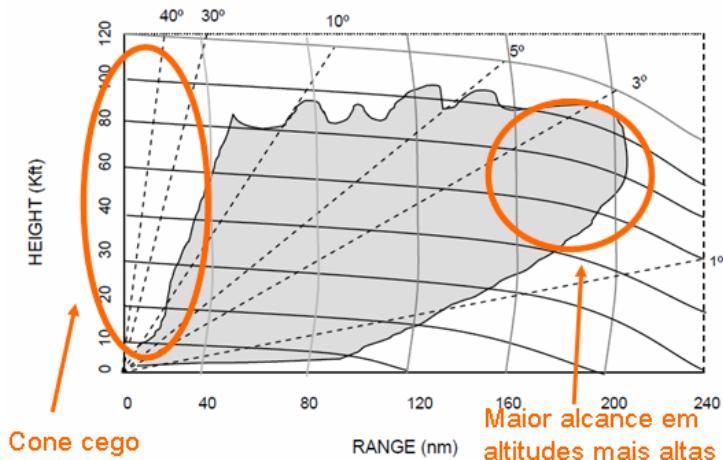


Figura 11. Diagrama de irradiação

Devido às características da antena, a maioria dos radares utilizados em vigilância aérea possui diagrama de irradiação similar ao apresentado na Figura 11. Este diagrama corresponde à irradiação de um radar 2D, em que são detectados a posição do alvo em um plano. Duas conclusões importantes podem ser obtidas analisando-se esse diagrama: o radar possui um “cone cego”, que é a região imediatamente acima do radar. Nessa região não há cobertura, consequentemente alvos não são detectados. Outra conclusão é que o alcance do radar varia de acordo com a altitude e esse alcance é maior em altitudes mais altas, ou seja, quando se fala em alcance de um radar é necessário especificar a altitude de interesse.

Radares 3D, que além da distância e azimute também conseguem estimar a elevação do alvo, possuem irradiação de acordo com a Figura 12. Estes radares realizam varredura vertical, obtendo assim a altitude do alvo. Radares 3D são indicados para aplicações em defesa aérea.

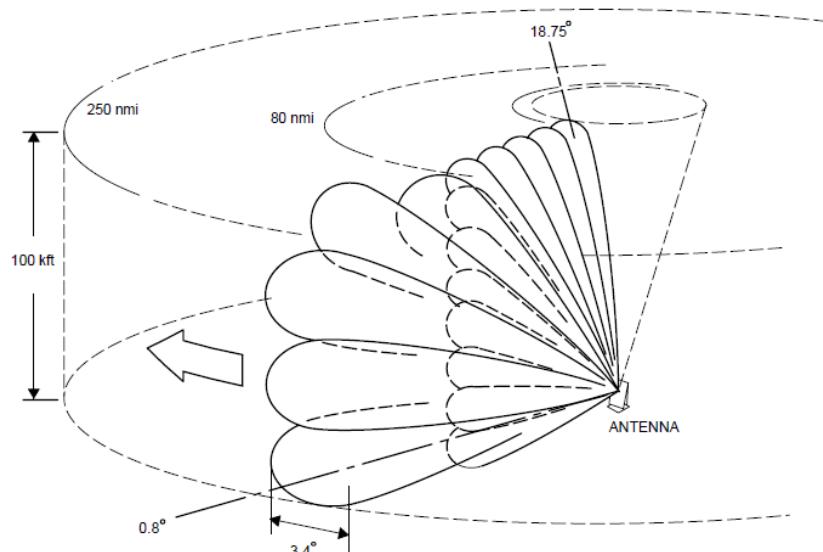


Figura 12. Diagrama de irradiação de um radar 3D

### 1.1.1.3. Propagação da onda eletromagnética

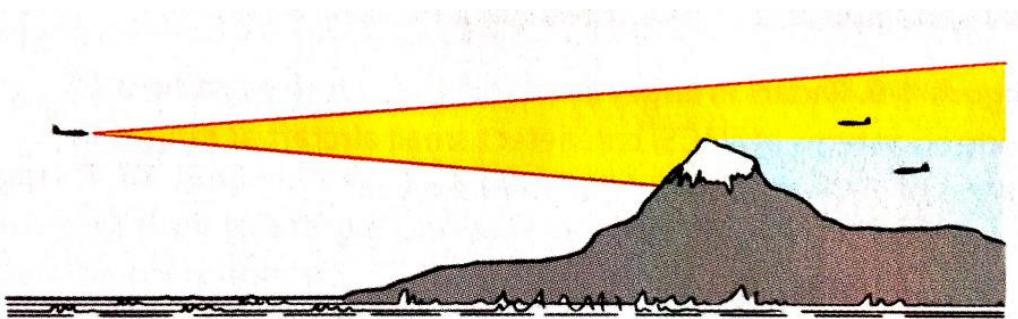


Figura 13. Visibilidade do radar

A onda eletromagnética emitida pelo radar, assim como a luz (que também é uma onda eletromagnética), se propaga em linha reta. As ondas emitidas pelo radar, por causa do comprimento de onda utilizado, não ultrapassam obstáculos como o solo e outros corpos densos, sendo refletidos em diversas direções. Desse modo, a visibilidade de um determinado radar depende fortemente do relevo ao redor do sítio onde ele foi instalado. Um exemplo de visibilidade do radar é mostrado na Figura 13, onde apenas a aeronave iluminada pelo radar de bordo é detectada. A aeronave atrás da montanha não é detectada.

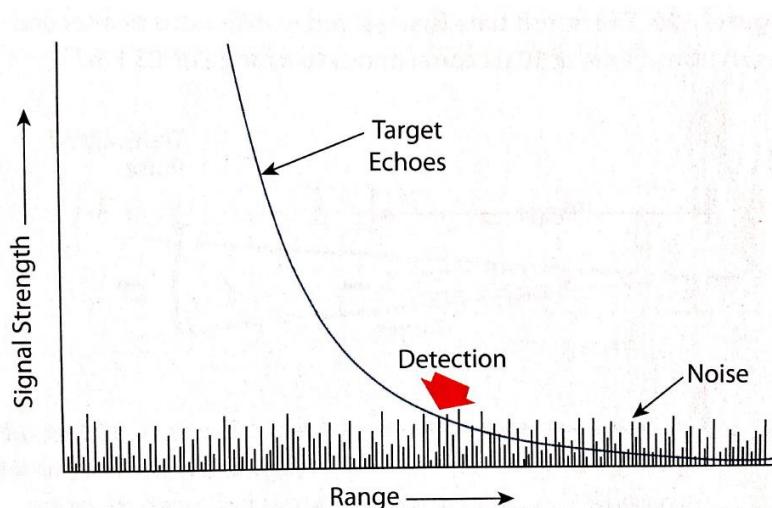


Figura 14. Potência do sinal de eco em relação à distância

Como foi visto anteriormente, a detecção do alvo depende da potência do sinal refletido pelo alvo (eco). A potência desse sinal deve ser alta o bastante para passar o limiar de detecção do radar e deve ser maior do que o sinal de ruído existente no receptor. A potência do sinal propagado pela onda eletromagnética decai com o quadrado da distância. Como o sinal deve ser transmitido, refletido e propagado de volta para o radar, a potência do sinal recebido decai com o inverso da distância elevada a quarta potência, um decaimento bastante acentuado. Esta é a razão pela qual a potência do sinal transmitido deve ser alta. A Figura 14 apresenta este decaimento. Quando o sinal

refletido pelo alvo fica imerso no ruído do receptor, o alvo não é mais detectável pelo radar.

#### 1.1.1.4. Fenômenos e anomalias

Vários fenômenos e anomalias estão associados à detecção de alvos pelo radar. Alguns desses fenômenos são inerentes ao princípio de funcionamento do radar e não podem ser totalmente suprimidos, apenas mitigados. O fenômeno mais comum do radar primário é a detecção de alvos falsos. Esta ocorrência consiste no aparecimento de plotes ou pistas que não foram originadas por alvos de interesse (aeronaves). A detecção de alvos falsos é denominada por alarme falso, seguindo a terminologia dos textos acadêmicos sobre detecção e estimativa. O alarme falso é gerado quando o sinal de um ruído interferidor ultrapassa o limiar de detecção. Técnicas para diminuição de alarmes falsos consistem em variar o limiar de detecção para que o ruído não o ultrapasse, consequentemente não seja gerado um plote para este ruído.

Outra ocorrência é a não detecção de alvos de interesse, ou alvos perdidos. Se o sinal de refletido pelo alvo não for forte o bastante para ultrapassar o valor de limiar, não é gerado um plote para esse alvo.

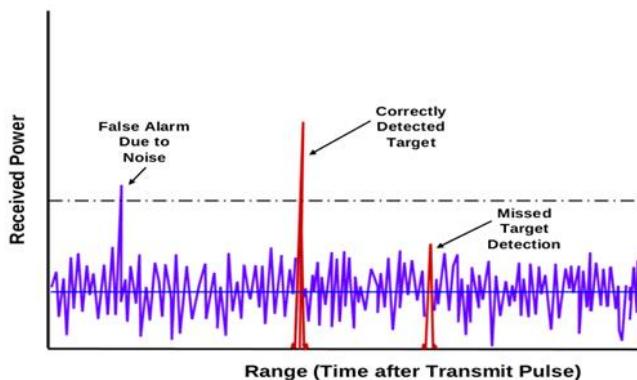


Figura 15. Exemplo de alarme falso, detecção correta e alvo perdido

A Figura 15 exemplifica as ocorrências de alarmes falsos e alvos perdidos, comparado com a detecção correta de um alvo.

*Clutter* é definido como reflexões de objetos indesejados, como solo, mar, chuva, entre outros, assim como detecções geradas por ruídos internos e externos ao radar.

A ocorrência de *clutter* no tratamento de dados de vigilância gera a necessidade de distinguir quais detecções são originadas por aeronaves e quais são detecções espúrias. Caso a detecção de *clutter* seja frequente, pistas falsas podem ser geradas no rastreamento.

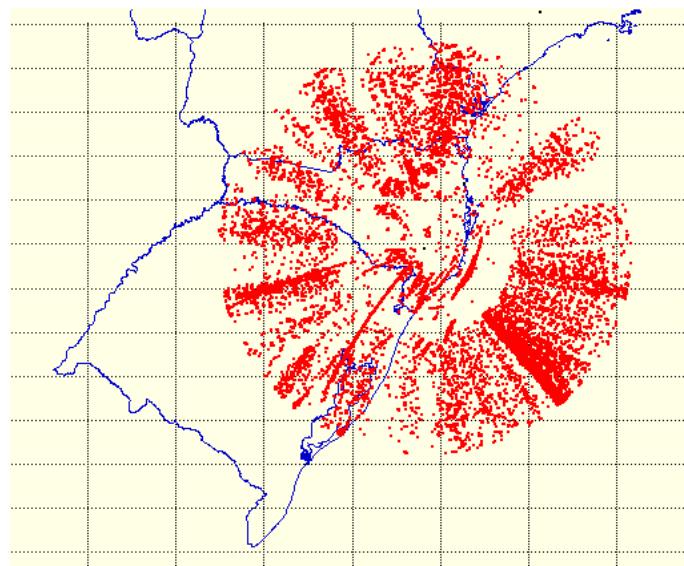


Figura 16. Detecções de *clutter*

A Figura 16 apresenta detecções de *clutter* do radar TRS-2230 de Morro da Igreja em uma gravação de 3 horas e meia, aproximadamente.

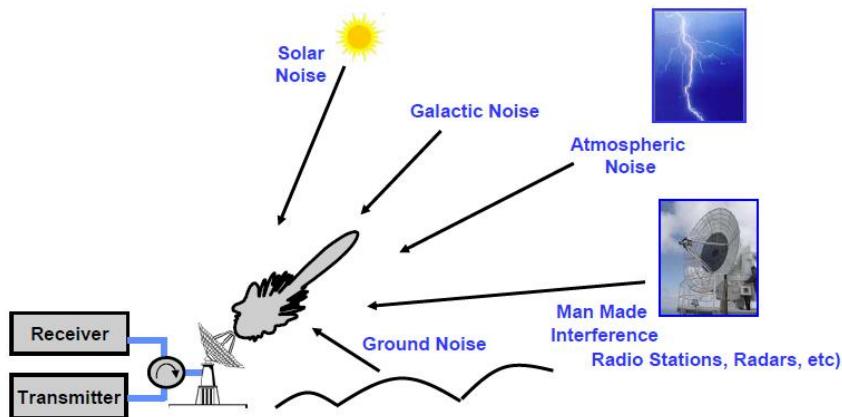


Figura 17. Fontes de interferências

A Figura 17 apresenta algumas fontes que interferem na detecção do radar, ocasionando alarmes falsos ou perda de detecção de alvos:

- interferência solar;
- ruídos cósmicos;
- interferência atmosférica e reflexões de formações meteorológicas; e
- reflexões de solo

#### **1.1.1.5. Fatores que impactam no desempenho do radar**

O desempenho do radar é definido como a capacidade de detectar alvos a certa distância. Um alvo distante do radar é mais difícil de ser detectado do que alvos próximos. Os fatores que

influenciam a detecção do um alvo pelo radar primário são:

- potência de transmissão;
- tamanho do pulso;
- tamanho da antena;
- refletividade do alvo;
- tempo de iluminação do alvo;
- comprimento de onda; e
- intensidade do ruído de interferência.

### **1.1.2. RADAR SECUNDÁRIO (SSR)**

O radar secundário (SSR – *Secondary Surveillance Radar*) é um radar de vigilância para alvos cooperativos, ou seja, é necessário que a bordo da aeronave exista um equipamento (*transponder*) que interaja com o radar secundário em solo. A finalidade do radar secundário é complementar a detecção do radar primário, fornecendo não só as informações de distância e azimute, mas também a identificação e a altitude barométrica da aeronave. O radar secundário detecta apenas alvo cooperativos, sendo necessário que o *transponder* a bordo da aeronave esteja ligado.

O princípio básico de funcionamento do radar secundário é dado pelo princípio de interrogação e resposta: o radar SSR em solo envia uma interrogação na forma de um sinal eletromagnético, este sinal é interpretado pelo *transponder* da aeronave, que envia um sinal de resposta com a informação solicitada na interrogação. Na recepção da mensagem de resposta, o radar SSR determina distância e azimute do alvo de maneira similar à do radar primário. No plote do radar secundário também são acrescentadas as informações contidas na resposta do alvo. A Figura 18 ilustra o princípio de funcionamento do radar secundário.

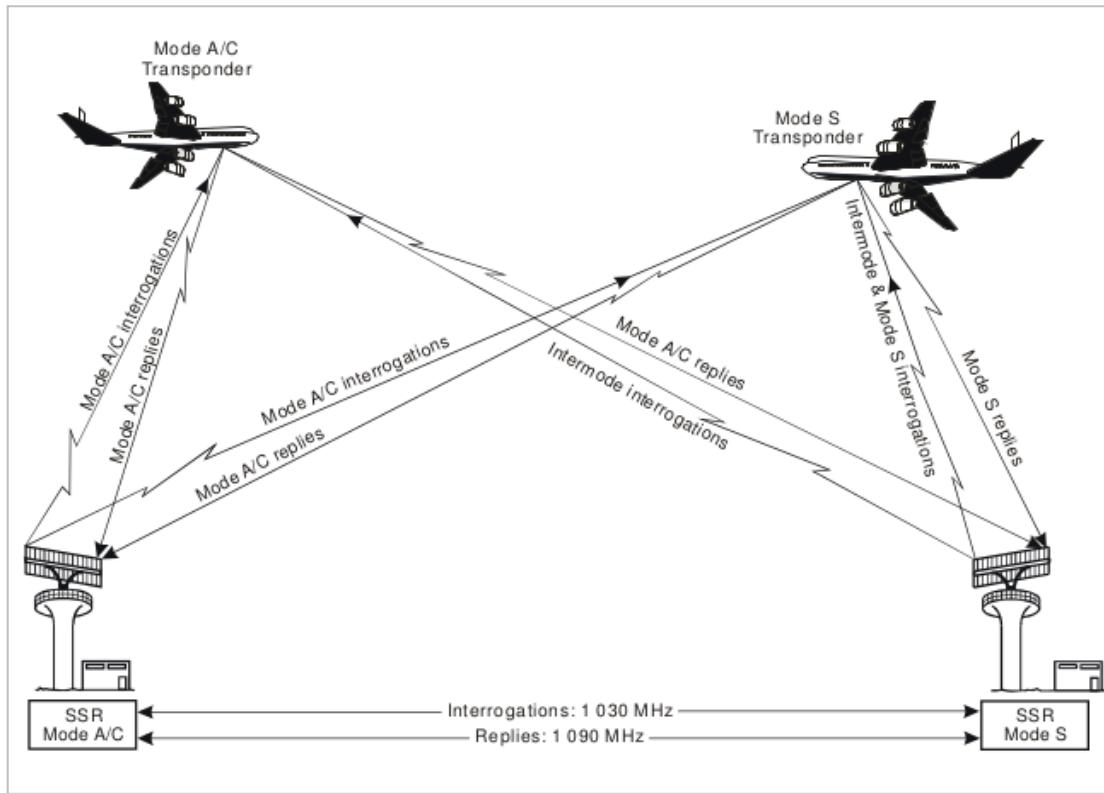


Figura 18. Princípio de funcionamento do radar secundário

As respostas do *transponder* da aeronave contêm informações de identificação da aeronave e nível de voo: essas informação estão relacionadas ao tipo de interrogação (ou modo de interrogação) do radar SSR, onde para cada modo de interrogação está associada uma informação. Os modos de interrogação do radar SSR:

#### **1.1.2.1. Modo 3/A**

Dada uma interrogação em modo 3/A, a aeronave responde com o código octal de 4 dígitos que lhe foi atribuída pelo controle de tráfego aéreo (código *transponder*). Este modo também é utilizado para acionamento de identificação especial de posição, ou SPI, assim como códigos de emergência.

#### **1.1.2.2. Modo C**

Este modo contém a informação de altitude barométrica medida pelos instrumentos de bordo da aeronave. A informação de altitude do modo C é discretizada em 100 pés e denominada por nível de voo, ou FL.

