



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

SOFTWARE DE GERENCIAMENTO DE RASTREIO

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBITI/INPE/CNPq)

Mailson Rodrigues de Medeiros Guimarães (UFRN, Bolsista PIBITI/CNPq)
E-mail: rodriguez.1997@hotmail.com

Dr. José Marcelo Lima Duarte (INPE, Orientador)
E-mail: jmarcelo@crn.inpe.br

Julho de 2019



SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	6
2.	OBJETIVOS DO TRABALHO	8
3.	MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS	9
4.	ANÁLISES E RESULTADOS	10
4.1	INSERÇÃO DE UM SATÉLITE NA LISTA DE RASTREIO	10
4.2	JANELA DE MUDANÇA DOS PARÂMETROS	12
4.3	JANELA DE PREFERÊNCIAS	13
4.4	JANELA PRINCIPAL	14
4.5	CONTROLE DE FLUXO POR TEMPORIZADOR	16
4.5.1	<i>Automatização do Comando Power</i>	17
4.6	LOG	17
4.6.1	<i>Log de Dados</i>	18
4.6.2	<i>Log de Eventos</i>	20
4.7	FILTRAGEM DAS PASSAGENS CURTAS	25
4.8	MIGRAÇÃO DO SOFTWARE PARA LINUX	26
4.8.1	<i>Reimplementação da Comunicação Serial</i>	27
4.8.1.1	Buffer de Leitura	29
4.8.1.2	Verificação da Porta	30
4.8.1.3	Funcionamento Esperado	32
5.	CONCLUSÕES	33
	REFERÊNCIAS	34

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 01:** Visão de software da arquitetura da EMMN.
- Figura 02:** Janela principal do software de gerenciamento de rastreo.
- Figura 03:** Janela para inserção de um satélite.
- Figura 04:** Indicação de erro na janela para inserção de um satélite.
- Figura 05:** Janela para modificação dos parâmetros.
- Figura 06:** Janela de preferências do software.
- Figura 07:** Status do sistema de potência.
- Figura 08:** Status da conexão com o servidor.
- Figura 09:** Tabela de passagens.
- Figura 10:** Resposta da interação com mouse.
- Figura 11:** Diagrama de tempo para análise do controle de fluxo.
- Figura 12:** Log de dados gerado.
- Figura 13:** Log de dados visualizado através do *Excel*.
- Figura 14:** Log de eventos de funcionamento normal do sistema.
- Figura 15:** Log de eventos apresentando problema no módulo de potência.
- Figura 16:** Log de eventos apresentando problema na atualização das TLEs.
- Figura 17:** Log de eventos apresentando problema na conexão com o servidor MQTT.
- Figura 18:** Casos do algoritmo de geração das passagens.
- Figura 19:** Formatação do arquivo .json.
- Figura 20:** Fluxograma de descrição do *buffer* de leitura.
- Figura 21:** Fluxograma de verificação.
- Tabela 01:** Lista de mensagens do log de eventos.
- Tabela 02:** Descrição dos comandos utilizados.



LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
TT&C	<i>Telemetry, Tracking and Commanding</i>
CRN	Centro Regional do Nordeste
EMMN	Estação Multi Missão de Natal
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
SPORT	<i>Scintillation Prediction Observations Research Task</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
TLE	<i>Two-line element set</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
DDS	<i>Data Distribution System</i>
DD	<i>Decimal Degrees</i>



RESUMO

Este trabalho tem como objetivo relatar as mudanças ocorridas no software de gerenciamento de rastreamento desde as atualizações realizadas pelo último bolsista. Dentre as mudanças significativas, houve a inclusão dos status de saúde de alguns sistemas na interface, a adição de checkbox para gerenciar melhor o cronograma de passagens, o início dos passos a serem seguidos para expandir a portabilidade do software para outros sistemas operacionais (e.g. Linux) e por fim a correção dos *bugs* existentes.

Palavras-chave: Software. Portabilidade. Interface.

1. INTRODUÇÃO

A EMMN, localizada no INPE CRN, em Natal, consiste em uma estação de TT&C, a qual está em processo de reaproveitamento, uma vez que a missão para a qual foi projetada falhou, e esta ficou sem utilidade. Parte deste processo consistiu na elaboração da arquitetura da estação, baseada em estações já existente. Atualmente, do ponto de vista de softwares, a estação possui a seguinte arquitetura:

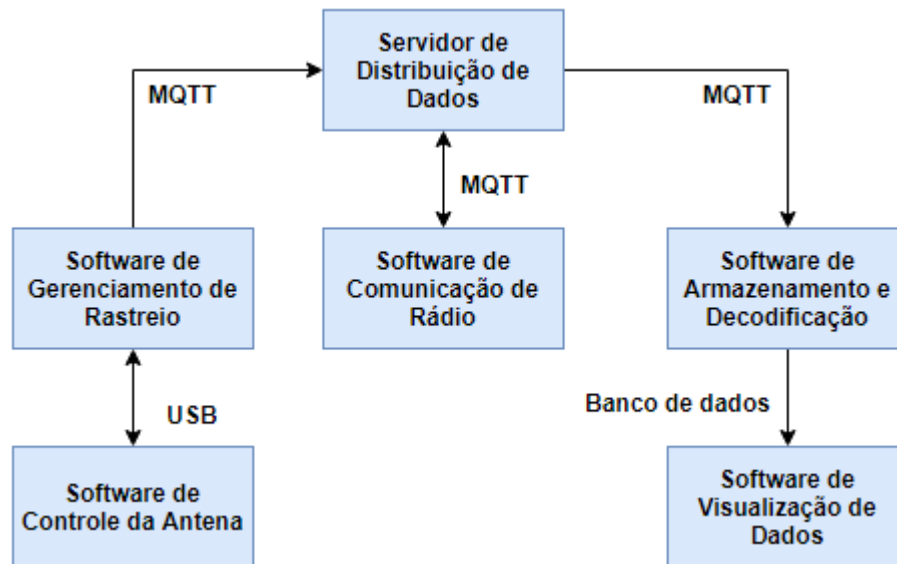


Figura 01: Visão de software da arquitetura da EMMN.