#### **1.1.2.3. Modo S**

O modo S, apesar de ser chamado de modo, é na verdade uma evolução de todo o sistema de interrogação e resposta do radar SSR, visando melhorias no sistema. O modo S, ao contrário dos

modos 3/A e C, é um modo seletivo onde as interrogações são direcionadas para aeronaves específicas (nos modos 3/A e C, as interrogações são direcionadas a todas as aeronaves que possam vir a receber a interrogação, ou seja, em *broadcast*). O modo S também proporciona maior qualidade nos requisitos de identificação da aeronave, transmitindo o código de identificação ICAO da aeronave (de 24 bits), maior precisão na informação de altitude barométrica, com níveis de voo discretizados em 25 pés, além de melhorias na determinação do azimute da aeronave por parte do radar SSR.

#### **1.1.2.4. Outros modos**

Existem também os Modos 1, 2, 4 e 5, que são códigos utilizados em aeronaves militares.

#### **1.1.2.5. Resumo de funcionamento**

- a antena do radar secundário emite um pulso de interrogação em determinada direção;
- o pulso é decodificado pelo *transponder* da aeronave;
- o *transponder* emite uma resposta de acordo com a interrogação; e
- ao receber a resposta, o radar determina:
  - determina distância e azimute; e
  - decodifica informações da interrogação.

### **1.1.3. COBERTURA RADAR**

A área de cobertura do radar depende de vários fatores de operação que são configurados de acordo com a aplicação do radar. Um desses fatores é o ciclo ou período de rotação do radar (considerando radares com rotação mecânica). Radares primários de rota necessitam cobrir uma área relativamente extensa e, para isso, precisam detectar os ecos de alvos distantes. Para melhorar essa detecção, o radar gera vários pulsos em uma mesma direção, gerando vários ecos que auxiliam na distinção entre ruído e ecos originados de alvos de interesse. Isto implica em um período de rotação maior. Radares de terminal cobrem áreas menores, além disso, as aeronaves em áreas de terminal necessitam de uma atualização mais frequente devidos às manobras de aproximação e partida. De modo geral, os radares no SISCEAB possuem os seguintes períodos de rotação:

- radares de rota:
  - período de rotação: 10s a 15s;
  - exemplo: LP-23 (12s);

- radares de terminal:
  - período de rotação: 4s; e
  - exemplo: Star 2000.

Em relação à cobertura dos radares primários e secundários, a diferença na cobertura desses radares está relacionada com o princípio de funcionamento de cada um. Os radares secundários possuem alcance maior do que radares primários, independentemente do período de rotação, porque os radares SSR utilizam alvos ativos, que emitem sinais para os radares em solo. Os alcances típicos dos radares, assim como o histórico de detecção de radares primários de rota e terminal e radares secundários são mostrados a seguir.

- Alcances típicos:
  - PSR:
    - rota, 200-250 NM; e
    - terminal, 60-80 NM.
  - SSR:
    - 256 NM.

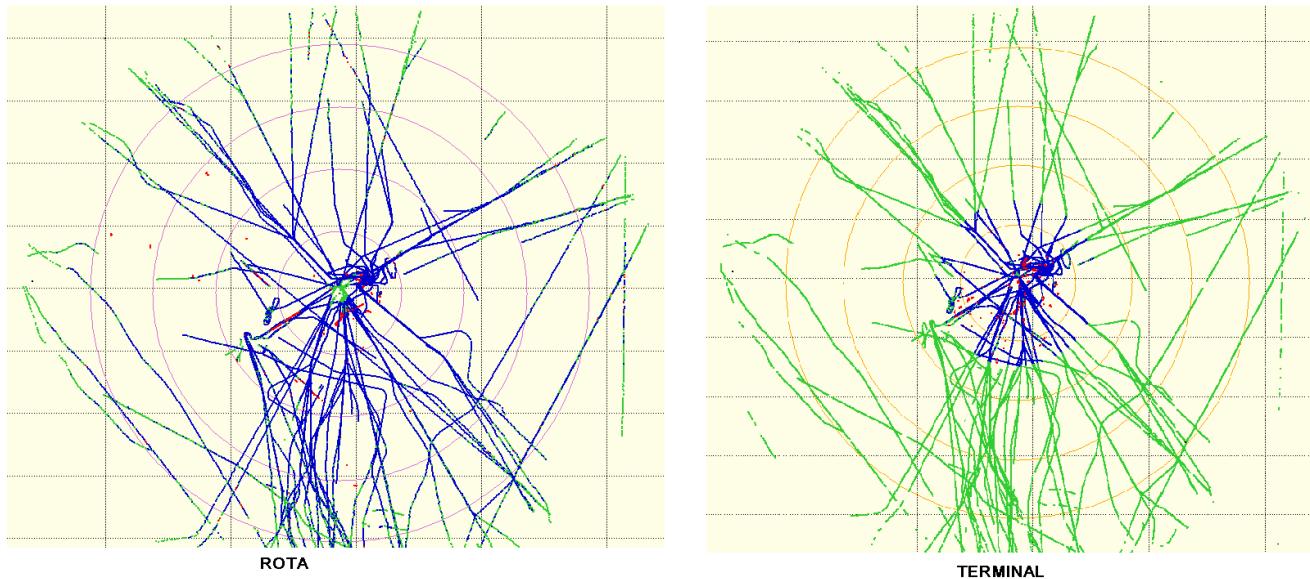


Figura 19. Cobertura dos radares

Na Figura 19, as detecções em azul correspondem às detecções PSR+SSR, verde a somente SSR, e vermelho a somente PSR.

#### 1.1.4. PLOTES

O plote primário é o resultado da detecção de um alvo pelo processamento de sinal do radar primário. Uma vez que o radar transmitiu vários pulsos, alguns desses pulsos foram refletidos pelo alvo e alguns desses pulsos refletidos (ecos) foram recebidos no radar, o processamento de sinal do radar gera um plote caso seja detectado um alvo nesses ecos. De forma semelhante, o plote secundário é gerado pelo recebimento de várias respostas às interrogações do radar secundário.

O plote contém a informação da detecção de um alvo no instante em que ele foi gerado, mas não contém correlação temporal com plotes gerados em ciclos anteriores, ou seja, é uma entidade sem memória. As informações contidas no plote são:

- plote PSR:
  - distância (*slant range*); e
  - azimute.
- plote SSR:
  - distância (*slant range*);
  - azimute;
  - código *transponder* (interrogação modo 3/A); e
  - nível de voo (interrogação modo C).

#### 1.2 PROTOCOLO ASTERIX

ASTERIX significa *All Purpose STructured Eurocontrol SuRveillance Information EXchange*. Trata-se de um protocolo que define um formato de mensagens binárias para comunicação de Dados de Vigilância, permitindo assim, a transmissão de informação harmonizada entre quaisquer sensores ou sistemas de automação ATM, conforme apresenta a Figura 20.

ASTERIX define a estrutura do dado a ser trocado em um meio de comunicação, desde a codificação de cada *bit* de informação até a organização de blocos de dados, sem qualquer perda de informação no processo.

ASTERIX é um padrão estabelecido pela EUROCONTROL que engloba as camadas de Apresentação e Aplicação do modelo ISO/OSI.

A transmissão de informação de vigilância codificada em ASTERIX pode usar qualquer meio de comunicação, tais como: *Wide Area Network* (WAN), *Local Area Network* (LAN), *Internet Protocol* (IP), bem como por meio de linhas seriais dedicadas.

Uma vantagem do protocolo ASTERIX é que ele foi projetado para transmissão em canais com largura de banda limitada, de forma que só transmitido estritamente o necessário. Outra vantagem é que o protocolo é bastante flexível, possibilitando aos usuários e fabricantes de radares adequarem o protocolo a suas necessidades.

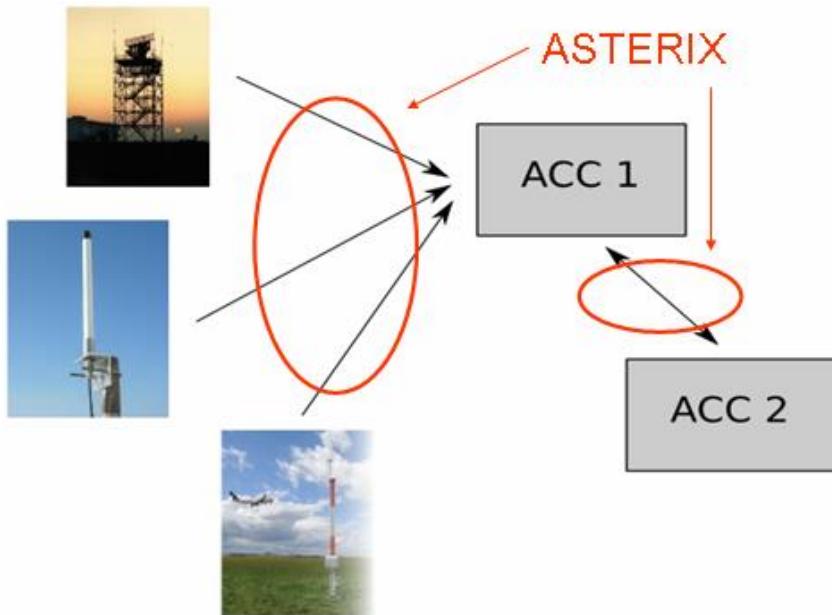


Figura 20. Diagrama de contexto do protocolo ASTERIX

### 1.2.1. CATEGORIAS

O ASTERIX padroniza os domínios de aplicação de cada sensor em categorias. Cada categoria possui um catálogo de campos contendo as informações relevantes de cada aplicação. A especificação de cada categoria define o formato e a ordem desses campos. A seguir são apresentadas as principais categorias do protocolo ASTERIX e o domínio de aplicação em que a categoria está associada.

- CAT 001
  - mensagem de plote/pista monoradar
- CAT 002
  - mensagens de serviço monoradar
- CAT 008
  - informações meteorológicas monoradar
- CAT 034
  - mensagens de serviço monoradar (sucessor da CAT 002)

- CAT 048
  - mensagem de plote/pista monoradar (sucessor da CAT 001)
- CAT 062
  - mensagens de pista de sistema
- CAT 063
  - mensagens de status dos sensores
- CAT 065
  - mensagens de status do SDPS

Esta unidade apresentou as principais características que o SUPERVISOR TÉCNICO DO SAGITARIO ACC precisa conhecer dos SENSORES DE VIGILÂNCIA para executar o ótimo desempenho de suas funções.

A próxima unidade apresentará o PROCESSAMENTO DE DADOS DE VIGILÂNCIA, na qual o aluno conhecerá melhor como as informações produzidas pelos sensores de vigilância aérea são utilizadas pelo SAGITARIO ACC.

## UNIDADE 2

# PROCESSAMENTO DE DADOS DE VIGILÂNCIA

Esta unidade apresentará o PROCESSAMENTO DE DADOS DE VIGILÂNCIA empregado pelo SAGITARIO ACC, na qual o aluno conhecerá como as informações dos sensores de vigilância são utilizadas pelo SAGITARIO ACC para apresentar uma situação aérea sintetizada aos controladores de voo.

### 2.1 FUNDAMENTOS

#### 2.1.1. ARQUITETURA

Há várias maneiras de processar dados de vigilância. A seguir são apresentadas as principais arquiteturas para sistemas de tratamento de dados de vigilância (STDV). A Figura 21 mostra a arquitetura mais simples, onde as pistas são formadas com informação de um único radar (pistas locais). A arquitetura utilizada nos sistemas X-4000, DA/COM e SAGITARIO sem MST é apresentada na Figura 22. Nesta arquitetura, cada radar gera sua pista local e essas pistas são enviadas a um centro de processamento que irá fundir pistas locais de todos os radares para compor uma situação aérea sintetizada (pista de síntese).

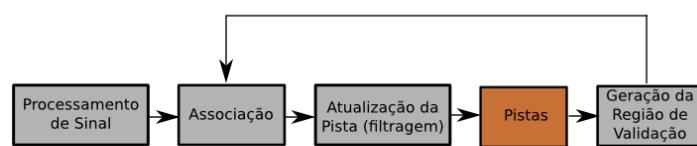


Figura 21. Rastreamento monorradar (pista local do radar)

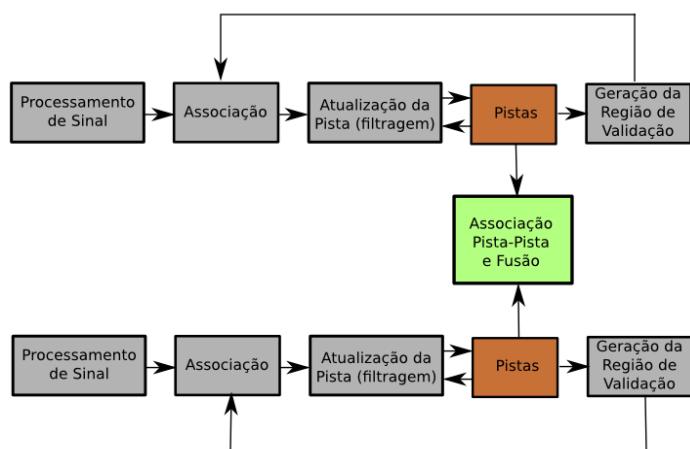


Figura 22. Rastreamento monorradar com fusão de pistas multiradar (X-4000, DA/COM ou SAGITARIO sem MST)

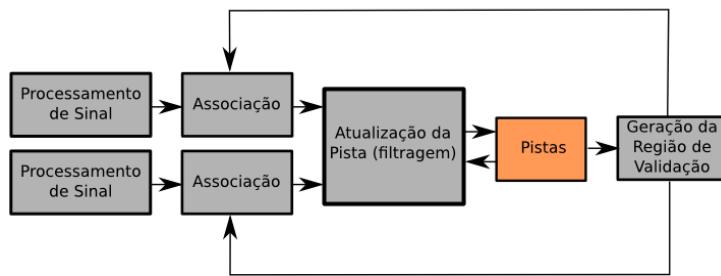


Figura 23. Rastreamento multiradar (SAGITARIO com MST)

A Figura 23 mostra a arquitetura utilizada pelo SAGITARIO com MST. Nesta arquitetura os radares enviam plotes ao centro de processamento e este realiza o rastreamento (rastreamento multiradar). Esta arquitetura é a que potencialmente resulta no menor erro de estimativa, porém é a mais complexa.

### 2.1.2. RASTREAMENTO

As informações contidas nos plotes estão sujeitas a ruídos de medição, provenientes de interferências internas ou externas ao radar. Esse ruído torna a informação do plote menos precisa. O erro é definido como a diferença entre a posição do plote e a posição real (e desconhecida) do alvo.

O erro (ruído) é composto por duas parcelas: um **erro aleatório**, onde a posição dos plotes gerados por um alvo muda aleatoriamente de detecção para detecção, e a média desse erro aleatório, definido por **erro sistemático**. O ideal é que essa média seja próxima de zero, fazendo com que a posição dos plotes, na média, fique próxima da posição real do alvo.

Para diminuir o efeito desses erros são necessárias duas etapas:

- compensar a média do erro aleatório (caso essa média não seja zero) somando ou subtraindo essa média da posição dos plotes a fim de trazer a média para zero; e
- filtrar o erro aleatório a fim de suavizar a trajetória estimada do alvo.

A tarefa que realiza a etapa “a” é correção de *bias*, enquanto a suavização da trajetória (etapa “b”) é realizada pelo rastreamento.

Outro ponto relevante em relação aos plotes, além da presença do ruído, é que informações importantes não estão disponíveis, como velocidade e/ou aceleração e identificação do alvo. Essas informações de cinemática e identificação ajudam manter um histórico e fazer previsões de posições futuras do alvo, atividades essenciais em controle de tráfego aéreo e em defesa aérea.

Essas informações são estimadas pela tarefa do rastreamento.

Rastreamento é um processo de estimar iterativamente o estado de um alvo a partir das informações ruidosas dos plotes. O estado do alvo é dado pela:

- posição;
- velocidade; e
- aceleração.

Somente a posição do alvo é informada pelo plote, e ainda esta informação de posição é imprecisa. O que o rastreamento faz é filtrar o ruído da posição do plote e estimar a velocidade e aceleração do alvo, ou seja, estimar o estado do alvo, obtendo assim uma informação mais precisa e mais completa do alvo. O resultado do rastreamento é o estado estimado do alvo, comumente chamado de pista. A Figura 24 mostra um diagrama de blocos do rastreamento. Os plotes são passados como entrada para o rastreador, que processa esses plotes e gera uma pista para cada alvo rastreado.

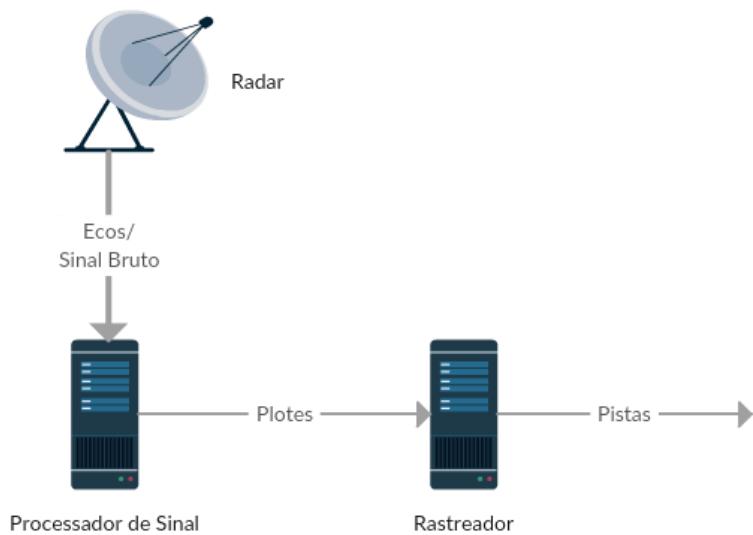


Figura 24. Diagrama de blocos do rastreador

A seguir são listados os motivos em se realizar o rastreamento:

- maior acuracidade das pistas em relação aos plotes individuais;
- possibilita manter histórico de pistas para os alvos detectados;
- extração de pistas permite prever posições futuras dos alvos; e
- diminuição da apresentação de alvos falsos.