O software de gerenciamento de rastreo da EMMN (Figura 02) possui a funcionalidade de controle de posicionamento da antena da estação, bem como a administração dos satélites rastreados e suas passagens. Atualmente, a estação está sendo preparada para a missão SPORT, que é uma parceria entre o Brasil e os Estados Unidos.

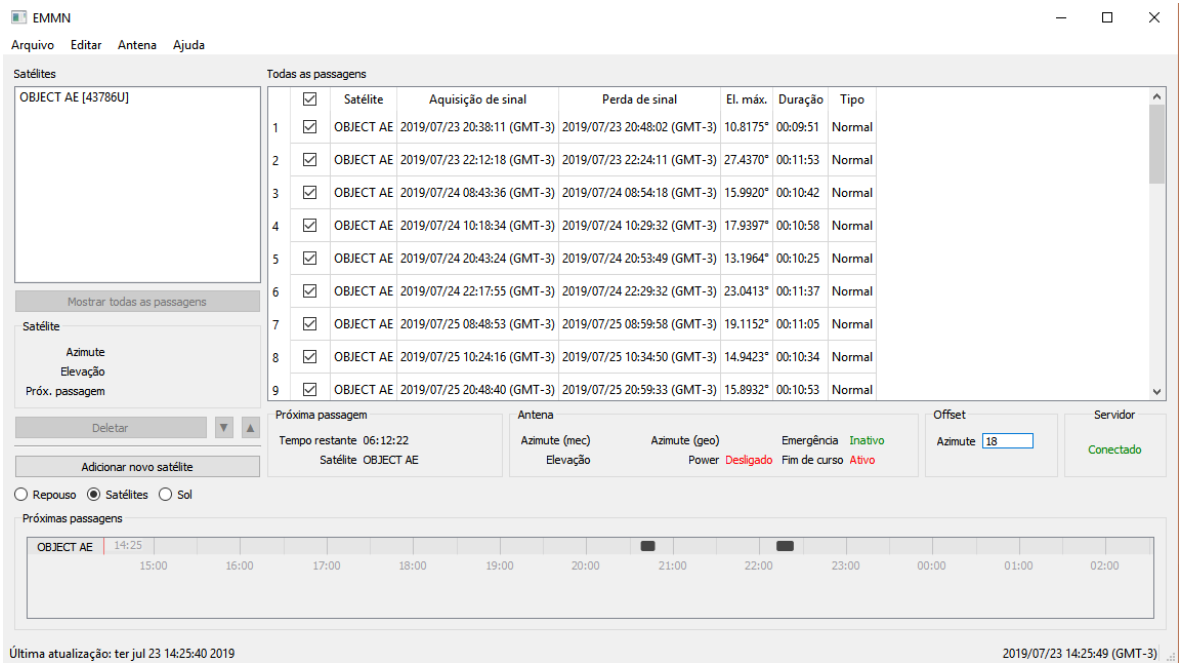


Figura 02: Janela principal do software de gerenciamento de rastreamento.

Este software já vinha sendo desenvolvido há alguns anos, sendo sua última atualização, o desenvolvimento de uma interface gráfica voltada para o usuário, de forma a facilitar o manuseio. A partir disto, desejou-se adicionar mais funcionalidades, bem como corrigir problemas anteriores e realizar a integração com os demais sistemas da estação.



2. OBJETIVOS DO TRABALHO

Dentre os objetivos do trabalho, pode-se citar o estudo da documentação sobre o software o seu código fonte, bem como o acréscimo de novas funcionalidades, correção de bugs e interfaceamento.

Em relação às interfaces, uma das propostas do software é a sua integração com os demais sistemas da estação mostrados na Figura 01, bem como com a unidade do INPE em São José dos Campos, a qual fornecerá os telecomandos que serão transmitidos através da estação e deverá ter acesso às informações recebidas da missão SPORT.



3. MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

Para o desenvolvimento do software, utilizou-se uma *Workstation*, com sistema operacional Windows 10. A IDE utilizada para a programação foi o Qt Creator, sendo a última versão do software compilada na versão 5.12.3 do Qt. Além disso, utilizou-se um software auxiliar para verificação de passagens de satélites, sendo este o *Orbitron*.

Para o gerenciamento do projeto, foi implementado o scrum, que é uma metodologia ágil para gestão e planejamento de projetos de software. Neste caso, os *sprints* tinham duração de uma semana para execução das tarefas.

4. ANÁLISES E RESULTADOS

Do ponto de vista dos resultados obtidos, serão expostas as novas funcionalidades do software .

4.1 INSERÇÃO DE UM SATÉLITE NA LISTA DE RASTREIO

Antes, ao adicionar um satélite na lista de rastreo do software, o usuário se deparava com uma interface na qual era solicitado apenas o nome do satélite. A partir do nome, uma busca era feita no catálogo de TLEs obtidas do *Space-Track*, e então o satélite poderia ser incluído na lista. Atualmente, mais informações são solicitadas para:

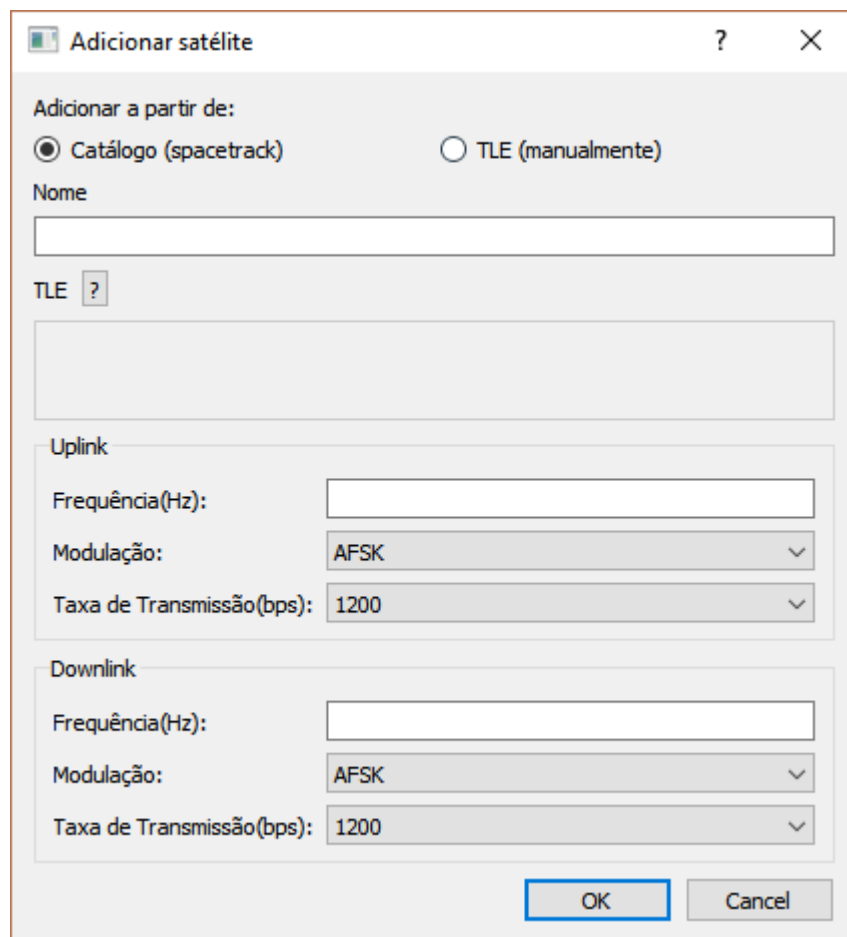


Figura 03: Janela para inserção de um satélite.

Como observado na figura acima, agora o usuário pode adicionar um satélite já existente no catálogo, como inserir manualmente uma TLE direto no software. Além disso, são solicitados os parâmetros de comunicação de uplink e downlink, uma vez que, de acordo com a Figura 01, esses parâmetros são enviados ao servidor e repassados para o software do rádio. Vale ressaltar que, após escolher o satélite, o usuário só conseguirá confirmar a inserção após preencher todas as informações. Caso tente clicar em “OK” sem finalizar o processo, indicadores irão aparecer, como observado abaixo:

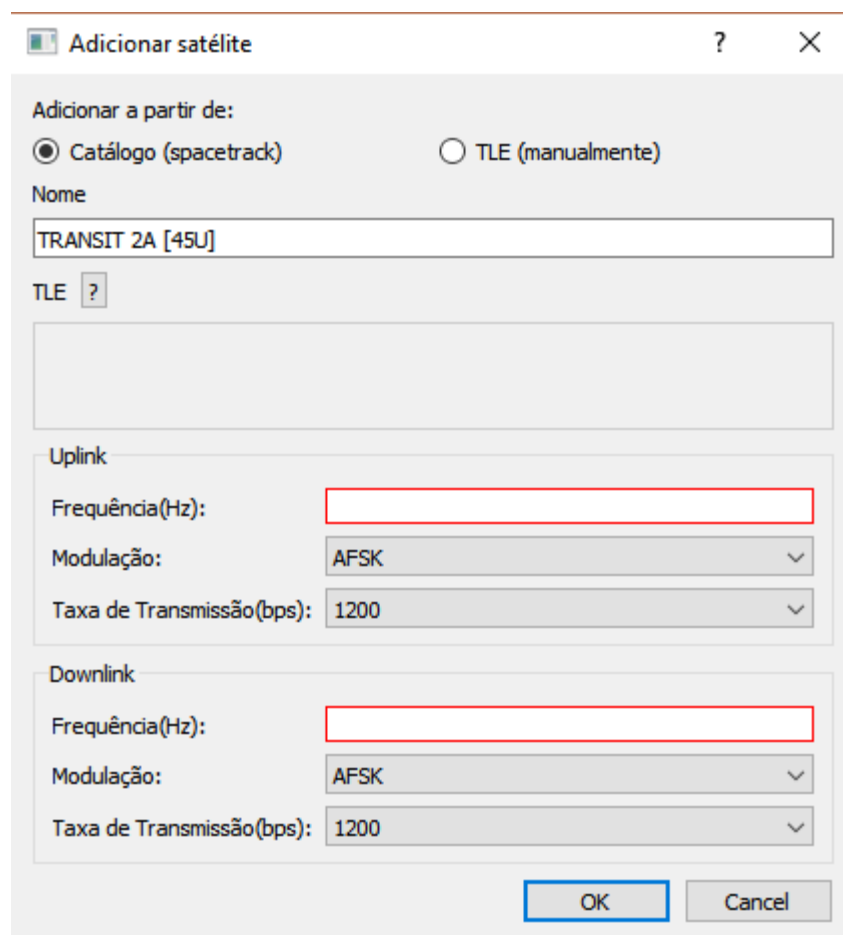


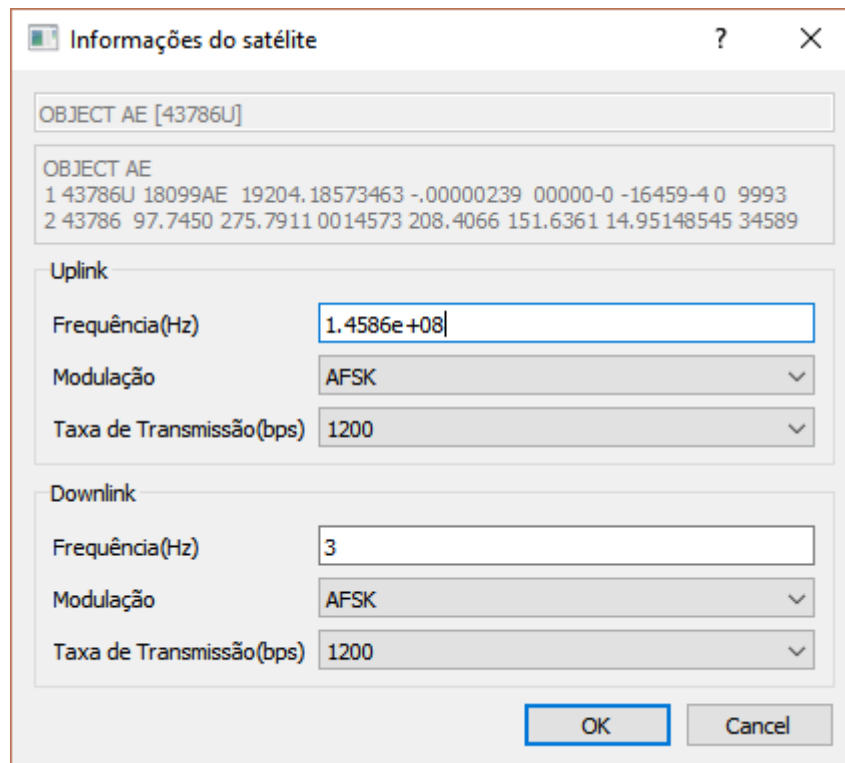
Figura 04: Indicação de erro na janela para inserção de um satélite.

Vale ressaltar que os campos de frequência foram programados de formar a recusar entrada de caracteres que não forem números. Também é possível preencher o campo em notação científica (e.g. 1.4586e+08). Atualmente, dentre

estes parâmetros, apenas a TLE é enviada para o servidor, uma vez que o software do rádio ainda não está configurado para outras taxas de transmissão de modulações, apesar do software de gerenciamento possibilitar a escolha de taxas de 1200, 2400, 4800 e 9600, bem como modulações do tipo AFSK e BPSK.

4.2 JANELA DE MUDANÇA DOS PARÂMETROS

Outra implementação relevante foi a possibilidade de modificar os parâmetros de um satélite já incluído. Caso o usuário preencha incorretamente os dados de um determinado satélite e inclua este na lista, ao clicar com o botão direito do mouse sobre este na lista de rastreamento, aparecerá um menu onde, ao clicar em “Configurações”, a seguinte janela surgirá:



OBJECT AE	
1	43786U 18099AE 19204.18573463 -.00000239 00000-0 -16459-4 0 9993
2	43786 97.7450 275.7911 0014573 208.4066 151.6361 14.95148545 34589

Uplink

Frequência(Hz)

Modulação

Taxa de Transmissão(bps)

Downlink

Frequência(Hz)

Modulação

Taxa de Transmissão(bps)

Figura 05: Janela para modificação dos parâmetros.

Esta janela possibilita que o usuário possa reconfigurar livremente os parâmetros de comunicação de um satélite já incluído. Semelhante à configuração

na janela que adiciona um satélite à lista, também só é possível confirmar as mudanças caso todos os campos estejam apropriadamente preenchidos.

4.3 JANELA DE PREFERÊNCIAS

A janela de preferências do software foi incrementada, uma vez que antes só possibilitada ao usuário escolher o uso ou não do horário local e mudar a porta serial através da qual o software se comunica com o software de controle da antena. Atualmente, esta janela possui a seguinte aparência:

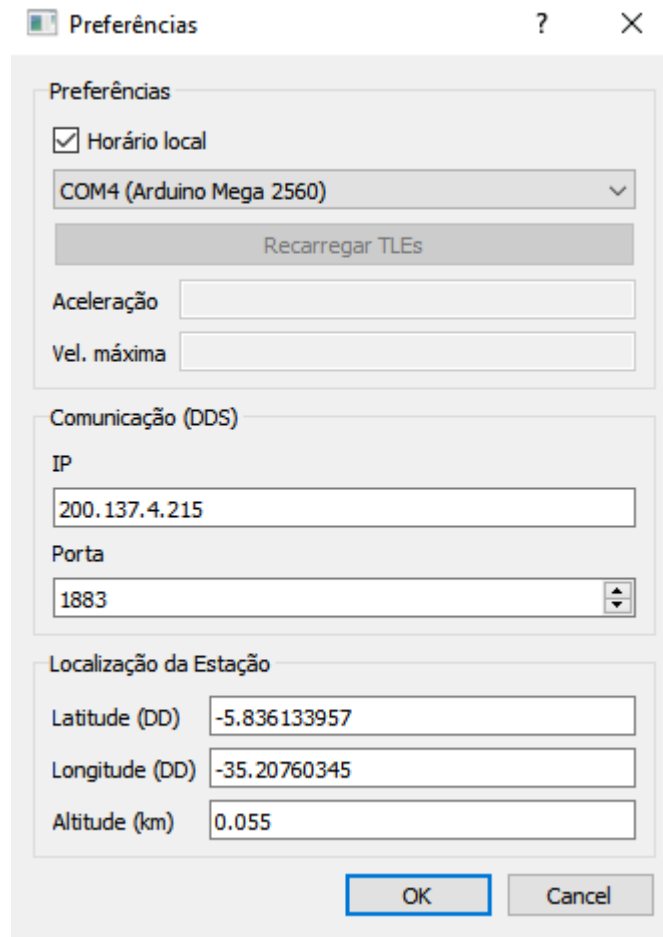


Figura 06: Janela de preferências do software.