A diminuição da apresentação de alvos falsos é resultado do processo de criação de pistas,

onde vários plotes são necessários para criar uma pista. Plotes falsos, gerados por ruídos, tendem a ser detectados em ciclos esporádicos e aleatoriamente, não sendo apresentados em uma mesma região em ciclos consecutivos. A criação de pista é dada pelo critério de M de N, onde M detecções são necessárias em N varreduras. A Figura 25 apresenta um exemplo de plotes e pistas gerados pelo mesmo radar, onde se observa que o número de pistas geradas é bem menor do que o número de plotes. Os plotes “não confirmados” por pistas foram gerados por interferências ou por ecos não originados de aeronaves.

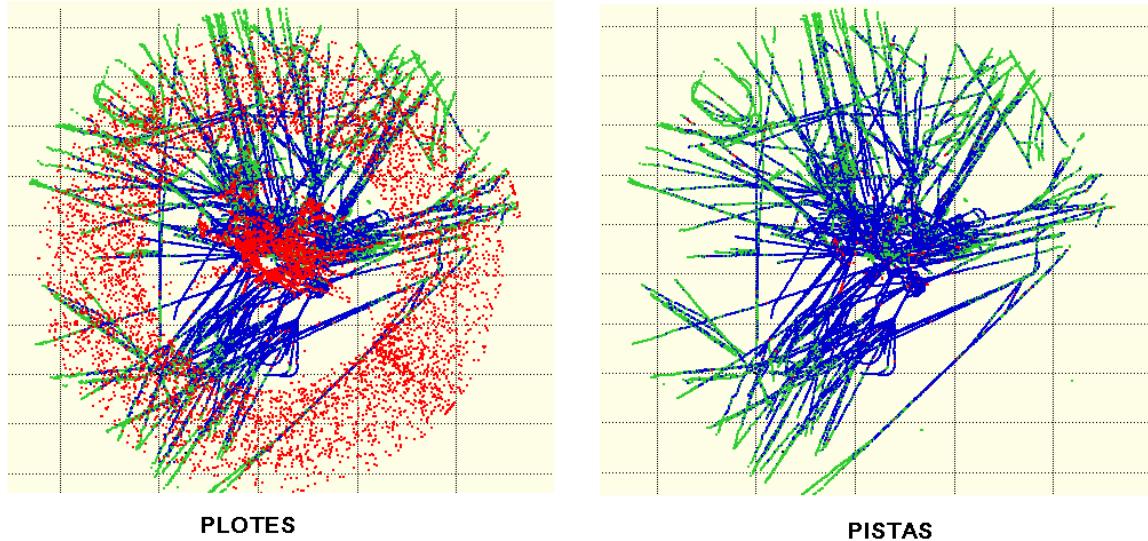


Figura 25. Exemplo de plotes e pistas

Uma vez que a pista foi criada, ela deve ser mantida. A cada ciclo do radar, o rastreador tenta atribuir algum plote que foi detectado na varredura atual a alguma pista já existente. Esta etapa é chamada de associação plote-pista. A Figura 26 exemplifica esta etapa. A partir da posição prevista do alvo, é criada uma região de validação (*gate*) onde somente os plotes contidos nessa região são utilizados para atualizar a pista. O objetivo da região de validação é descartar plotes que não correspondem ao alvo.

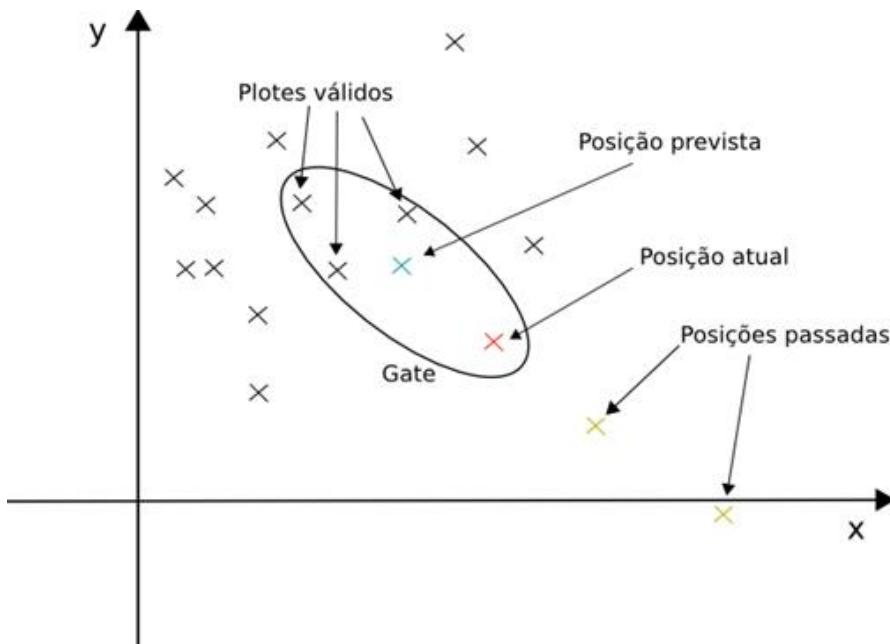


Figura 26. Associação plote-pista

Após a etapa de associação, é necessário realizar a filtragem da pista com o(s) plote(s) selecionado(s). Na etapa de filtragem, o rastreador atualiza a posição da pista considerando as posições passadas e os plotes associados, suavizando a posição da pista em relação à posição do plote. Esta suavização resulta na diminuição do ruído contido na posição do plote. Nesta etapa de filtragem também são realizadas as estimativas da velocidade e aceleração do alvo.

A pista é atualizada considerando a posição prevista e a posição do plote. Para fins didáticos, a ideia básica do processo de filtragem pode ser entendida pela equação abaixo:

$$x_{filtrado} = x_{previsto} + g \underbrace{(x_{plote} - x_{previsto})}_{\text{inovação/resíduo}}$$

Suponha que  $x$  represente a posição do alvo. A posição filtrada (atribuída à pista no final do processo) é uma composição de dois termos: a posição prevista somada a um termo composto de um fator multiplicativo. O valor entre parênteses corresponde à diferença entre o que foi observado pelo radar ( $x_{plote}$ ) e o que foi previsto pelo rastreador ( $x_{previsto}$ ). O valor de  $g$  regula a filtragem e pode ser fixo ou variável, dependendo do filtro. Por exemplo, o valor previsto pelo rastreador pode ser obtido pela suposição de que o alvo está se deslocando em linha reta e com velocidade constante. Caso o alvo esteja de fato se descolando com velocidade constante e em linha reta,  $x_{previsto}$  e  $x_{plote}$  terão valores próximos, e a diferença entre eles será apenas o valor do ruído de medição do radar, que deve ser minimizado. Nesse caso, o valor de  $g$  idealmente deveria ser próximo de zero para anular ao máximo a parcela do ruído, sendo o valor de posição atribuído à pista composto quase que totalmente pelo valor previsto do rastreador. Em contrapartida, o valor de

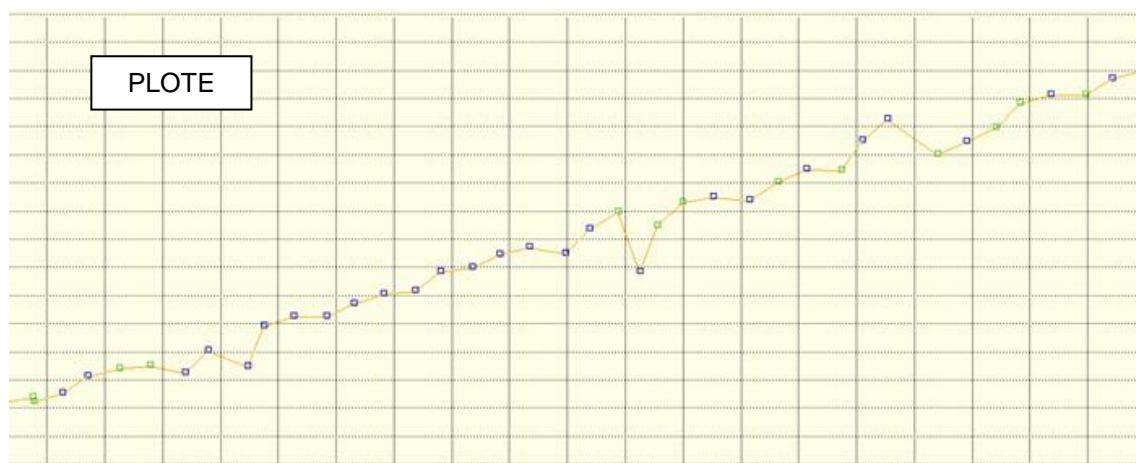
$g$  não pode ser muito pequeno porque, nos casos em que a aeronave está realizando manobras, a diferença entre  $x\_pote$  e  $x\_previsto$  contém não só o ruído, mas também a informação da posição da manobra do alvo, que é importante para a correta evolução da pista, mesmo que esta informação esteja contaminada com ruído.

A filtragem é sempre um compromisso entre o que foi previsto pelo rastreador, segundo algum modelo de movimento, e o que foi observado pelo radar. De uma forma conceitual, diferentes algoritmos tratam esse compromisso de maneiras distintas.

Após a filtragem, as informações sobre o alvo presentes na pista são:

- posição no plano cartesiano;
- altitude 3D (plots provenientes de radares 3D);
- código SSR modo 3/A;
- nível de voo – modo C;
- velocidade; e
- proa

A Figura 27 apresenta o resultado da suavização da trajetória da pista a partir da posição do plote com dados reais. Observa-se que a trajetória do plote é mais ruidosa em relação à trajetória da pista.



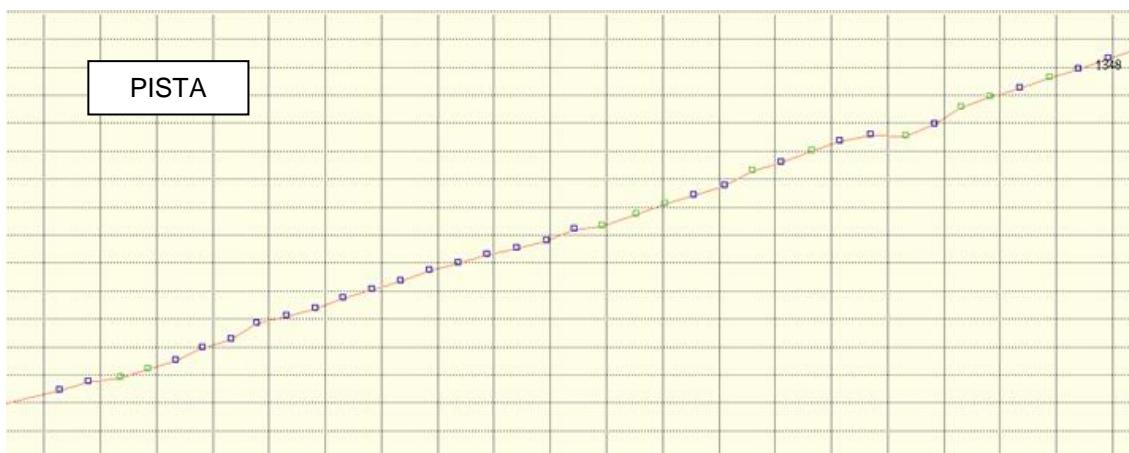


Figura 27. Suavização da trajetória do alvo na etapa de filtragem

Em resumo, as etapas do rastreamento de alvos aéreos são:

- associação Plote-Pista:
  - processo em que há tentativa de associar plotes recém detectados pelos sensores a pistas já criadas, a fim de atualizá-las. A associação é realizada com base em algum critério de proximidade entre a posição do plote e a posição prevista para a pista naquele instante. Caso o plote contenha código 3/A, essa informação também é utilizada.
- Filtragem:
  - processo que suaviza a trajetória da pista, diminuindo a incidência do ruído aleatório. Também são obtidas na filtragem estimativas para velocidade e aceleração, não presentes nas informações dos plotes. O filtro de Kalman, ou variações baseadas nele, são comumente empregados nessa etapa.

### 2.1.2.1. Rastreamento Monorradar e Multirradar

O rastreamento pode ser realizado utilizando apenas plotes de um mesmo radar, nesse caso o rastreamento é dito monorradar. Quando o rastreamento utiliza simultaneamente plotes de vários radares distintos, o rastreamento é dito multiradar. O rastreamento monorradar gera **pistas locais**, que podem ser fundidas com pistas locais de outros radares, produzindo uma **pista de síntese**. O rastreamento multiradar é utilizado no SAGITARIO com MST (*Multisensor Tracker*). Para diferenciar da pista de síntese, que é produzida pela fusão de pistas, a pista produzida pelo rastreamento multiradar é denominada de **pista MST**. As pistas de síntese e MST são classificadas como **pistas de sistema**.

### **2.1.2.2. Rastreamento Em Nível**

O objetivo do rastreamento em nível é de rejeitar informações de nível de voo (denominado nível bruto) cuja variação, em um ciclo, esteja acima do aceitável para uma aeronave em voo. Assim, por exemplo, se uma pista tem um histórico de nível de voo estável no FL 300 e, após dez segundos, o nível bruto apresenta uma variação de 5000 pés (FL 350), o rastreamento em nível rejeita, em princípio, esta variação brusca e aguarda os próximos níveis brutos para descartar ou confirmar este novo nível de voo.

Na triagem do nível bruto recebido, o rastreamento elimina:

- os níveis brutos nulos;
- as variações acima de um limiar; e
- plotes com data anterior ao último nível bruto aceito.

O rastreamento em nível utiliza um filtro de Kalman e calcula também as razões de decida/subida.

### **2.1.3. RECEPÇÃO DE DADOS DE VIGILÂNCIA NO SAGITARIO E SITUAÇÃO**

#### **AÉREA LOCAL (SAL)**

No SAGITARIO, a arquitetura de recepção de dados radar é apresentada na Figura 28. Os dados dos radares que chegam pelas linhas de transmissão analógicas são digitalizados pelo MODEM e replicados pela Unidade de Derivação Digital (UDD). O objetivo de replicar os dados seriais do radar é disponibilizar o mesmo sinal para outros sistemas, mas não é obrigatório em todas as instalações do SAGITARIO. Os dados seriais são convertidos para *Ethernet*, por meio, por exemplo, dos conversores *Serial-Ethernet* da Sunhill, e disponibilizados para os servidores de tratamento de dados de vigilância do SAGITARIO (SDV01 e SDV02).

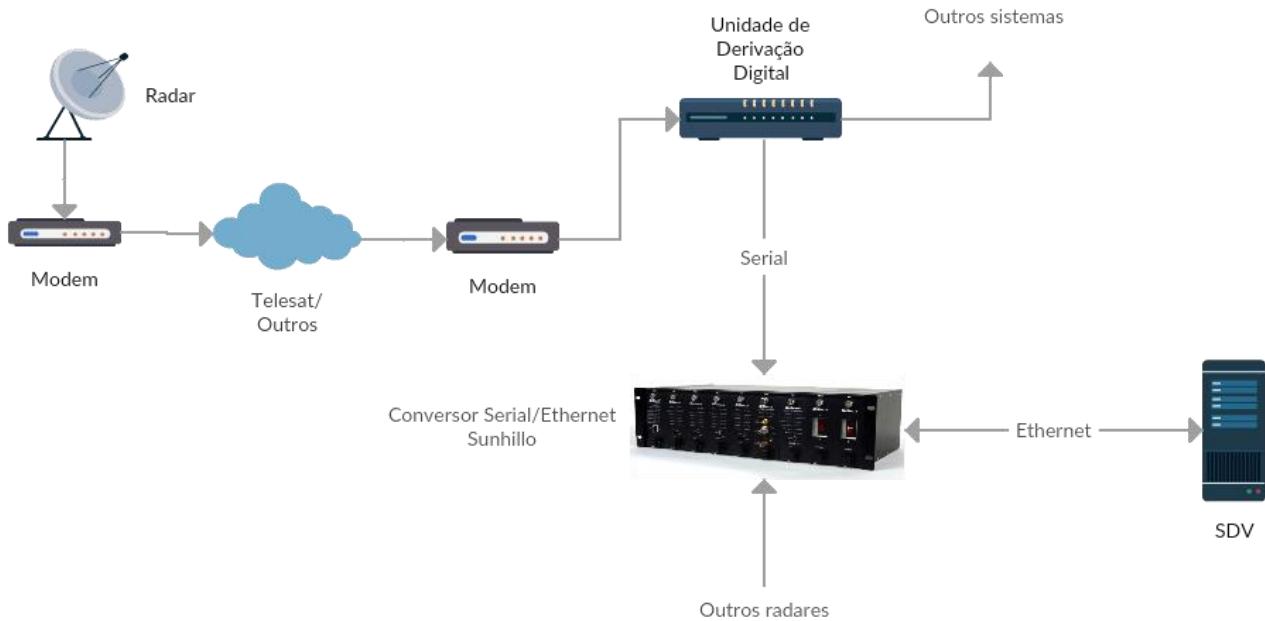


Figura 28. Recepção de dados radar no SAGITARIO

No SAGITARIO, a tarefa de recepção de mensagens pista radar recebe as mensagens produzidas pelas estações radar, gera e mantém a **situação aérea local (SAL)**. Na SAL, são mantidas as informações das pistas locais de cada um dos radares conectados ao Centro de Controle.

As mensagens de serviço radar são usadas para o monitoramento da regularidade de recepção dos dados radar (mensagem de setor) e ativação/desativação (mensagem Top Norte) das linhas radar, bem como das sinalizações de anomalias previstas no corpo dessa mensagem. A cada ciclo, no azimute Norte, o radar envia uma mensagem *status*, chamada mensagem Top Norte (*North Marker*). Por exemplo, para um radar cujo ciclo é de 10 segundos, a frequência de atualização da mensagem Norte é também de 10 segundos. Dessa forma, é possível determinar falhas de comunicação quando não há atualização das mensagens Norte com a frequência esperada.

As Mensagens Pista são submetidas aos seguintes tratamentos:

- transformação das coordenadas locais radar para coordenadas estereográficas centrais;
- correções em azimute e distância, para compensar os erros médios de medidas, em azimute e distância;
- validações, cujo objetivo é eliminar as pistas que:
  - estão fora do domínio de tratamento (mosaico multiradar); e
  - não possuem integridade dos dados (por exemplo, ausência das informações

cinemáticas).

- atualização das pistas locais (SAL); e
- criação de pista local (quando não foi possível atualizar a SAL, ou seja, a pista recebida ainda não existe na SAL).

A mensagem de supressão de pista é uma sinalização de que o radar eliminou determinada pista. Neste caso, o SDV do SAGITARIO suprime a pista local da SAL.

#### **2.1.4. PROJEÇÃO ESTEREOGRÁFICA**

As medições brutas de posição do alvo realizadas pelos radares são em coordenadas polares (distância e azimute), onde a distância é dada pela distância de visada (rampa, *slant range*) do alvo em relação ao radar. Por outro lado, a apresentação da situação aérea para os controladores é realizada em um plano. Desta forma, é necessário algum tipo de projeção da informação em coordenadas brutas para o plano. A projeção utilizada no SAGITARIO é a projeção estereográfica.

Além disso, em sistemas que processam dados multiradar (multissensor), é necessário converter as referências da projeção local dos radares para uma referência comum. As coordenadas de pistas transmitidas por um radar têm como centro (0,0) a posição deste radar. Para que seja possível unir as pistas de todos os radares em uma imagem única, é necessário transformar essas coordenadas para uma referência comum, ou seja, um centro (0,0) comum a todos os radares integrados ao Centro de Controle.

O sistema de projeção estereográfica é usado porque tem a propriedade de preservar os ângulos. Por outro lado, a projeção estereográfica deforma as distâncias e áreas. Tal deformação é tanto maior quanto mais distantes estão os objetos da origem ou do ponto de distorção nula. Os efeitos dessa deformação são aceitáveis para essa finalidade, porque a área de um Centro de Controle é limitada a um retângulo de tratamento, cujo centro coincide com o centro da projeção estereográfica e cujas dimensões (de um ACC ou APP) restringem a deformação inerente ao sistema de projeção estereográfico. O valor exato do erro causado por essa distorção depende de fatores como distância e altitude da estação radar. Por exemplo, para um radar localizado no nível do mar e um alvo localizado a uma distância de 160 NM deste radar e a uma altitude de 243FL, o erro provocado pela projeção é de aproximadamente 0,6 NM. Também, para compensar a deformação é estabelecido um ponto de distorção nula, que define um círculo com centro coincidente com o centro de projeção. Sobre este círculo não há deformação.

As coordenadas rebatidas no plano dos radares são transformadas para coordenadas estereográficas centrais em dois passos:

- transformação de coordenadas brutas radar para coordenadas estereográficas locais; e
- transformação de coordenadas estereográficas locais para coordenadas estereográficas centrais.

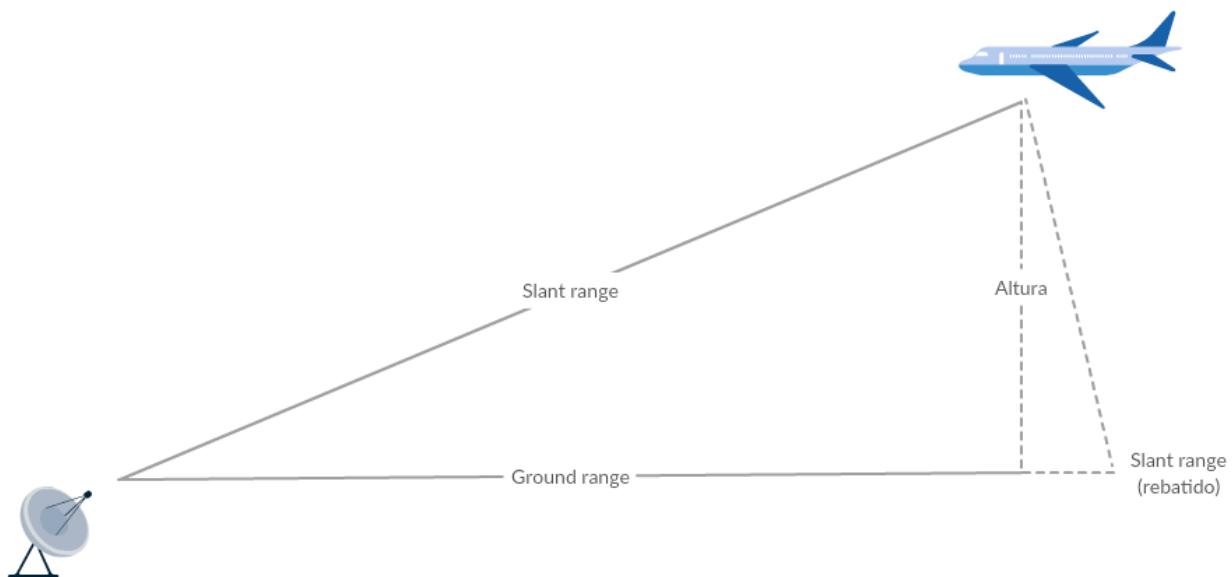


Figura 29. Rebatemento simplificado das coordenadas radar para o plano.

A Figura 29 mostra como é realizado o rebatimento de coordenadas radar (polar) para o plano local do radar de uma maneira simplificada. O cálculo do *ground range* utilizado para a projeção estereográfica está apresentada na Figura 30.

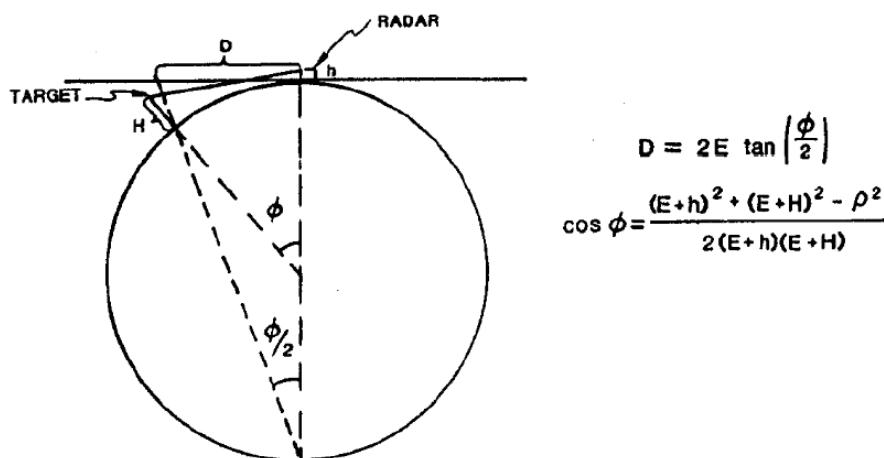


Figura 30. Cálculo do *ground range*

Finalmente, a transformação da referência do plano do radar para o plano do sistema é mostrada na Figura 31. A transformação do plano local do radar para o plano do sistema plota o ponto A (plano local) no ponto C (plano do sistema).

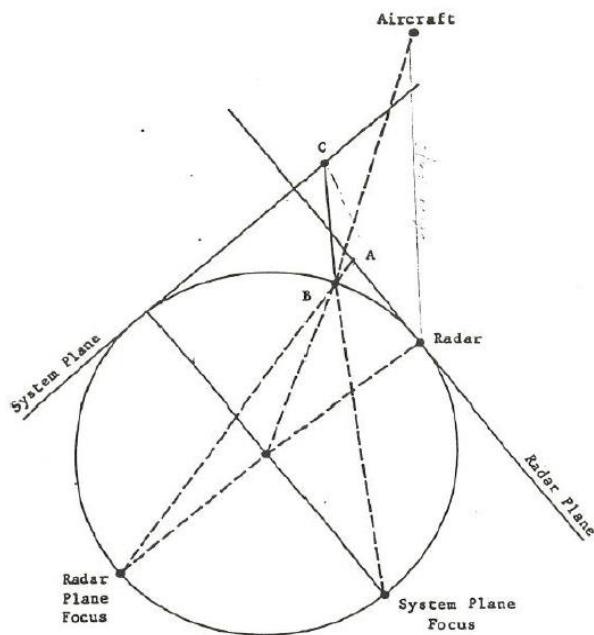


Figura 31. Transformação das coordenadas locais para o plano do sistema

Na projeção estereográfica, existe uma região onde a distorção em distância é nula. Esta região é definida por um ponto de distorção nula. Este ponto pode coincidir com o centro do sistema ou não. Caso o ponto de distorção nula seja o mesmo do centro do sistema, a região de distorção nula se localiza somente no ponto. Caso seja definido em outro ponto, a região de distorção nula corresponde a uma circunferência. Os dois casos são mostrados a seguir na Figura 32.

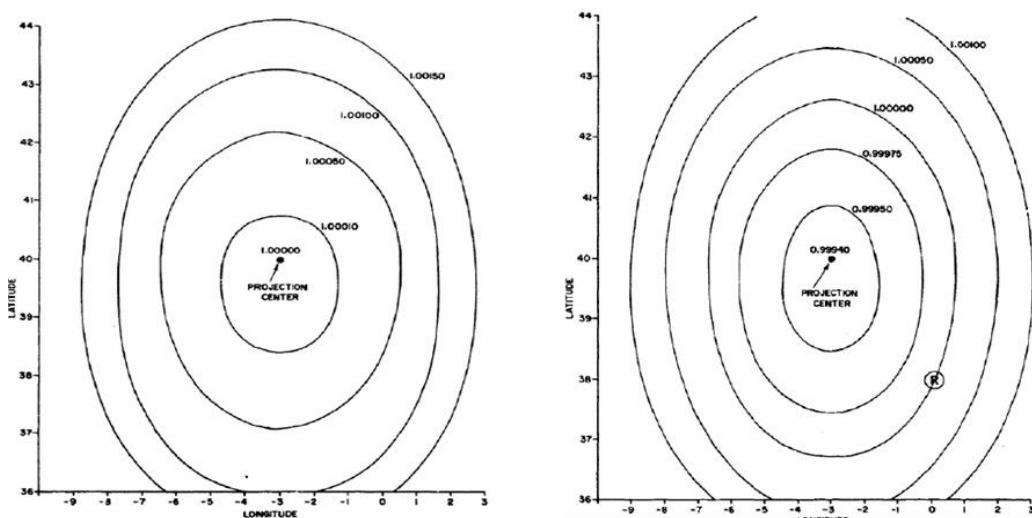


Figura 32. Ponto de distorção nula

## 2.1.5. CORREÇÃO DE *BIAS* DOS SENSORES

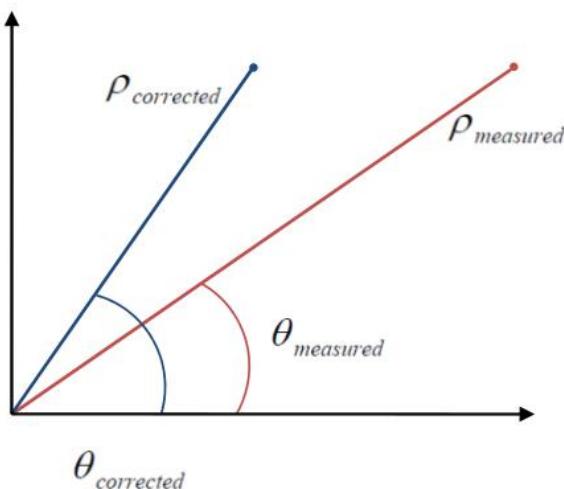
Conforme apresentado anteriormente, o erro sistemico nos plotes/pistas dos radares ocasiona um desvio médio entre a posição reportada pelo plote/pista e a posição real da aeronave. Esse desvio médio é denominado de *bias* (ou erro sistemico). Para aumentar a precisão das informações produzidas pelo processador de dados de vigilância, faz-se necessária a correção dos valores de *bias* de todos os radares/sensores que contribuem para a geração da pista de sistema do processador de dados de vigilância.

No caso dos radares a informação de posição dos plotes é dada em coordenadas polares (*slant range* e azimute), e, consequentemente, cada uma dessas componentes pode conter um desvio médio (*bias*).

No SAGITARIO é possível realizar a correção de 3 componentes de *bias* presentes nas coordenadas polares dos radares:

- *offset* azimutal
  - desvio aditivo na componente angular (azimute) da coordenada polar.
- *offset* em distância
  - desvio aditivo na componente radial (distância) da coordenada polar.
- fator em distância
  - desvio multiplicativo na componente radial (distância) da coordenada polar.

A Figura 33 ilustra a correção das 3 componentes de *bias*. Os desvios do tipo “*offset*” são constantes para todos os valores em questão (distância ou azimute), enquanto que os desvios do tipo “fator” são proporcionais ao valor em questão (distância ou azimute).



$$\rho_{corrected} = \left( \frac{\rho_{measured} - range\_bias}{1 + range\_gain} \right) \quad \theta_{corrected} = \theta_{measured} - azimuth\_bias$$

Figura 33. Visualização da correção de *bias*

Os valores para correção de *bias* devem ser calculados previamente para que sejam compensados. Existem ferramentas específicas para realizar esse cálculo, a exemplo da ferramenta SASS-C, que é um *software* desenvolvido pela EUROCONTROL para avaliação de sistemas de vigilância. Os valores calculados previamente são em seguida inseridos no SAGITARIO.

## 2.1.6. AVALIAÇÃO DE PROCESSADORES DE DADOS DE VIGILÂNCIA

Em um sistema que processa dados de vigilância aérea, o objetivo do sistema é produzir informações precisas a respeito das aeronaves aos seus clientes (controladores de voo e/ou outros sistemas). Essas informações consistem em valores de posição, velocidade, nível e informações de identificação dos alvos.

Devido à natureza probabilística dos sensores, sempre haverá uma incerteza associada às informações produzidas pelos sistemas de processamento de dados de vigilância. O objetivo da avaliação desses sistemas é garantir que essas incertezas estejam dentro dos limites aceitáveis.

A estratégia comumente utilizada para avaliar esses sistemas é comparar as informações presentes na pista de sistema do processador com alguma referência. Dessa forma é possível extrair estatísticas de erro do sistema e verificar se estas estatísticas atendem aos critérios vigentes.

Para avaliar o desempenho do SAGITARIO em relação ao processamento de dados de vigilância foi criado o **centro adjacente ZASSC**. Este centro adjacente disponibiliza a um sistema externo ao SAGITARIO todas as informações necessárias para sua avaliação. Essas informações são: pistas de sistema, pistas locais e plotes.

Uma das ferramentas utilizadas para avaliar o SAGITARIO no SISCEAB é o SASS-C. Além de diversas funcionalidades, o SASS-C reconstrói a trajetória da aeronave a partir dos plotes dos sensores utilizando algoritmos de reconstrução. Essa trajetória reconstruída serve de referência para avaliar a pista de sistema do SAGITARIO.

Outras ferramentas para avaliação incluem o RAPS-3, ferramenta desenvolvida pela empresa alemã COMSOFT para gravação, análise, rejogo e simulação de dados de vigilância.

## **2.2 PROCESSAMENTO BASEADO EM PONDERAÇÃO DE PISTAS**

Para agregar os reportes dos alvos aéreos produzidos por vários sensores em uma única informação, em outras palavras, fundir pistas locais em uma pista de síntese, o SAGITARIO emprega o algoritmo de ponderação de pistas. Esta seção apresenta alguns detalhes desse algoritmo.

### **2.2.1. MOSAICO**

Para unir as informações de todos os sensores, o SAGITARIO divide o seu domínio de tratamento geográfico em quadrículas. O domínio de tratamento é delimitado por um retângulo simétrico em relação ao ponto (0,0) e subdividido em quadrículas com lado de, por exemplo, 32 milhas náuticas para ACC ou 8 milhas náuticas para APP. Estas quadrículas são o *quantum* do tratamento do SDV, ou seja, as funções do SDV tratam somente as pistas situadas em uma quadrícula num determinado instante. Assim, é possível reduzir o número de comparações entre as informações de pistas, comparando-se somente as pistas que estão no interior de determinada quadrícula e nas quadrículas adjacentes a esta, prevendo a possibilidade de transição devido ao deslocamento das pistas. Nas quadrículas são declarados, em ordem de prioridade, até 16 radares, embora, na prática, é necessário limitar este número para minimizar a incidência de anomalias e duplicações. Também, em cada quadrícula, podem ser declarados outros atributos associados tais como: declinação magnética, altitude mínima segura na quadrícula usada na anti-colisão ar-solo (MSAW- *Minimum Safe Altitude Warning*).

### **2.2.2. MANUTENÇÃO DA SITUAÇÃO AÉREA DE SÍNTESE (SAS)**

A situação aérea de síntese (SAS) representa a situação aérea sintetizada para um determinado espaço aéreo. A função principal do processador de dados de vigilância é prover uma SAS que corresponda com a realidade em termos de números de alvos aéreos e de precisão das informações de cinemática e de identificação desses alvos.

Para manter uma situação aérea de síntese, o SAGITARIO realiza diversas tarefas, que podem ser periódicas e aperiódicas. A SAS é elaborada a partir das informações mantidas na situação aérea local (SAL), estas, por sua vez, são atualizadas periodicamente a cada ciclo de

detecção radar.

As tarefas aperiódicas referem-se a eventos ativados quando alguma modificação na SAL implica em uma modificação na SAS, como:

- criação de pista; e
- supressão de pista.

As tarefas periódicas referem-se aos tratamentos executados na varredura das quadrículas do mosaico. Esta varredura é chamada de ciclo da fusão e tem por objetivo principal unir as informações das pistas da SAL, associando as pistas que referem-se ao mesmo alvo, formando a SAS. O SAGITARIO possui ciclo de fusão de 4 segundos.