Agora, o usuário deve configurar o acesso ao servidor de distribuição de dados, indicando o IP e a porta para a conexão. Outra mudança importante foi

trazer para a interface a possibilidade de configurar a localização da estação (latitude, longitude e altitude), uma vez que estas informações estavam contidas em variáveis diretamente no código fonte do software.

4.4 JANELA PRINCIPAL

A janela principal (Figura 02) teve alguns acréscimos, a começar pela possibilidade de visualizar os status do sistema de potência:

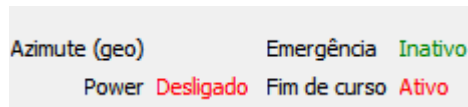


Figura 07: Status do sistema de potência.

No caso, foram incluídas cores para melhor visualização e a indicação dos estados dos relés do sistema que estão conectados ao sensor de fim de curso e ao botão de emergência presente na antena. Além dessa verificação de saúde, também é exibida na interface a situação da conexão com o servidor:

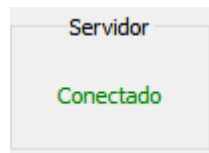


Figura 08: Status da conexão com o servidor.

Este campo informa se três estados: conectado (verde), conectando (laranja) e desconectado (vermelho).

Uma grande modificação na interface foi a inclusão de checkbox na tabela de passagens:



Todas as passagens							
	<input checked="" type="checkbox"/>	Satélite	Aquisição de sinal	Perda de sinal	El. máx.	Duração	Tipo
1	<input checked="" type="checkbox"/>	OBJECT AE	2019/07/23 20:38:10 (GMT-3)	2019/07/23 20:48:02 (GMT-3)	10.8194°	00:09:52	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	OBJECT AE	2019/07/23 22:12:18 (GMT-3)	2019/07/23 22:24:11 (GMT-3)	27.4405°	00:11:53	Normal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	OBJECT AE	2019/07/24 08:43:36 (GMT-3)	2019/07/24 08:54:17 (GMT-3)	15.9885°	00:10:41	Normal
4	<input checked="" type="checkbox"/>	OBJECT AE	2019/07/24 10:18:34 (GMT-3)	2019/07/24 10:29:32 (GMT-3)	17.9372°	00:10:58	Normal
5	<input checked="" type="checkbox"/>	OBJECT AE	2019/07/24 20:43:24 (GMT-3)	2019/07/24 20:53:49 (GMT-3)	13.1983°	00:10:25	Normal
6	<input checked="" type="checkbox"/>	OBJECT AE	2019/07/24 22:17:55 (GMT-3)	2019/07/24 22:29:32 (GMT-3)	23.0448°	00:11:37	Normal
7	<input checked="" type="checkbox"/>	OBJECT AE	2019/07/25 08:48:53 (GMT-3)	2019/07/25 08:59:58 (GMT-3)	19.1116°	00:11:05	Normal
8	<input checked="" type="checkbox"/>	OBJECT AE	2019/07/25 10:24:16 (GMT-3)	2019/07/25 10:34:49 (GMT-3)	14.9401°	00:10:33	Normal
9	<input checked="" type="checkbox"/>	OBJECT AE	2019/07/25 20:48:40 (GMT-3)	2019/07/25 20:59:33 (GMT-3)	15.8951°	00:10:53	Normal

Figura 09: Tabela de passagens.

Os checkbox possibilitam que o usuário possa escolher as passagens que serão rastreadas, bem como resolver conflitos em caso de múltiplos rastreios (passagens simultâneas). É um recurso fundamental que permite a criação de um cronograma melhor definido de rastreio.

Por fim, como sugerido pelo bolsista anterior, foi implementada a interação com mouse no cronograma de passagens. Quando o usuário dá um clique duplo em uma passagem do cronograma (parte inferior da Figura 02), a tabela de passagens responderá evidenciando a passagem que foi clicada:

Todas as passagens							
	<input checked="" type="checkbox"/>	Satélite	Aquisição de sinal	Perda de sinal	El. máx.	Duração	Tipo
1	<input checked="" type="checkbox"/>	OBJECT AE	2019/07/23 20:38:10 (GMT-3)	2019/07/23 20:48:02 (GMT-3)	10.8194°	00:09:52	Normal
2	<input checked="" type="checkbox"/>	OBJECT AE	2019/07/23 22:12:18 (GMT-3)	2019/07/23 22:24:11 (GMT-3)	27.4405°	00:11:53	Normal

Figura 10: Resposta da interação com mouse.

4.5 CONTROLE DE FLUXO POR TEMPORIZADOR

Após estudar o código fonte do software, notou-se que este não respondia bem a determinados momentos do cronograma de passagem, como por exemplo, ao término de uma passagem, a interface não atualizava a lista de passagens para remover a que tinha acabado. Dessa forma, definiu-se um temporizador de um segundo, onde atribuiu-lhe diversas condições para realizar controles de fluxo do código. O diagrama a seguir pode ilustrar como o software aborda uma passagem e, a partir deste, será explicado o envio de sinais ao longo do código.

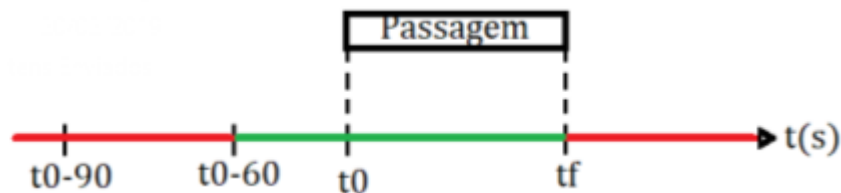


Figura 11: Diagrama de tempo para análise do controle de fluxo.