A associação das informações de duas pistas, que, por satisfazerem certos critérios, são consideradas pistas de um mesmo alvo, é chamada de fusão de pistas. No tratamento cíclico do SDV, são executadas as seguintes funções:

- extração de pistas para o instante de tratamento;
- fusão de pistas;
- verificação da validade das fusões;
- extração de pistas não atualizadas;
- eliminação de pistas extrapoladas;
- rastreamento em nível;
- anticolisão ar-solo;
- anticolisão ar-ar (exceto nos APP);
- atualização das pistas de síntese (SAS);
- difusão das pistas para a função de visualização; e
- atualização das informações de posição e velocidade das pistas correlacionadas para o sistema de tratamento de plano de voo.

A Figura 34 apresenta um diagrama exemplificando a formação da Situação Aérea de Síntese (SAS) a partir da Situação Aérea Local (SAL) de 3 radares.

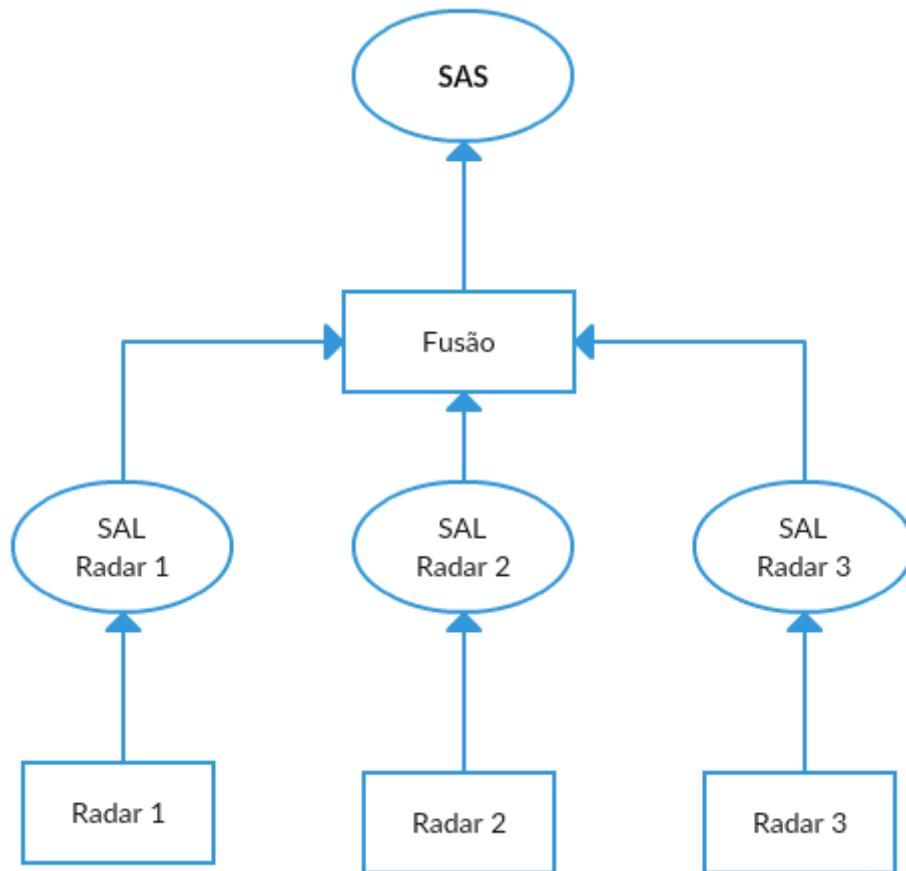


Figura 34. Formação da Situação Aérea de Síntese (SAS) a partir da Situação Aérea Local (SAL)

A seguir as tarefas mais importantes para a manutenção da SAS são detalhadas.

#### **2.2.2.1. Criação e Supressão de Pistas de Síntese**

Uma criação de pista de síntese ocorre em duas situações:

- quando uma pista local é criada, a recepção de pistas externas envia um aviso à fusão; e
- quando uma fusão é desfeita, a pista componente que foi desassociada da pista de síntese é tratada como pista local nova.

Nestes dois casos, é feita a tentativa de fusão da pista local nova com as pistas de síntese já existentes. Caso a fusão seja possível, a pista local nova passa a ser uma componente de uma pista de síntese. Caso as tentativas de fusão não obtenham êxito, é criada uma pista de síntese com uma única componente.

Uma supressão de pista de síntese ocorre quando uma pista local foi suprimida. Assim que a fusão recebe o aviso, elimina a respectiva componente da pista de síntese e, caso a pista de síntese possua apenas uma componente, esta também é suprimida.

### 2.2.2.2. Fusão de Pistas

Numa fusão, participam duas ou mais pistas locais, denominadas pistas componentes de uma pista de síntese. Um dos critérios para fusão de pistas é a proximidade das mesmas. Para que a aplicação do critério de proximidade produza um resultado correto, as pistas são extrapoladas para o instante do tratamento da quadrícula onde se situam as pistas locais, antes que sejam feitas as tentativas de fusão. O critério de proximidade é aplicado, tanto no sentido longitudinal (posição (x,y) no plano), quanto no sentido vertical (nível de voo ou altitude). São também aplicados outros critérios que condicionam a ocorrência de fusões entre as pistas que apresentem: códigos SSR idênticos, velocidades compatíveis e proas compatíveis. Além das tentativas de fusões de pistas locais (SAL) com pistas de síntese (SAS), são feitas tentativas de fusões de pistas de síntese (SAS) entre si, porém com limiares adequados a este tipo de fusão. A Tabela 1 apresenta exemplos de critérios e limiares aplicados no algoritmo clássico de fusão de pistas:

| Critérios aplicados para fusão de pistas | Fusão de pista SAL com pista SAS |          | Fusão de pistas SAS entre si |          |
|--|----------------------------------|----------|------------------------------|----------|
|  | ACC                              | APP      | ACC                          | APP      |
| Diferença de posição                     | < 4,0 NM                         | < 1,4 NM | < 3.8 NM                     | < 1,5 NM |
| Diferença de nível                       | < 1300 pés                       |          | < 1500 pés                   |          |
| Velocidade $ V_{maior}  /  V_{menor} $   | $\leq 2.0$                       |          | Não aplicado                 |          |
| Diferença de proa                        | $\leq 45.0^\circ$                |          | Não aplicado                 |          |
| Códigos SSR                              | Iguais                           |          | Iguais                       |          |
| Radares que originam a pista             | Diferentes                       |          | Diferentes                   |          |

Tabela 1. Critérios e Limiares para Fusão de Pistas

Nas regiões onde não há sobreposição de radares, o sistema mantém pistas de síntese com somente uma componente, onde há transformação de coordenadas, rastreamento em nível e extração da pista no ciclo da fusão para difusão.

Além de realizar as fusões de pistas, o SDV faz a verificação da validade das fusões. Esta verificação tem o objetivo de desfazer fusões nos casos em que: a distância entre duas componentes aumentou a ponto de ultrapassar um limiar, ou houve uma mudança de código numa das componentes. A Tabela 2 mostra um exemplo de critérios e limiares aplicados:

| Critério             | Limiar para defusão de pistas |          |
|----------------------|-------------------------------|----------|
|                      | ACC                           | APP      |
| Diferença de posição | > 6,0 NM                      | > 1,6 NM |
| Diferença de nível   | > 1700 pés                    |          |
| Códigos SSR          | Diferentes                    |          |

Tabela 2. Critérios e Limiares para "Defusão" de Pistas

### 2.2.2.3. Atualização da Pista de Síntese

A posição e velocidade de uma pista de síntese são obtidas a partir de uma ponderação onde: a cada componente da pista de síntese é atribuído um peso. O peso individual de uma componente é calculado levando-se em consideração:

- a prioridade do radar na quadrícula onde a componente está posicionada;
- o fator de qualidade da pista componente; e
- a nota individual atribuída a componente que reflete a qualidade da fusão.

A qualidade da fusão, indicada na nota individual atribuída à componente, é a soma das notas das comparações:

- dos códigos SSR;
- das posições (x, y);
- dos níveis de voo; e
- das velocidades.

As notas atribuídas às comparações de posição, nível e velocidade podem ser:

- positivas e tão maiores quanto menores forem as diferenças, respectivamente, de posição, nível e velocidade de um par de pistas componentes;
- nulas, caso não seja possível comparar determinado aspecto (informação não atualizada no ciclo); e
- negativas, caso a diferença seja superior a um limiar aceitável.

Na comparação dos códigos SSR, espera-se que os mesmos sejam idênticos, caso em que a nota será positiva. Caso o código não esteja atualizado, a nota será nula e, caso haja discrepância, a nota será negativa.

- cálculo do peso individual de uma componente:

$$P = \frac{(k_1 \times p_r) + (k_2 \times q_p) + (k_3 \times n_c)}{k_1 + k_2 + k_3}$$

onde:

$k_1 = 8.8$  e  $p_r$  é a prioridade do radar na quadrícula;

$k_2 = 6.6$  e  $q_p$  é a qualidade da pista local; e

$k_3 = 1.0$  e  $n_c$  é a nota individual atribuída à componente.

Pistas com uma única componente:

$$P = 1.0$$

Pistas recém criadas:

$$P = 0.1$$

Cálculo ponderado da posição e velocidade:

$$\begin{aligned} x &= \frac{\sum_{i=1}^N x_i P_i}{\sum_{i=1}^N P_i} & y &= \frac{\sum_{i=1}^N y_i P_i}{\sum_{i=1}^N P_i} \\ v_x &= \frac{\sum_{i=1}^N v_{x_i} P_i}{\sum_{i=1}^N P_i} & v_y &= \frac{\sum_{i=1}^N v_{y_i} P_i}{\sum_{i=1}^N P_i} \end{aligned}$$

onde:

- $x$  e  $y$  correspondem às posições no eixo x e eixo y ;
- $v_x$  e  $v_y$  correspondem às componentes da velocidade em cada eixo; e
- $P_i$  é o peso individual da componente.

Na atualização de uma pista de síntese, são resultadas de uma composição as seguintes informações:

- Tipo de detecção, que será:
  - 3D - quando todas as componentes forem 3D ou, uma for 2D e outra for 3D;
  - 2D - quando todas as componentes forem 2D;

- C - quando todas as componentes forem C;
- 3C - quando uma componente for 3C ou, uma for 3D e outra C; e
- 2C - quando uma componente for 2C ou, uma for 2D e outra C.
- qualidade da pista de síntese, que é decrementada até 0 ou incrementada até 7 nas seguintes situações:
  - incrementada até 7, quando alguma componente local foi atualizada (houve detecção); e
  - decrementada até 0, quando nenhuma componente local foi atualizada (ausência de detecção).

A Tabela 3 e a Tabela 4 mostram como as mudanças no tipo de detecção (TD) das pistas componentes locais influenciam o TD e o fator de qualidade da pista de síntese.

| TD Compon1 | 3C | 3C | C  | C  | C  | C  | EX | EX | EX | EX |
|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| TD Compon2 | 3C | C  | C  | C  | C  | C  | EX | EX | EX | EX |
| TD Compon3 | 3C | 3C | 2C | C  | EX | 3D | 3D | EX | 3C | EX |
| Instante   | 0  | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| TD síntese | 3C | 3C | 2C | C  | C  | 3C | 3D | EX | 3C | EX |
| FQ síntese | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 6  | 7  | 6  |

Tabela 3. Sequência cronológica de atualização das pistas

|            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Instante   | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 |
| TD síntese | EX  | C   | EX  | EX  | 3C  | EX  | EX  | 3D  | 3C  | 3C  |
| FQ síntese | 5   | 6   | 5   | 4   | 5   | 4   | 3   | 4   | 5   | 6   |

Tabela 4. Atualização do tipo de detecção e do fator de qualidade da pista de síntese

Legenda:

3D ou 2D – detecção primária, radar 3D ou 2D, respectivamente;

C – detecção secundária;

3C ou 2C – detecção associada, 3D + C ou 2D + C, respectivamente;

EX – extração;

NC – não comunicada (usualmente considerada como extraída).

Após três faltas de detecção na pista de síntese, ou seja, detecção extrapolada, a pista de síntese é suprimida.

A atualização de uma pista de síntese é resultado de uma seleção de informações prioritárias, a saber:

- indicador de emergência;
- indicador de emergência militar; e
- indicador de posição especial (SPI).

Portanto, se alguma componente apresentar um desses indicadores, ele será atualizado na pista de síntese.

A atualização de uma pista de síntese é resultado de uma escolha da melhor informação. Para o código e altitude são escolhidas as informações mais confiáveis das pistas componentes:

- código modo 3/A, 2 e 1 - sendo o modo 3/A prioritário em relação ao modo 2 que por sua vez é prioritário em relação ao modo 1. Além disso, é escolhido o código que seja válido e confirmado e cujo radar tenha maior prioridade na quadrícula;
- nível de voo - é rastreado utilizando os níveis válidos; e
- altitude radar - é escolhida a mais recente.

### **2.3 RASTREAMENTO MULTISENSOR**

O rastreamento multissensor (ou multiradar, caso só existam radares no processamento) é o processo de rastreamento realizado com base em plotes produzidos por diferentes sensores. O rastreamento multissensor é potencialmente mais preciso do que a fusão de pistas locais porque utiliza informações “diretas” geradas pelos sensores e realiza um processamento centralizado com base nessas informações. Em comparação à fusão de pistas baseada no algoritmo de ponderação de pistas apresentado anteriormente, o rastreamento multissensor é mais preciso porque leva em consideração a distribuição de erro de cada radar no plano. O algoritmo de ponderação de pistas não possui informações da distribuição de erro dos sensores.

Um resumo das vantagens do rastreamento multissensor é apresentado a seguir:

- maior precisão (potencialmente);
- maior controle na geração e supressão de pistas; e
- “*tuning*” do rastreamento para adequação de situações específicas.

O rastreamento multissensor é semelhante ao monossensor, isto é, pode empregar os mesmos algoritmos de rastreamento, diferindo apenas em alguns aspectos que devem ser levados em consideração em um ambiente multissensor. Alguns desses aspectos são:

a) estatística dos erros aleatórios dos sensores

No rastreamento multissensor devem ser levadas em consideração as estatísticas dos erros aleatórios de cada sensor. Na atualização da pista de sistema, o rastreador multissensor utiliza essas estatísticas de erro no processamento dos plotes.

No caso dos radares, os erros aleatórios são caracterizados pelo desvio padrão do erro em distância e em azimute. O desvio padrão é também denominado por “sigma”, e é dessa forma que o erro aleatório é referenciado no SAGITARIO e na literatura especializada. É suposto que há correção de *bias*, de forma que a média do erro é considerada como zero.

Os valores de sigma podem ser especificados pelo fabricante do radar ou podem ser obtidos empiricamente por meio de análises dos dados radar utilizando-se ferramentas como o SASS-C.

Diferentemente da fusão de pistas, **no rastreamento multissensor não há o conceito de prioridade do radar, nem peso do radar na quadrícula**. O erro do radar no plano não é uniforme e, na medida em que o alvo se afasta do centro do radar, o mesmo produz plotes menos precisos. De posse dessas estatísticas de erro, o rastreador multissensor emprega as equações de filtragem de maneira eficiente para cada sensor.

b) atrasos na recepção dos plotes

Outra questão são os atrasos na recepção das mensagens do sensor até o Centro de controle. Quando um alvo é detectado no sensor, é atribuído ao plote correspondente um *timestamp*, que marca o instante de tempo em que o alvo foi detectado. Devido aos atrasos de processamento do radar e de transmissão, este plote chega ao Centro de controle alguns instantes depois. Diferentes sensores têm atrasos distintos e para se ter uma representação mais precisa da situação aérea no Centro de controle faz-se necessário realizar uma compensação desses atrasos.

Por exemplo, supondo que o atraso do sensor S1 é de 1500ms e do sensor S2 é de apenas 200ms. Para uma aeronave em velocidade de cruzeiro, aproximadamente 500 nós (926 km/h), quando o rastreador do Centro de controle processar o plote do sensor S1, o alvo detectado pelo plote já estará aproximadamente 386 metros distante da posição informada no plote (ignorando os erros de medição). No caso do sensor S2, esta diferença será de apenas 52 metros. Se os plotes dos dois sensores detectarem o mesmo alvo e esses plotes chegarem aproximadamente no mesmo instante no Centro de controle, eles terão uma diferença de posição de 335 metros, apenas causada pela não compensação do atraso, implicando em imprecisões no rastreamento. Este exemplo mostra

a importância da sincronização de tempo dos sensores.

Para compensar o atraso, a posição do plote é evoluída de acordo com a velocidade estimada do alvo e o tempo de atraso, deslocando a posição do plote para a posição mais provável em que o alvo se encontraria naquele instante de tempo.

c) atualização assíncrona da pista de sistema

À medida que os plotes são recebidos pelo rastreador e, considerando que foi realizada a associação do plote com sua pista de sistema, esta é atualizada instantaneamente pela filtragem do algoritmo de rastreamento.

Por exemplo, se no instante  $T_1$  foi recebido um plote do sensor S1, este plote é processado e a pista de sistema correspondente a este plote é atualizada no instante  $T_1$ . Se no instante  $T_1+d$ , um outro plote do sensor S2 foi recebido e foi associado à mesma pista de sistema, a pista é atualizada também no instante  $T_1+d$ , e assim sucessivamente. Ou seja, no **rastreamento multissensor a pista de sistema é atualizada na recepção dos plotes dos diversos sensores assincronamente**.

Dessa forma, **não há atualização “por ciclo”**, como é o caso da fusão de pistas locais.

Algumas questões surgem nesse cenário multissensor. O que fazer quando o plote do sensor S2, que foi recebido depois do plote do sensor S1, devido a algum atraso, corresponder a uma informação mais antiga, ou seja, o *timestamp* do plote do sensor S1 é maior do que o *timestamp* do plote do sensor S2. Para resolver esse problema, existem técnicas na filtragem que incorporam a informação desse plote antigo na estimativa atual, não havendo descarte de informações.

A Figura 35 apresenta um exemplo da atualização da pista MST. Nesse cenário 3 radares hipotéticos (com períodos de 4, 10 e 12 segundos) estão sendo processados pelo MST. Na figura o rastreador multissensor é composto pelas tarefas “msq\_mst” e “msq\_track”. Os instantes de difusão da pista são indicados na linha “Visualização”. A tarefa “msq\_mst” implementa o algoritmo de rastreamento (filtragem e associação) enquanto que a tarefa “msq\_track” implementa o serviço de difusão de pista.