Em termos de envio de sinais dentro do próprio código, que são responsáveis por executar algumas tarefas, tem-se três sinais:

1. Não há passagens no momento;
2. Uma passagem irá começar/está acontecendo;
3. Passagem terminada.

O temporizador verifica constantemente se as condições satisfazem o envio destes sinais. O tempo em vermelho da figura acima indica o período em que não há passagens acontecendo e em verde, quando uma passagem irá começar ou já está acontecendo. Quanto $t = t_f$, o sinal que indica o fim de uma passagem será enviado.

Ligado ao sinal 2, está a função que mantém a comunicação com o servidor MQTT, enviando a cada um segundo, começando um minuto antes do início da passagem até seu término, os parâmetros de comunicação do satélite correspondente à passagem e sua TLE, utilizada para a correção do Efeito



Doppler. O sinal 3 providencia a atualização da janela inicial quando uma passagem é finalizada e faz com que a antena retorne para a posição de repouso caso não esteja ocorrendo outra passagem.

4.5.1 Automatização do Comando *Power*

Tendo em vista que um dos objetivos da EMMN é manter um sistema automático que realiza comunicação com os satélites dos clientes e, após testes, notou-se que, ao deixar o módulo de potência que controla a antena permanentemente ligada, seria um gasto desnecessário de energia, sendo que, ao observar a Figura 11, é notável que a maior parte do tempo, a antena ficaria ociosa por falta de passagens.

Tendo isto em mente, tentou-se automatizar os momentos em que o módulo de potência liga e desliga, de forma que o sistema só funcione na iminência de uma passagem e durante esta, voltando a desligar-se sem seguida, providenciando, em outros termos, uma economia de energia.

Sendo assim, utilizando-se o mesmo temporizador, definiu-se que, 90 segundos antes do início de uma passagem (t_0-90), o módulo é energizado, onde, 30 segundos depois (t_0-60) é realizado o apontamento para onde o satélite irá surgir.

Ao terminar uma passagem, a antena retorna à posição de repouso, onde aguardará uma próxima passagem, ou o módulo continuará ligado caso ocorram passagens consecutivas.

4.6 LOG

O log da do software de gerenciamento de rastreamento da EMMN foi dividido em dois: log de eventos e log de dados. Ambos foram implementados com o objetivo de observar o comportamento do sistema ao longo do tempo, uma vez que é uma operação contínua e nem sempre monitorada pessoalmente, o que torna imprescindível manter um histórico de acontecimentos.

O log foi implementado através da classe *logger*, a qual gerencia os diretórios, arquivos e escritas. Atualmente, o log se encontra no diretório de dados dos aplicativos no sistema operacional Windows.

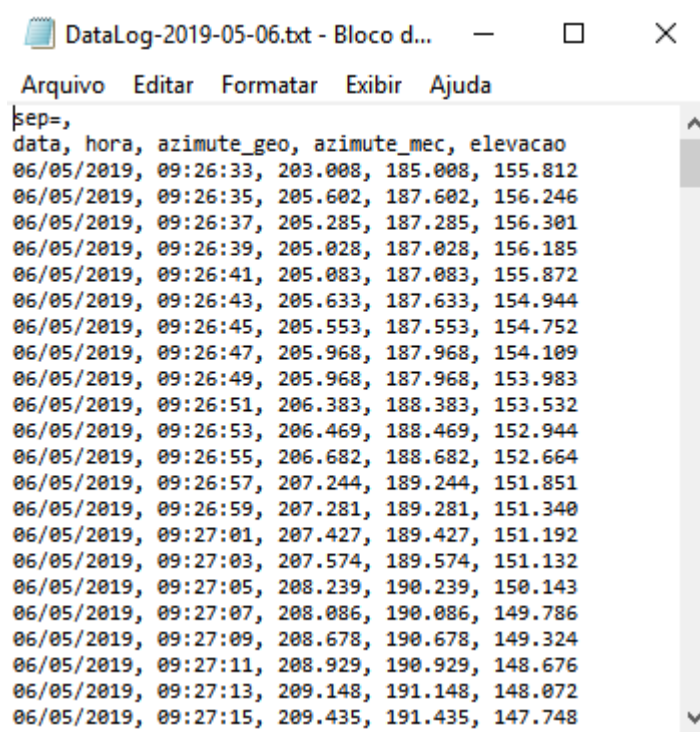
4.6.1 Log de Dados

Este log armazena as informações do posicionamento da antena em função do tempo. O armazenamento dos dados ocorre apenas durante um rastreamento, uma vez que, ao estar seguindo o cronograma de passagens, o módulo de potência está desenergizado na maior parte do tempo e a antena estará na posição de repouso (azimute: 180°, elevação: 90°). Sendo assim, muitos dados seriam gerados com as mesmas informações.

A função que realiza a escrita é *logger::addData*, a qual gera um arquivo com nome padronizado da seguinte forma “DataLog-<Ano>-<Mês>-<Dia>.txt”, onde a data presente no nome é dada pela data em que o software foi aberto. Caso já haja um arquivo com mesmo nome, este continuará a ser escrito normalmente. Se o software passar mais de um dia em execução, a escrita continuará sendo feita no arquivo do dia em que o software foi aberto.

A escrita é gerenciada pela classe *mainwindow* através de um *QTimer* com duração de dois segundos que emite o sinal conectado ao slot *writeLoggerSlot*, que verifica se uma passagem está acontecendo e escreve os dados no arquivo.

O arquivo de saída foi padronizado de forma que sua importação para softwares como o *Excel* fosse facilitada. A figura abaixo mostra um exemplo de arquivo gerado:



```
DataLog-2019-05-06.txt - Bloco d...
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
sep=,
data, hora, azimute_geo, azimute_mec, elevacao
06/05/2019, 09:26:33, 203.008, 185.008, 155.812
06/05/2019, 09:26:35, 205.602, 187.602, 156.246
06/05/2019, 09:26:37, 205.285, 187.285, 156.301
06/05/2019, 09:26:39, 205.028, 187.028, 156.185
06/05/2019, 09:26:41, 205.083, 187.083, 155.872
06/05/2019, 09:26:43, 205.633, 187.633, 154.944
06/05/2019, 09:26:45, 205.553, 187.553, 154.752
06/05/2019, 09:26:47, 205.968, 187.968, 154.109
06/05/2019, 09:26:49, 205.968, 187.968, 153.983
06/05/2019, 09:26:51, 206.383, 188.383, 153.532
06/05/2019, 09:26:53, 206.469, 188.469, 152.944
06/05/2019, 09:26:55, 206.682, 188.682, 152.664
06/05/2019, 09:26:57, 207.244, 189.244, 151.851
06/05/2019, 09:26:59, 207.281, 189.281, 151.340
06/05/2019, 09:27:01, 207.427, 189.427, 151.192
06/05/2019, 09:27:03, 207.574, 189.574, 151.132
06/05/2019, 09:27:05, 208.239, 190.239, 150.143
06/05/2019, 09:27:07, 208.086, 190.086, 149.786
06/05/2019, 09:27:09, 208.678, 190.678, 149.324
06/05/2019, 09:27:11, 208.929, 190.929, 148.676
06/05/2019, 09:27:13, 209.148, 191.148, 148.072
06/05/2019, 09:27:15, 209.435, 191.435, 147.748
```

Figura 12: Log de dados gerado.

Como observado, são armazenados no arquivo a data e a hora, o azimute geográfico, o azimute mecânico e a elevação da antena. A diferença entre os dois valores de azimute é justificada pelo fato de a antena não estar alinhada com o norte geográfico. Os dados são dispostos em forma de coluna utilizando vírgulas como separadores. Este padrão é reconhecido pelo *Excel* e pode ser aberto diretamente, gerando o seguinte resultado:



	A	B	C	D	E
1	data	hora	azimute_	azimute_	elevacao
2	06/05/2019	09:26:33	203.008	185.008	155.812
3	06/05/2019	09:26:35	205.602	187.602	156.246
4	06/05/2019	09:26:37	205.285	187.285	156.301
5	06/05/2019	09:26:39	205.028	187.028	156.185
6	06/05/2019	09:26:41	205.083	187.083	155.872
7	06/05/2019	09:26:43	205.633	187.633	154.944
8	06/05/2019	09:26:45	205.553	187.553	154.752
9	06/05/2019	09:26:47	205.968	187.968	154.109
10	06/05/2019	09:26:49	205.968	187.968	153.983
11	06/05/2019	09:26:51	206.383	188.383	153.532
12	06/05/2019	09:26:53	206.469	188.469	152.944
13	06/05/2019	09:26:55	206.682	188.682	152.664
14	06/05/2019	09:26:57	207.244	189.244	151.851
15	06/05/2019	09:26:59	207.281	189.281	151.340
16	06/05/2019	09:27:01	207.427	189.427	151.192
17	06/05/2019	09:27:03	207.574	189.574	151.132
18	06/05/2019	09:27:05	208.239	190.239	150.143
19	06/05/2019	09:27:07	208.086	190.086	149.786
20	06/05/2019	09:27:09	208.678	190.678	149.324
21	06/05/2019	09:27:11	208.929	190.929	148.676
22	06/05/2019	09:27:13	209.148	191.148	148.072
23	06/05/2019	09:27:15	209.435	191.435	147.748
24	06/05/2019	09:27:17	209.893	191.893	146.973

Figura 13: Log de dados visualizado através do Excel.

Vale ressaltar que caso a coluna da data esteja preenchida com o caractere “#”, é apenas devido à largura da coluna que não é suficiente para exibir os dados.

4.6.2 Log de Eventos

Este log armazena eventos importantes ocorridos durante a operação do software. A função que realiza a escrita é `logger::addEvent`, a qual gera um arquivo com nome padronizado semelhante ao log de dados: “EventLog-<Ano>-<Mês>-<Dia>.txt”. A função padroniza a escrita da seguinte forma: “[<data>

<hora>] (<sistema>) <mensagem>”. A tabela abaixo contém a lista de mensagens geradas pelos eventos armazenadas até o momento:

Mensagem
Programa executado
Servidor MQTT desconectado
Servidor MQTT conectando
Servidor MQTT conectado
Satélite <nome>[<id>] removido
Satélite <nome>[<id>] adicionado
Modo de controle alterado para 'Cronograma'
Modo de controle alterado para 'Apontamento para o sol'
Modo manual ativado através do hardware
Modo manual desativado através do hardware
Modo de controle alterado para 'Repouso'
Módulo de potência energizado automaticamente para rastreio
Rastreando satélite <nome>[<id>]
Fim do rastreio do satélite <nome>[<id>]
Módulo de potência desenergizado automaticamente na ausência de passagem
Atualização das TLEs
Programa encerrado

Tabela 01: Lista de mensagens do log de eventos.

A escrita destas mensagens no log está espalhada pelo código, nas funções responsáveis pelos eventos descritos.