Os plotes dos sensores são enviados a tarefa “msq\_mst”, que atualiza imediatamente a pista de sistema na chegada do plote e, após a atualização, a pista é repassada à tarefa “msq\_track” para aguardar a próxima difusão, como mostra a figura.

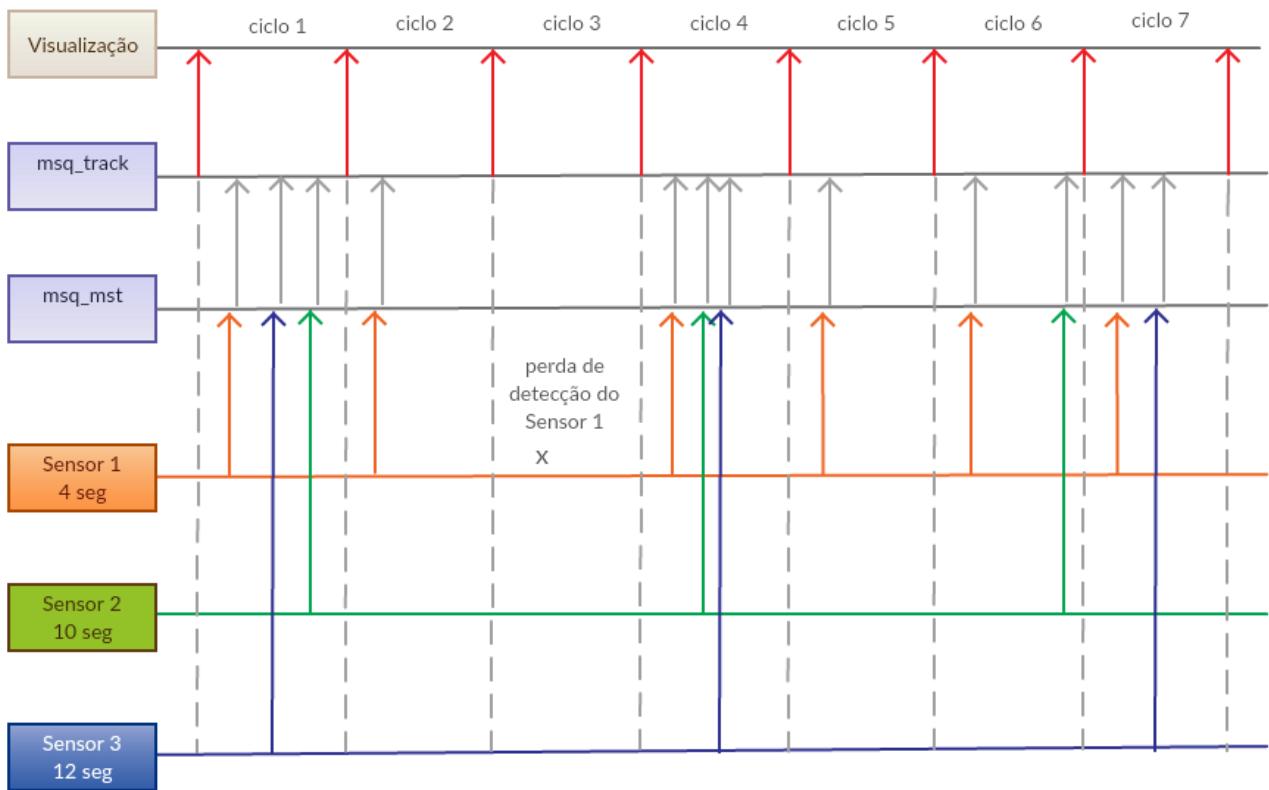


Figura 35. Atualização assíncrona da pista MST ao longo do tempo

d) considerações sobre o rastreamento multissensor

Apesar das vantagens do rastreamento multissensor, este não é uma “bala de prata” para o problema de rastreamento. Algumas considerações devem ser destacadas quando se está trabalhando em um ambiente multissensor:

- não há substituto para um bom sensor

Significa que se uma aeronave não pode ser detectada com uma determinada precisão, não importa a sofisticação nem o poder de processamento de um sistema multissensor, as estimativas de posição da aeronave serão limitadas pela precisão do sensor.

- a estimativa multissensor pode ser pior do que a do melhor sensor

Uma má configuração de um sensor ou a participação de um sensor deteriorado no processamento multissensor pode fazer com que a estimativa de posição da aeronave produzida pelo rastreamento multissensor seja pior do que aquela obtida com o melhor sensor.

- não existem algoritmos “mágicos”

Apesar do nível de sofisticação de alguns algoritmos de rastreamento disponíveis atualmente, eles são desenvolvidos baseando-se em modelos matemáticos do mundo

real. Esses modelos são simplificações e caso não capturem bem as situações que podem ocorrer no mundo real os resultados podem ser insatisfatórios. Não existe algoritmo que é ideal para todas as circunstâncias.

### 2.3.1. Módulo MST (*Multisensor Tracker*) do SAGITARIO

O MST (*Multisensor Tracker*) é o módulo de rastreamento multissensor do SAGITARIO. O MST processa os plotes dos sensores produzindo uma pista de sistema, denominada de pista MST. O módulo MST não processa pistas locais dos radares.

O MST foi desenvolvido originalmente pela DFS (*Deutsche Flugsicherung*), empresa pública alemã responsável por gerenciar o tráfego aéreo alemão, e posteriormente integrado ao SAGITARIO pela empresa ATECH S/A.

O algoritmo de rastreamento do MST é o IMM (*Interacting Multiple-Model*), formado por 3 filtros de Kalman executando em paralelo, onde cada filtro está ajustado a uma fase de movimento de voo:

- movimento retilíneo uniforme;
- manobra; e
- aceleração constante.

Dentre as funcionalidades do MST, pode-se destacar:

- pré-processamento das mensagens de vigilância
  - responsável pela receção e decodificação das mensagens de vigilância, além de gerenciar a interface de receção das mensagens.
- monitoramento dos sensores
  - determina o status dos sensores e reporta possíveis falhas dos mesmos.
- rastreamento multissensor
  - é a função principal do MST. É responsável pela criação, manutenção, extração (*coasting*) e término das pistas de sistemas.
- estimativa e compensação de *bias* dos sensores
  - É responsável pelo cálculo dos erros sistêmicos dos sensores baseado nos plotes. Os valores de erro sistemático calculados são enviados ao rastreamento para a correção das informações dos plotes.

- serviço de envio de pistas de sistema
  - este serviço é responsável por decidir quando uma determinada pista deve ser enviada ao cliente do rastreador (subsistema de visualização, por exemplo), de acordo com uma configuração do envio. É também responsável pela codificação da mensagem da pista de sistema em ASTERIX CAT062, e pela extração da pista de sistema, caso necessário.

Um diagrama de fluxo do rastreamento do MST é apresentado na Figura 36.

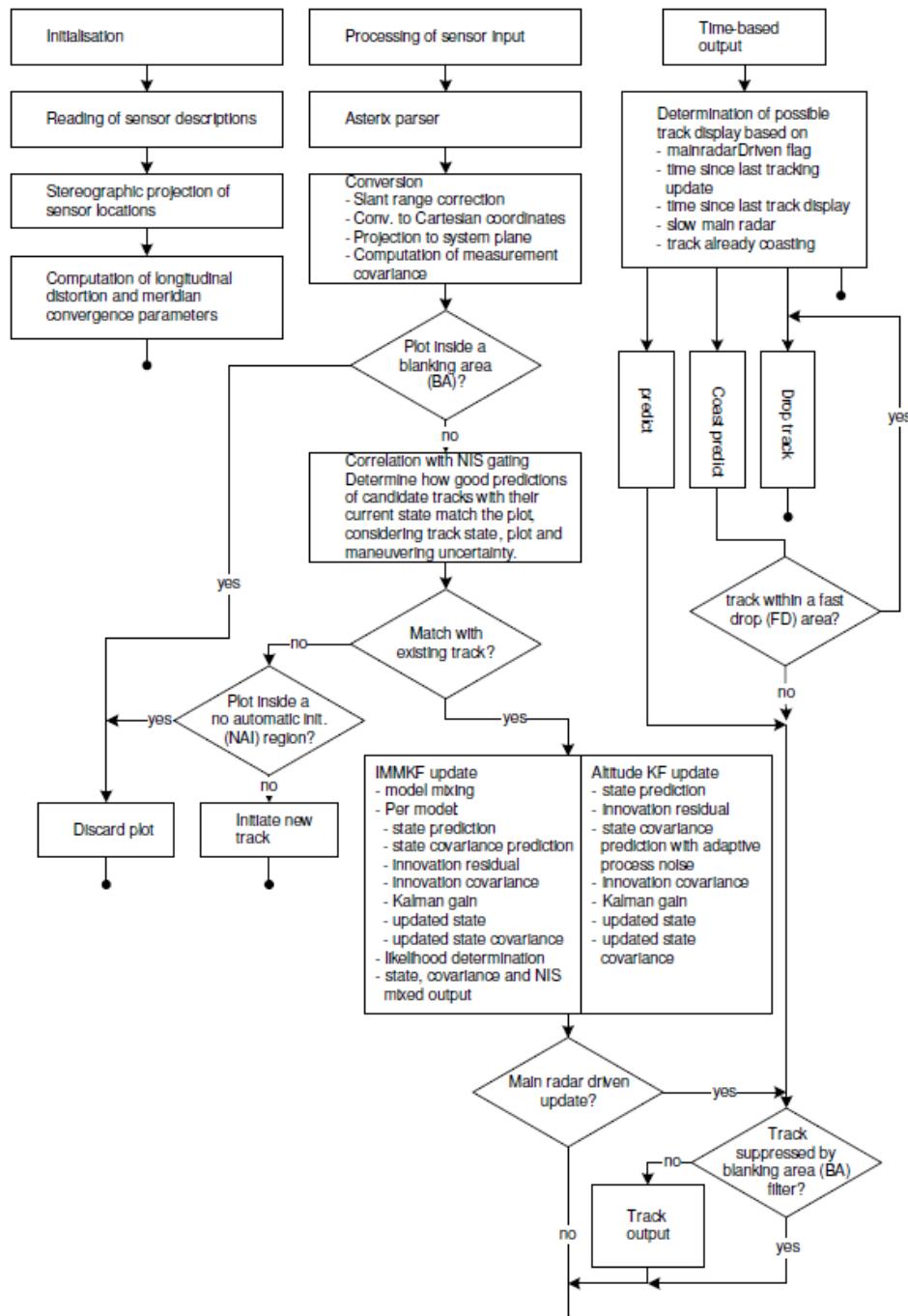


Figura 36. Fluxo do rastreamento no MST

### 2.3.2. Correção de *Bias* no Módulo MST

O MST do SAGITARIO possui um subsistema que calcula os valores de *bias* dos sensores de forma *online*. Ao contrário dos algoritmos legados do SAGITARIO e do X-4000, o algoritmo do MST estima as 3 componentes de *bias* (*offset* em azimute, *offset* em distância e fator em distância) e por isso é mais preciso.

O algoritmo de estimação de *bias* do MST leva em consideração para o cálculo somente aeronaves que estejam voando em linha reta por mais de 1 minuto e sendo detectadas por pelo menos dois radares. Essa limitação se deve às equações de estimativa, que precisam de condições específicas para poder realizar o cálculo.

É possível configurar o MST para aplicar a correção de *bias* nas pistas do MST automaticamente, sem a necessidade de intervenção do supervisor. Caso o MST esteja com essa configuração, pode-se dizer que o MST está com a “correção de *bias* automática habilitada”, ou mais comumente, com “*bias* dinâmico”. Por outro lado, a situação em que a correção está desabilitada é referenciada como “correção de *bias* automática desabilitada” ou “*bias* estático”.

Quando a correção automática está desabilitada, o MST utiliza os valores de correção cadastrados na BDS do SAGITARIO e só é possível alterar os valores de correção de *bias* utilizados pelo MST com a alteração na BDS e posterior reativação do sistema.

A escolha de uma ou outra configuração depende dos resultados das análises de desempenho da pista MST com uma ou outra configuração, mas, de forma geral, em Centros com somente dois radares e próximos geograficamente um do outro, a configuração utilizada será preferencialmente a de correção automática desabilitada. A razão é que, para o algoritmo de estimação de *bias*, é como se só tivesse um único radar, limitando o desempenho do algoritmo.

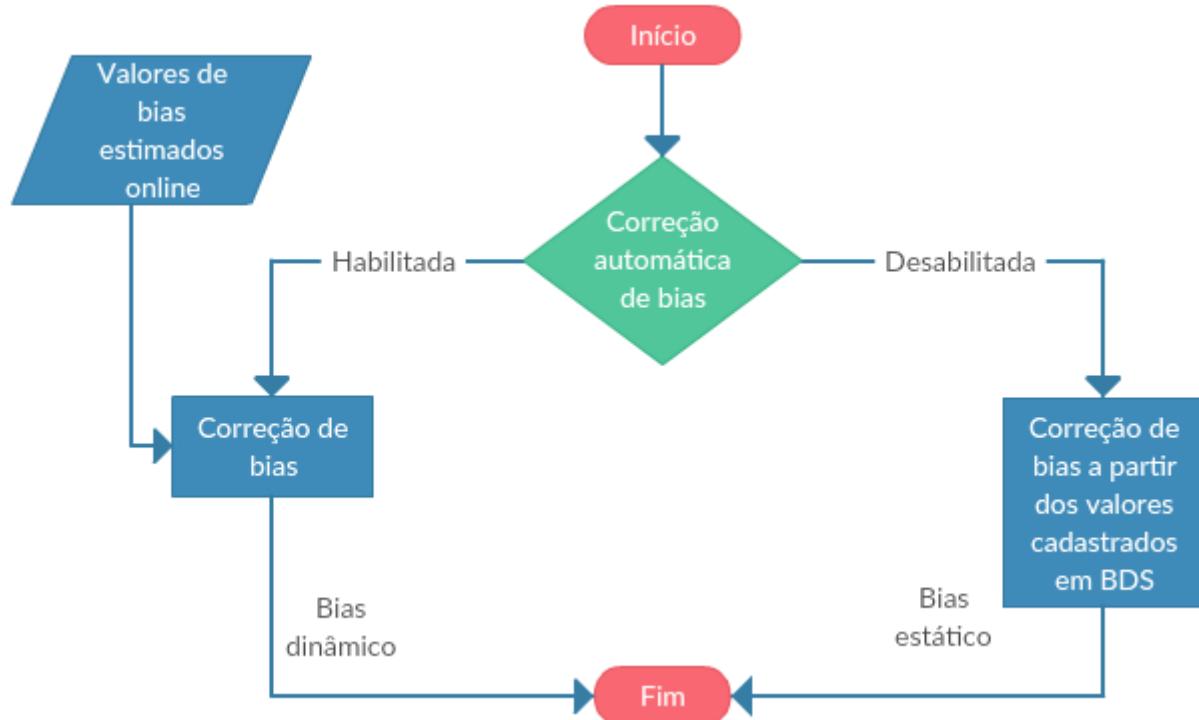


Figura 37. Fluxograma da correção de *bias* no MST

A Figura 37 apresenta um fluxograma contendo um resumo do processo de correção de *bias* no MST.

### 2.3.3. Integração do Módulo MST ao SAGITARIO

A integração do módulo MST dentro do SAGITARIO foi projetada como se o MST fosse um “radar especial” dentro do sistema. Dessa forma, a pista MST é vista dentro do SAGITARIO como uma “pista local” e passa pelos mesmos processos de fusão de pista vistos anteriormente. Não obstante, esse cenário é bastante diferente da fusão de pistas locais radar.

O primeiro ponto importante que deve ser levado em consideração é que, quando o MST está ativo, a única componente da pista de síntese é a pista MST. Em outras palavras, **quando o MST está ativo as pistas locais dos radares não participam da fusão da pista de síntese**. A cinemática da pista de síntese, portanto, é formada apenas pela pista MST. As pistas locais dos radares nesse caso só são aproveitadas para visualização em modo local.

O diagrama da Figura 38 apresenta o MST dentro do contexto do SDV do SAGITARIO.

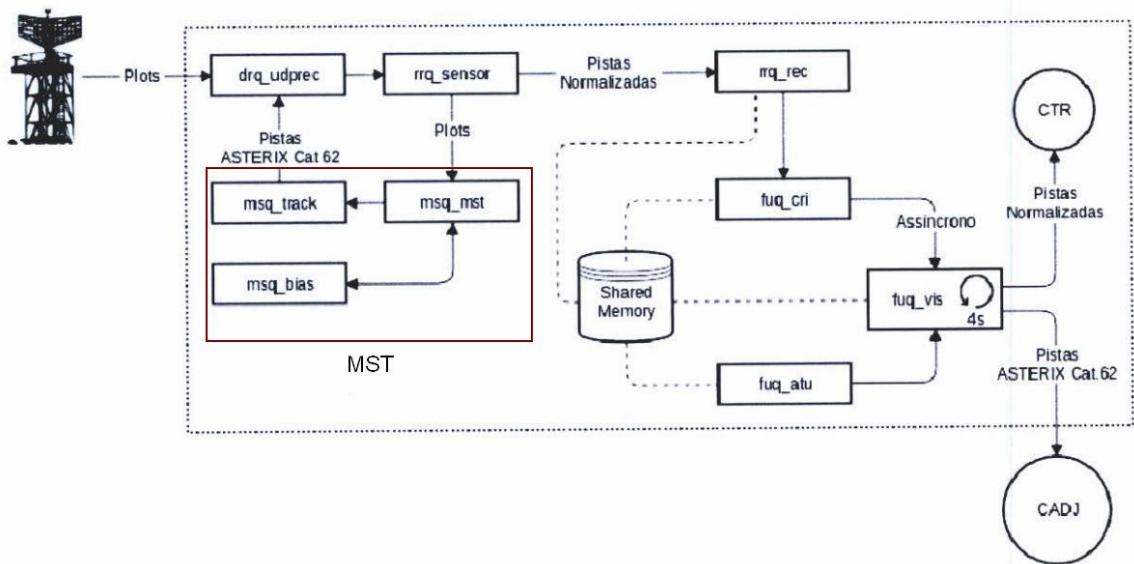


Figura 38. Diagrama apresentando o MST inserido no SDV do SAGITARIO

Os plotes dos radares são recebidos pelo *driver UDP* do SDV e os repassa para a tarefa “*rrq\_sensor*”, que padroniza os plotes, filtra dados inconsistentes e realiza outras verificações para proteger os módulos internos do SDV. Os plotes validados e padronizados são então repassados ao MST, que faz o rastreamento multissensor e gera a pista MST como resultado. A pista do MST é enviada ao *driver UDP*, que a repassa para os módulos de processamento da fusão do SDV. Se já houver uma pista de síntese correspondente à pista MST, a pista de síntese é atualizada (sendo a pista MST a única componente), caso contrário uma nova pista de síntese é criada.

A pista de síntese é então gravada na memória compartilhada do SDV, aguardando a próxima difusão. A cada ciclo de difusão (4 segundos), as pistas de síntese na memória compartilhada são extrapoladas linearmente para o instante atual e difundidas para as consoles de visualização.

É importante observar nesse processo que a pista de síntese é composta apenas pela pista MST, mas que, durante a difusão, a pista de síntese é extrapolada linearmente. Portanto, pode-se concluir que a diferença entre a pista MST e a pista visualizada nas posições de controle é a extração linear para o instante de difusão.

As pistas enviadas aos centros adjacentes, incluindo o centro ZASSC, sofrem o mesmo tipo de extração.

A Figura 39 apresenta a sobreposição da pista MST e da pista de síntese para uma determinada aeronave com seus respectivos vetores velocidade. A palavra síntese está destacada na figura para ressaltar que a síntese nesse caso foi realizada somente com uma única componente (a pista MST). É possível observar que o posicionamento da pista de síntese segue a direção do vetor velocidade da pista MST, consequência da extração linear da pista MST.

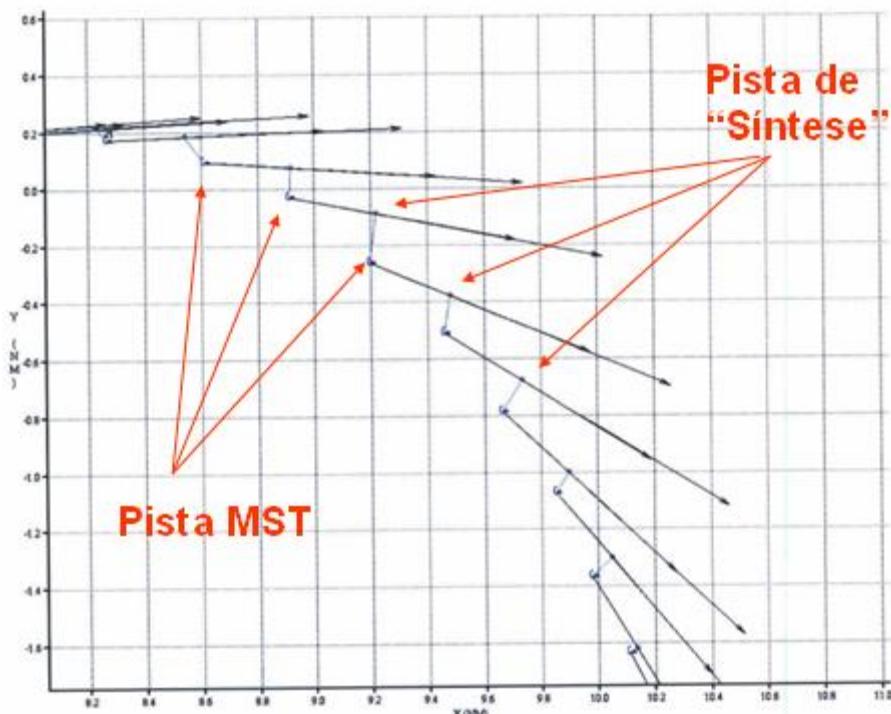


Figura 39. Diferenças entre a pista MST e a pista de Síntese

Esta unidade apresentou as principais características que o SUPERVISOR TÉCNICO DO SAGITARIO ACC precisa conhecer do PROCESSAMENTO DE DADOS DE VIGILÂNCIA para executar o ótimo desempenho de suas funções.

A próxima unidade apresentará a EXTRAÇÃO DE RELATÓRIOS DE DADOS DE VIGILÂNCIA, na qual o aluno conecerá melhor quais as informações contidas nos relatórios de dados de vigilância do SAGITARIO ACC e quais são os procedimentos para gerar esses relatórios.

## UNIDADE 3

### EXTRAÇÃO DE RELATÓRIOS DE DADOS DE VIGILÂNCIA

Esta unidade apresentará a EXTRAÇÃO DE RELATÓRIOS DE DADOS DE VIGILÂNCIA no SAGITARIO ACC, na qual o aluno conhecerá os procedimentos necessários para realizar a extração de relatórios de dados de vigilância no SAGITARIO ACC.

Todas as mensagens de interfaces externas são gravadas pelo SAGITARIO no servidor de gravação de dados (SGD), incluindo as mensagens recebidas pelos radares. O SGD também grava a pista de síntese, pista MST, plotes e pistas locais dos radares. A análise desses dados gravados é de suma importância para a investigação e solução de problemas relacionados ao processamento de dados de vigilância.

Para extrair os relatórios *offline* é necessário utilizar a posição de planejamento (PLJ101) (que já estará logada com o usuário plr) e acessar o programa OFFLINE clicando com o botão esquerdo do *mouse* para exibir o menu da posição planejamento, como mostrado na Figura 40.

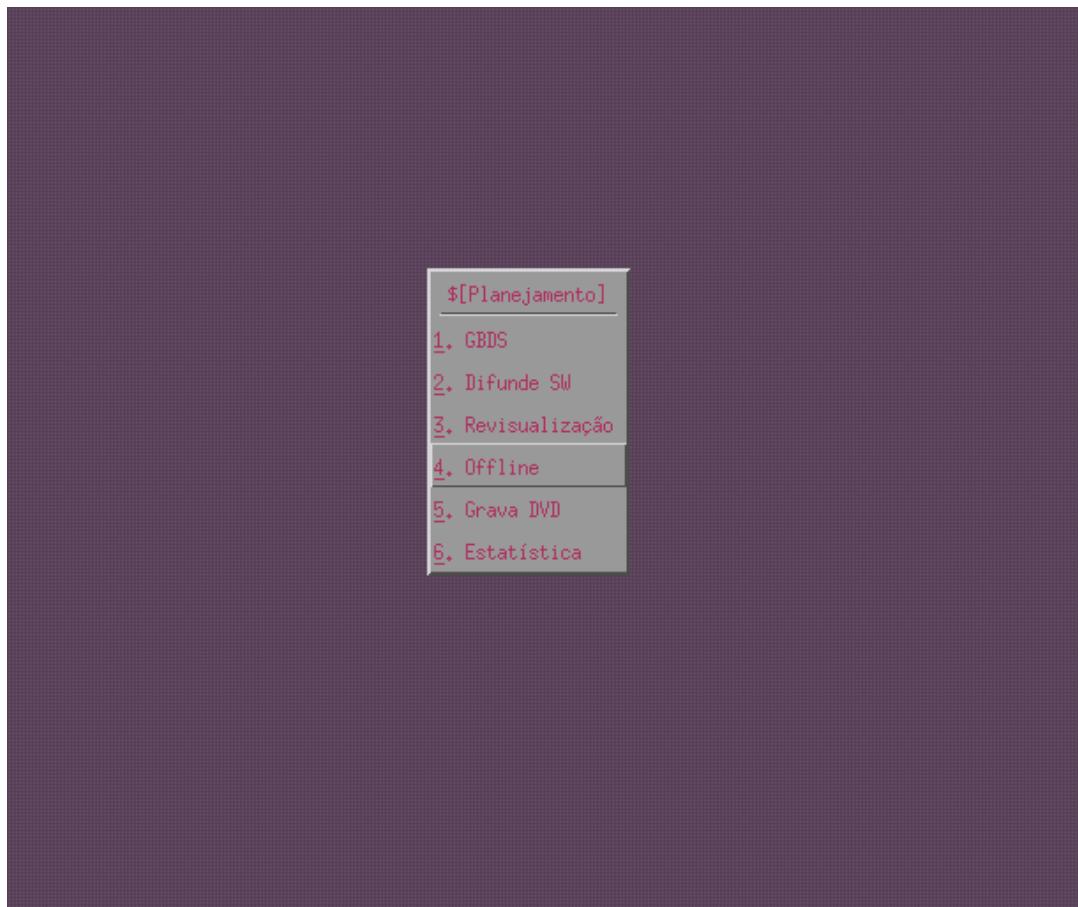


Figura 40. Menu de aplicativos da posição de planejamento

Após selecionar a opção “4. Offline”, será apresentada uma tela para se “logar” como

usuário offl, conforme Figura 41. A senha é **offl**.

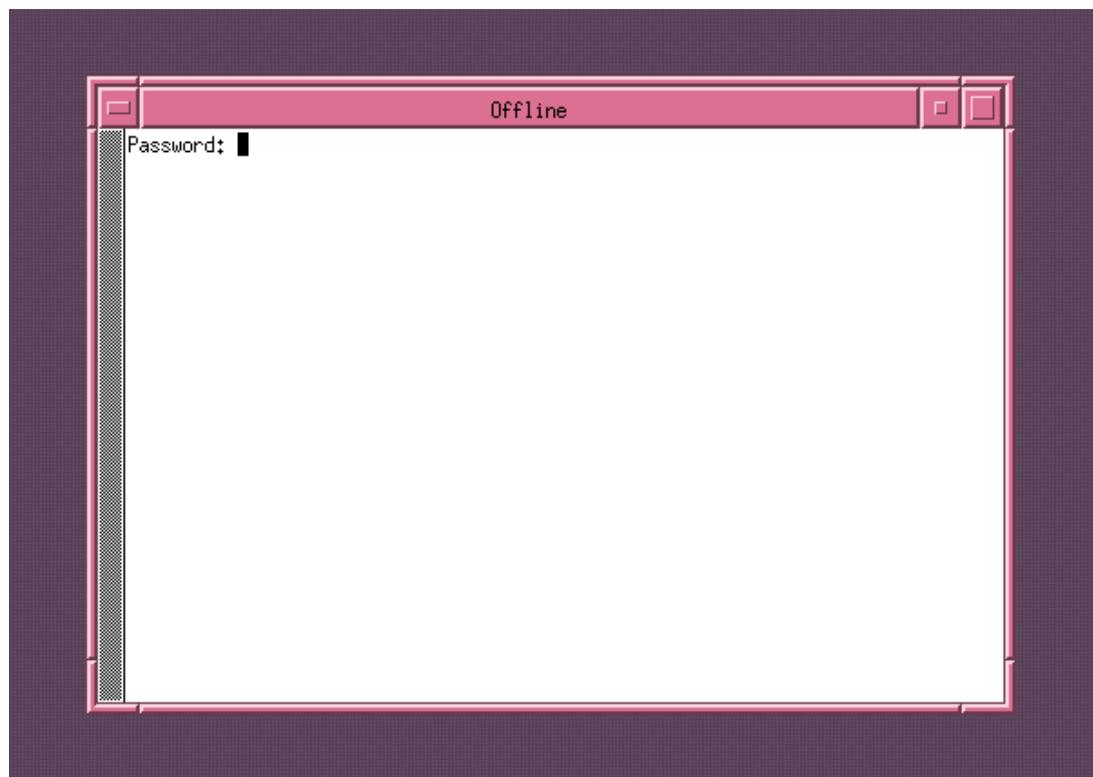


Figura 41. Login como usuário offl

Após o *login*, será exibida a tela inicial do programa OFFLINE, mostrada na Figura 42.

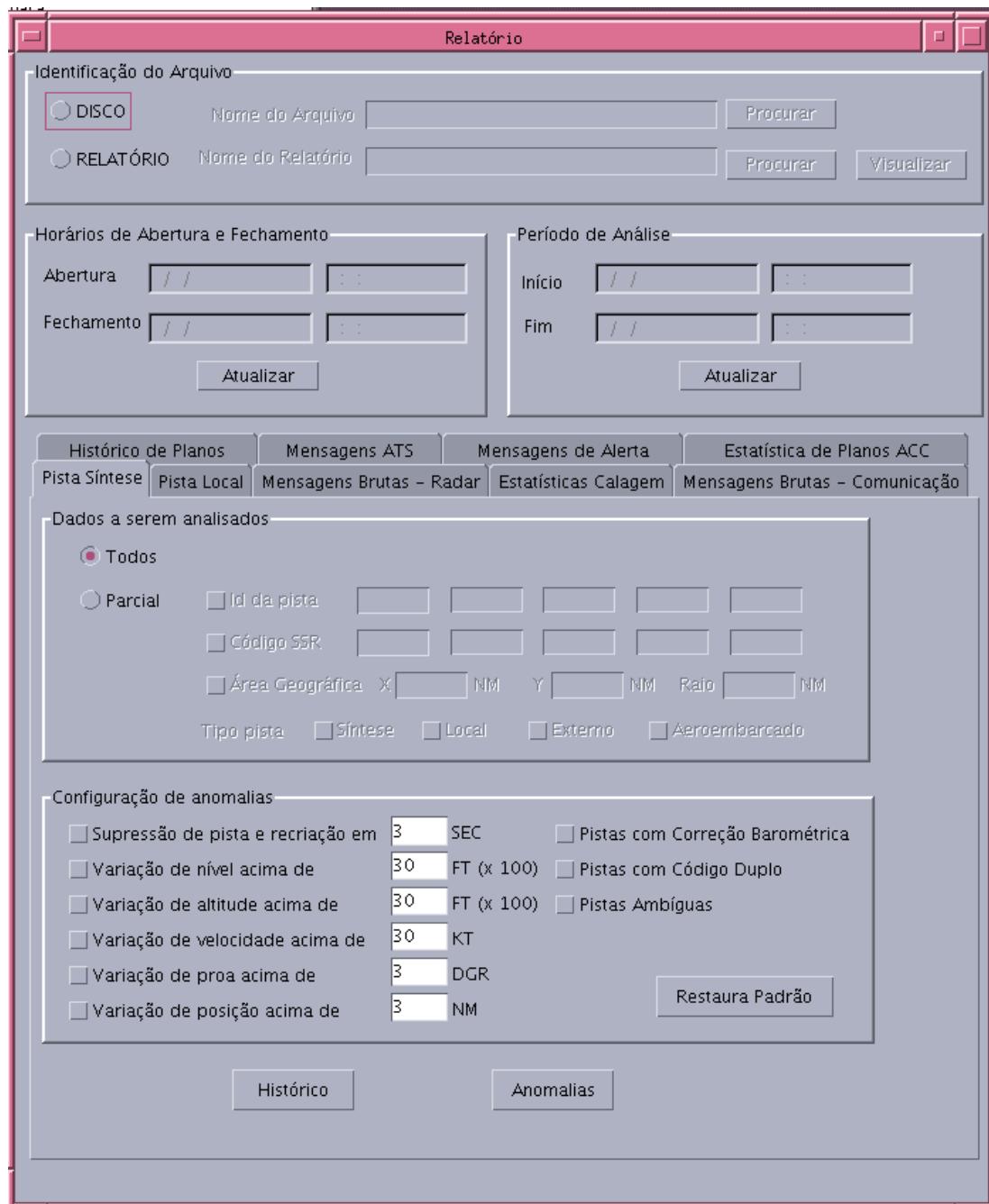


Figura 42. Tela inicial do aplicativo offline

É necessário especificar a fonte para geração dos relatórios. Pode-se especificar um arquivo de salvaguarda no disco ou pode-se visualizar um relatório já gerado.

A Figura 43 mostra um exemplo de seleção do arquivo em disco. Os arquivos de salvaguarda têm a extensão REV. Ao clicar em “Atualizar”, será mostrado o período que foi gravado neste arquivo (abertura e fechamento). Será necessário informar o período de análise, que servirá como referência para geração dos relatórios. Este período de análise pode ser o mesmo ou estar contido no período de abertura e fechamento do arquivo.



Figura 43. Seleção do período de análise

Os principais relatórios relacionados ao tratamento radar são apresentados a seguir.

### 3.1 PISTA DE SÍNTESE

Apresenta informações sobre a pista de síntese, incluindo:

- ID da pista de síntese;
- pistas locais componentes;
- posição X-Y;
- informações SSR;
- velocidade; e
- fator de qualidade da pista

Este relatório é importante para investigar fusões/defusões indevidas, pistas falsas, avaliar o comportamento geral da síntese etc.

A Figura 44 exibe um exemplo de um relatório de pista de síntese. Neste exemplo, a pista de síntese é a primeira linha dos blocos, com indicativo GEIV52, seguida pelas suas componentes locais.

Dezembro 19 19:45:57 2013

| ID  | QUAD | HORA  | XPOS    | YPOS    | TD      | QF    | HEA      | VELC     | SSR3 | A   | 1/2 | C    | MODEC | VALC | TNV | V     | 3D | PLN | CFL | INDICAT | LABEL | TP     | BGEC | X    | P | E | S | W | C | R | M | H | OBS |     |  |  |
|-----|------|-------|---------|---------|---------|-------|----------|----------|------|-----|-----|------|-------|------|-----|-------|----|-----|-----|---------|-------|--------|------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|-----|-----|--|--|
|     | RAD  | HORA  | XPOS    | YPOS    | TD      | QF    | PRO      | VELC     | SSR3 |     |     |      | MODEC | VALC |     |       | 3D |     |     |         |       |        | E    | S    |   |   |   |   |   |   |   |   |     | OBS |  |  |
| 275 | 369  | 40.40 | -650.78 | -196.72 | 2C      | 7 299 | 429 6773 | 0 0000   | 2    | 350 | 1   | = 1  | ----  | 0    | 0   | ----- |    |     |     |         |       | GEIV52 | R    | KLOL | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | - |     |     |  |  |
| 798 | GAM  | 14    | 40.40   | -651.34 | -194.69 | C     | 7 297    | 432 6773 |      | 350 | 0   | ---- | 0     |      |     |       |    |     |     |         |       |        |      |      | 0 | - | - |   |   |   |   |   |     |     |  |  |
| 172 | LPA  | 13    | 40.40   | -650.56 | -197.34 | C     | 5 298    | 430 6773 |      | 350 | 0   | ---- | 0     |      |     |       |    |     |     |         |       |        |      |      |   | 0 | - | - |   |   |   |   |     |     |  |  |
| 64  | PAL  | 15    | 40.40   | -651.28 | -196.50 | 2C    | 7 301    | 426 6773 |      | 350 | 0   | ---- | 0     |      |     |       |    |     |     |         |       |        |      |      | 0 | - | - |   |   |   |   |   |     |     |  |  |
| 261 | SFA  | 12    | 40.40   | -649.78 | -197.59 | C     | 7 309    | 348 6773 |      | 350 | 0   | ---- | 0     |      |     |       |    |     |     |         |       |        |      |      | 0 | - | - |   |   |   |   |   |     |     |  |  |
| 275 | 369  | 44.40 | -651.22 | -196.53 | 2C      | 7 298 | 430 6773 | 0 0000   | 2    | 350 | 1   | = 0  | ----  | 0    | 0   | ----- |    |     |     |         |       | GEIV52 | R    | KLOL | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | - |     |     |  |  |
| 798 | GAM  | 14    | 44.40   | -651.78 | -194.44 | C     | 7 298    | 434 6773 |      | 350 | 0   | ---- | 0     |      |     |       |    |     |     |         |       |        |      | 0    | - | - |   |   |   |   |   |   |     |     |  |  |
| 172 | LPA  | 13    | 44.40   | -650.97 | -197.12 | C     | 5 298    | 430 6773 |      | 350 | 0   | ---- | 0     |      |     |       |    |     |     |         |       |        |      | 0    | - | - |   |   |   |   |   |   |     |     |  |  |
| 64  | PAL  | 15    | 44.40   | -651.88 | -196.38 | 2C    | 7 296    | 441 6773 |      | 350 | 0   | ---- | 0     |      |     |       |    |     |     |         |       |        |      | 0    | - | - |   |   |   |   |   |   |     |     |  |  |
| 261 | SFA  | 12    | 44.40   | -650.06 | -197.34 | C     | 7 309    | 348 6773 |      | 350 | 0   | ---- | 0     |      |     |       |    |     |     |         |       |        |      | 0    | - | - |   |   |   |   |   |   |     |     |  |  |
| 275 | 369  | 48.40 | -651.66 | -196.31 | 2C      | 7 297 | 430 6773 | 0 0000   | 2    | 350 | 1   | = 0  | ----  | 0    | 0   | ----- |    |     |     |         |       | GEIV52 | R    | KLOL | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | - |     |     |  |  |
| 798 | GAM  | 14    | 48.40   | -652.22 | -194.19 | C     | 7 298    | 434 6773 |      | 350 | 0   | ---- | 0     |      |     |       |    |     |     |         |       |        | 0    | -    | - |   |   |   |   |   |   |   |     |     |  |  |
| 172 | LPA  | 13    | 48.40   | -651.41 | -196.97 | C     | 5 298    | 429 6773 |      | 350 | 0   | ---- | 0     |      |     |       |    |     |     |         |       |        | 0    | -    | - |   |   |   |   |   |   |   |     |     |  |  |
| 64  | PAL  | 15    | 48.40   | -652.31 | -196.16 | 2C    | 7 296    | 441 6773 |      | 350 | 0   | ---- | 0     |      |     |       |    |     |     |         |       |        | 0    | -    | - |   |   |   |   |   |   |   |     |     |  |  |
| 261 | SFA  | 12    | 48.40   | -650.38 | -197.09 | EX    | 6 309    | 348 6773 |      | 350 | 0   | ---- | 0     |      |     |       |    |     |     |         |       |        | 0    | -    | - |   |   |   |   |   |   |   |     |     |  |  |
| 275 | 369  | 52.40 | -652.06 | -196.09 | 2C      | 7 297 | 430 6773 | 0 0000   | 2    | 350 | 1   | = 1  | ----  | 0    | 0   | ----- |    |     |     |         |       | GEIV52 | R    | KLOL | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | - |     |     |  |  |
| 798 | GAM  | 14    | 52.40   | -652.62 | -193.97 | C     | 7 298    | 434 6773 |      | 350 | 0   | ---- | 0     |      |     |       |    |     |     |         |       |        | 0    | -    | - |   |   |   |   |   |   |   |     |     |  |  |
| 172 | LPA  | 13    | 52.40   | -651.81 | -196.72 | C     | 5 298    | 429 6773 |      | 350 | 0   | ---- | 0     |      |     |       |    |     |     |         |       |        | 0    | -    | - |   |   |   |   |   |   |   |     |     |  |  |
| 64  | PAL  | 15    | 52.40   | -652.75 | -195.94 | 2C    | 7 296    | 441 6773 |      | 350 | 0   | ---- | 0     |      |     |       |    |     |     |         |       |        | 0    | -    | - |   |   |   |   |   |   |   |     |     |  |  |
| 261 | SFA  | 12    | 52.40   | -650.66 | -196.88 | EX    | 6 309    | 348 6773 |      | 350 | 0   | ---- | 0     |      |     |       |    |     |     |         |       |        | 0    | -    | - |   |   |   |   |   |   |   |     |     |  |  |
| 275 | 369  | 56.40 | -652.50 | -195.78 | 2C      | 7 299 | 431 6773 | 0 0000   | 2    | 350 | 1   | = 0  | ----  | 0    | 0   | ----- |    |     |     |         |       | GEIV52 | R    | KLOL | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | - |     |     |  |  |
| 798 | GAM  | 14    | 56.40   | -653.12 | -193.72 | C     | 7 298    | 438 6773 |      | 350 | 0   | ---- | 0     |      |     |       |    |     |     |         |       |        | 0    | -    | - |   |   |   |   |   |   |   |     |     |  |  |
| 172 | LPA  | 13    | 56.40   | -652.22 | -196.38 | C     | 5 299    | 431 6773 |      | 350 | 0   | ---- | 0     |      |     |       |    |     |     |         |       |        | 0    | -    | - |   |   |   |   |   |   |   |     |     |  |  |
| 64  | PAL  | 15    | 56.40   | -653.03 | -195.62 | 2C    | 7 300    | 430 6773 |      | 350 | 0   | ---- | 0     |      |     |       |    |     |     |         |       |        | 0    | -    | - |   |   |   |   |   |   |   |     |     |  |  |
| 261 | SFA  | 12    | 56.40   | -651.94 | -196.91 | C     | 7 300    | 380 6773 |      | 350 | 0   | ---- | 0     |      |     |       |    |     |     |         |       |        | 0    | -    | - |   |   |   |   |   |   |   |     |     |  |  |

Figura 44. Exemplo de relatório de pista de síntese

### 3.2 MENSAGENS BRUTAS – RADAR / REJOGO

Neste relatório são exibidas as mensagens em ASTERIX dos radares e do MST. Este relatório serve com entrada para ferramentas avançadas de análise de dados de vigilância, como o SASS-C e RAPS-3. Na geração deste relatório, pode-se optar por gerar um arquivo de rejogo, que além de poder ser utilizado no SASS-C e RAPS-3, podem jogar dados ao SDV.

A geração do relatório de mensagens brutas radar no programa OFFLINE é apresentada na Figura 45. É importante observar que o arquivo de rejogo não é gerado por padrão, sendo necessário marcar a caixa destacada na figura.

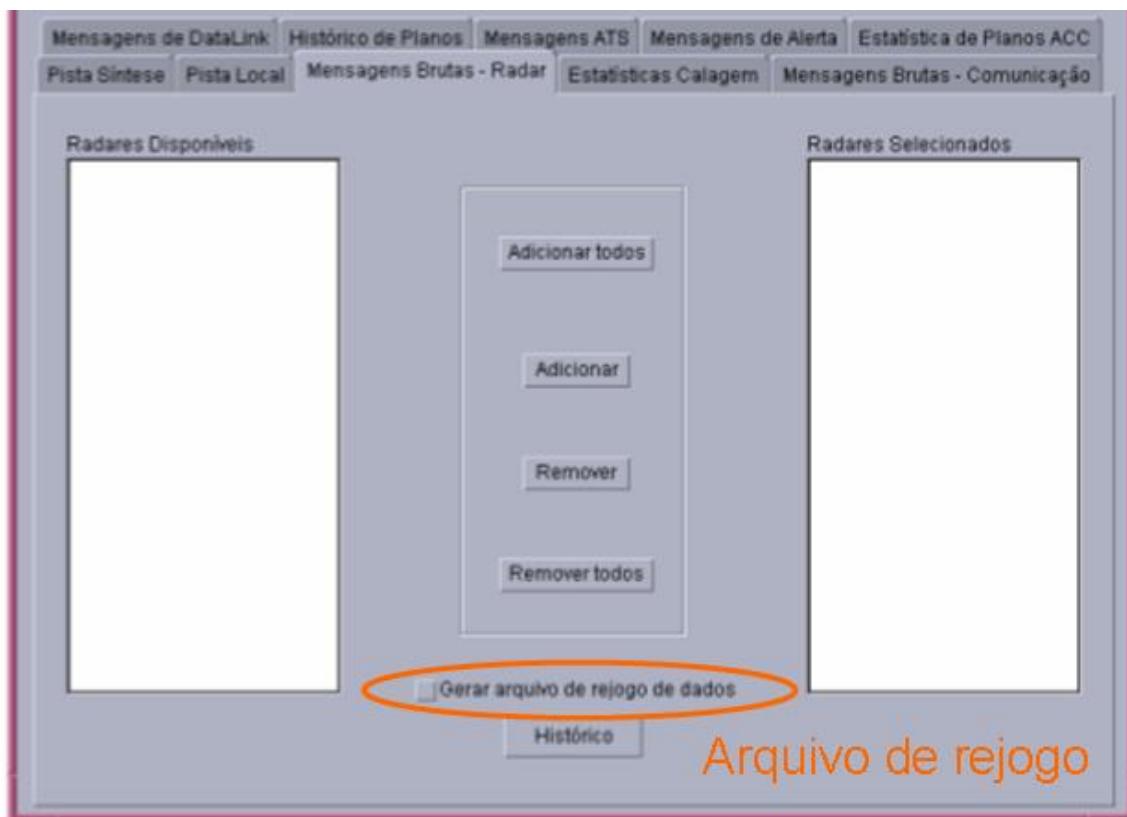


Figura 45. Geração do relatório de mensagens brutas radar com arquivo de rejogo

### 3.3 LOCALIZAÇÃO DOS RELATÓRIOS

Todos os relatórios são gerados no diretório `/home/offl` da posição de planejamento, com os nomes a seguir:

- Pista de Síntese
  - nome do arquivo dado pelo usuário
- Mensagens Brutas - Radar
  - GRAVACAO\_MSG\_RADAR.txt
- arquivo de rejogo
  - GRAVACAO\_MSG\_REJOGO.log

Esta unidade apresentou os principais procedimentos que o SUPERVISOR TÉCNICO DO SAGITARIO ACC precisa conhecer da EXTRAÇÃO DE RELATÓRIOS DE DADOS DE VIGILÂNCIA para executar o ótimo desempenho de suas funções.

## SIGLAS E ABREVIATURAS

|         |  |
|---------|--|
| ACC     | Centro de Controle de Área   |
| APP     | <i>Aproach Control</i> (Controle de Aproximação)   |
| AFTN    | Rede Fixa de Telecomunicações da Aeronáutica   |
| AMHS    | Sistema de Tratamento de Mensagens Aeronáuticas  |
| ATCO    | Controlador de Tráfego Aéreo   |
| CCAM    | Centro de Comutação Automática de Mensagens  |
| CCV     | Posição de visualização própria do RADAR   |
| IRIS    | Posição de visualização própria do RADAR   |
| LED     | Diodo Emissor de Luz   |
| LEP     | Linha Especializada (ligação entre centros automatizados)  |
| MODEM   | Modulador Demodulador  |
| MST     | <i>Multisensor Tracker</i>   |
| RPL     | Plano de Voo Repetitivo  |
| STPV    | Sistema de Tratamento de Planos de Voo   |
| STVD    | Sistema de Tratamento e Visualização de Dados  |
| TATIC   | <i>Total Air Traffic Information Control</i> – Sistema de gerenciamento de fluxo de informações de tráfego aéreo de torres de controle |
| UDD     | Unidade de Derivação Digital   |
| SISCEAB | Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro   |
| TELESAT | Sistema de Comunicações Satelital  |

## REFERÊNCIAS

- APO001. Apostila do Subsistema de Tratamento de Dados Radar e Sistemas de Análise Radar com Probabilidade de Detecção, ICEA.
- ATECH. Manual de Operação do Administrador do Sistema de Tratamento e Visualização de Dados do Centro de Controle de Área Atlântico. ATECH SA.530.12.00008/A. 2010.
- ATECH. Parecer Sobre Tratamento da Pista MST Para Geração da Síntese. ATECH 01.0118.02.00023/A. 2016.
- CISCEA. Especificação do Rastreamento Radar e da Síntese, 1987.
- ICAO. Manual on the Secondary Surveillance Radar (SSR) Systems Third Edition, 2004.
- LIGGINS, MARTIN E. et al., Handbook of Multisensor Data Fusion – Theory and Practice, CRC Press, 2009.
- O'DONNEL, ROBERT M. Introduction to Radar Systems – Lecture Notes, AESS-IEEE, 2009.
- PERUSICH, K. Information warfare: radar in World War II as an historical example. International Symposium on Technology and Society Technology and Society at a Time of Sweeping Change. Proceedings, Glasgow, pp. 92-99., 1997
- RICHARDS, MARK A. Fundamentals of Radar Signal Processing, McGraw-Hill, 2005.
- STIMSON, GEORGE W.; GRIFFITHS, HUGH D.; BAKER, CHRIS J.; ADAMY, DAVE. Introduction to Airborne Radar. Third Edition. Scitech Publishing. 2014.
- TOP006. Apostila do Curso de Ferramentas de TI Operacional para Sensores de Vigilância, PAME-RJ, 2014.

## ÍNDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>UNIDADE 1.....</b>   | <b>2</b>  |
| <b>SENSORES DE VIGILÂNCIA .....</b>   | <b>2</b>  |
| 1.1    RADAR .....  | 2         |
| 1.1.1.    RADAR PRIMÁRIO (PSR) .....  | 5         |
| 1.1.1.1.    Componentes.....  | 9         |
| 1.1.1.2.    Diagramas de irradiação.....  | 10        |
| 1.1.1.3.    Propagação da onda eletromagnética .....                                | 11        |
| 1.1.1.4.    Fenômenos e anomalias .....   | 12        |
| 1.1.1.5.    Fatores que impactam no desempenho do radar.....                        | 13        |
| 1.1.2.    RADAR SECUNDÁRIO (SSR) .....  | 14        |
| 1.1.2.1.    Modo 3/A .....  | 15        |
| 1.1.2.2.    Modo C .....  | 15        |
| 1.1.2.3.    Modo S .....  | 15        |
| 1.1.2.4.    Outros modos .....  | 16        |
| 1.1.2.5.    Resumo de funcionamento .....   | 16        |
| 1.1.3.    COBERTURA RADAR .....   | 16        |
| 1.1.4.    PLOTES.....   | 18        |
| 1.2    PROTÓCOLO ASTERIX .....  | 18        |
| 1.2.1.    CATEGORIAS .....  | 19        |
| <b>UNIDADE 2.....</b>   | <b>21</b> |
| <b>PROCESSAMENTO DE DADOS DE VIGILÂNCIA .....</b>                                   | <b>21</b> |
| 2.1    FUNDAMENTOS .....  | 21        |
| 2.1.1.    ARQUITETURA .....   | 21        |
| 2.1.2.    RASTREAMENTO .....  | 22        |
| 2.1.2.1.    Rastreamento Monorradar e Multiradar.....                               | 27        |
| 2.1.2.2.    Rastreamento Em Nível .....   | 28        |
| 2.1.3.    RECEPÇÃO DE DADOS DE VIGILÂNCIA NO SAGITARIO E SITUAÇÃO AÉREA LOCAL (SAL) | 28        |
| 2.1.4.    PROJEÇÃO ESTEREOGRÁFICA .....   | 30        |
| 2.1.5.    CORREÇÃO DE BIAS DOS SENSORES.....  | 33        |
| 2.1.6.    AVALIAÇÃO DE PROCESSADORES DE DADOS DE VIGILÂNCIA.....                    | 34        |
| 2.2    PROCESSAMENTO BASEADO EM PONDERAÇÃO DE PISTAS .....                          | 35        |
| 2.2.1.    MOSAICO .....   | 35        |
| 2.2.2.    MANUTENÇÃO DA SITUAÇÃO AÉREA DE SÍNTese (SAS) .....                       | 35        |
| 2.2.2.1.    Criação e Supressão de Pistas de Síntese .....                          | 37        |
| 2.2.2.2.    Fusão de Pistas .....   | 38        |
| 2.2.2.3.    Atualização da Pista de Síntese .....                                   | 39        |
| 2.3    RASTREAMENTO MULTISENSOR.....  | 42        |
| 2.3.1.    Módulo MST (Multisensor Tracker) do SAGITARIO .....                       | 46        |
| 2.3.2.    Correção de Bias no Módulo MST .....                                      | 48        |
| 2.3.3.    Integração do Módulo MST ao SAGITARIO .....                               | 49        |
| <b>UNIDADE 3.....</b>   | <b>52</b> |
| <b>EXTRAÇÃO DE RELATÓRIOS DE DADOS DE VIGILÂNCIA .....</b>                          | <b>52</b> |
| 3.1    PISTA DE SÍNTeSE.....  | 55        |
| 3.2    MENSAGENS BRUTAS – RADAR / REJOGO.....                                       | 56        |
| 3.3    LOCALIZAÇÃO DOS RELATÓRIOS .....   | 57        |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>   | <b>59</b> |