A figura abaixo mostra o exemplo de um log gerado durante o funcionamento normal do sistema rastreando o satélite OBJECT AE. Espera-se



que o programa seja executado e em seguida o MQTT seja conectado. O sistema deverá ficar desenergizado até que uma passagem se inicie, realizando o rastreo e em seguida desenergizando automaticamente, seguindo este ciclo ao longo das passagens seguintes. Também é esperado que as TLEs sejam atualizadas diariamente de forma automática, assim como informa o log.

```
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
[03/06/2019 15:48:43] (trackmngt) Programa executado
[03/06/2019 15:48:48] (trackmngt) Servidor MQTT desconectado
[03/06/2019 15:48:48] (trackmngt) Servidor MQTT conectando
[03/06/2019 15:48:48] (trackmngt) Servidor MQTT conectado
[03/06/2019 15:54:29] (trackmngt) Modo manual ativado através do hardware
[03/06/2019 15:55:12] (trackmngt) Modo manual desativado através do hardware
[03/06/2019 15:56:12] (trackmngt) Módulo de potência desenergizado automaticamente na ausência de passagem
[03/06/2019 20:46:27] (trackmngt) Módulo de potência energizado automaticamente para rastreo
[03/06/2019 20:47:56] (trackmngt) Rastreando satélite OBJECT AE[43786U]
[03/06/2019 20:58:31] (trackmngt) Fim do rastreo do satélite OBJECT AE[43786U]
[03/06/2019 20:59:09] (trackmngt) Módulo de potência desenergizado automaticamente na ausência de passagem
[03/06/2019 22:21:19] (trackmngt) Módulo de potência energizado automaticamente para rastreo
[03/06/2019 22:22:48] (trackmngt) Rastreando satélite OBJECT AE[43786U]
[03/06/2019 22:33:52] (trackmngt) Fim do rastreo do satélite OBJECT AE[43786U]
[03/06/2019 22:34:29] (trackmngt) Módulo de potência desenergizado automaticamente na ausência de passagem
[04/06/2019 08:51:42] (trackmngt) Módulo de potência energizado automaticamente para rastreo
[04/06/2019 08:53:11] (trackmngt) Rastreando satélite OBJECT AE[43786U]
[04/06/2019 09:04:51] (trackmngt) Fim do rastreo do satélite OBJECT AE[43786U]
[04/06/2019 09:05:29] (trackmngt) Módulo de potência desenergizado automaticamente na ausência de passagem
[04/06/2019 10:27:27] (trackmngt) Módulo de potência energizado automaticamente para rastreo
[04/06/2019 10:28:56] (trackmngt) Rastreando satélite OBJECT AE[43786U]
[04/06/2019 10:39:21] (trackmngt) Fim do rastreo do satélite OBJECT AE[43786U]
[04/06/2019 10:39:59] (trackmngt) Módulo de potência desenergizado automaticamente na ausência de passagem
[04/06/2019 14:22:50] (trackmngt) Atualização das TLEs
[04/06/2019 20:51:46] (trackmngt) Módulo de potência energizado automaticamente para rastreo
[04/06/2019 20:53:15] (trackmngt) Rastreando satélite OBJECT AE[43786U]
[04/06/2019 21:04:14] (trackmngt) Fim do rastreo do satélite OBJECT AE[43786U]
[04/06/2019 21:04:52] (trackmngt) Módulo de potência desenergizado automaticamente na ausência de passagem
[04/06/2019 22:27:02] (trackmngt) Módulo de potência energizado automaticamente para rastreo
[04/06/2019 22:28:31] (trackmngt) Rastreando satélite OBJECT AE[43786U]
[04/06/2019 22:39:11] (trackmngt) Fim do rastreo do satélite OBJECT AE[43786U]
[04/06/2019 22:39:49] (trackmngt) Módulo de potência desenergizado automaticamente na ausência de passagem
[05/06/2019 08:57:05] (trackmngt) Módulo de potência energizado automaticamente para rastreo
[05/06/2019 08:58:34] (trackmngt) Rastreando satélite OBJECT AE[43786U]
[05/06/2019 09:10:30] (trackmngt) Fim do rastreo do satélite OBJECT AE[43786U]
[05/06/2019 09:11:08] (trackmngt) Módulo de potência desenergizado automaticamente na ausência de passagem
[05/06/2019 10:33:15] (trackmngt) Módulo de potência energizado automaticamente para rastreo
[05/06/2019 10:34:44] (trackmngt) Rastreando satélite OBJECT AE[43786U]
[05/06/2019 10:44:36] (trackmngt) Fim do rastreo do satélite OBJECT AE[43786U]
[05/06/2019 10:45:13] (trackmngt) Módulo de potência desenergizado automaticamente na ausência de passagem
[05/06/2019 11:56:10] (trackmngt) Satélite THOR ABLESTAR R/B[59U] adicionado
[05/06/2019 11:58:07] (trackmngt) Satélite THOR ABLESTAR R/B[59U] removido
[05/06/2019 12:15:47] (trackmngt) Programa encerrado
```

Figura 14: Log de eventos de funcionamento normal do sistema.

Assim como é observável o funcionamento estável do sistema através do log de eventos, alguns problemas também podem ser observados, como por

exemplo, o caso em que o módulo de potência não está apto para o funcionamento ou quando a chave da unidade de pilotagem não está na posição correta. O log de eventos irá mostrar o seguinte loop de eventos:

 EventLog-2019-06-05.txt - Bloco de notas

```
Arquivo  Editar  Formatar  Exibir  Ajuda
[05/06/2019 15:38:27] (trackmngt) Rastreando satélite GLOBALSTAR M046 [-][25651U]
[05/06/2019 15:38:28] (trackmngt) Módulo de potência energizado automaticamente para rastreo
[05/06/2019 15:38:28] (trackmngt) Rastreando satélite GLOBALSTAR M046 [-][25651U]
[05/06/2019 15:38:29] (trackmngt) Módulo de potência energizado automaticamente para rastreo
[05/06/2019 15:38:29] (trackmngt) Rastreando satélite GLOBALSTAR M046 [-][25651U]
[05/06/2019 15:38:30] (trackmngt) Módulo de potência energizado automaticamente para rastreo
[05/06/2019 15:38:30] (trackmngt) Rastreando satélite GLOBALSTAR M046 [-][25651U]
[05/06/2019 15:38:31] (trackmngt) Módulo de potência energizado automaticamente para rastreo
[05/06/2019 15:38:31] (trackmngt) Rastreando satélite GLOBALSTAR M046 [-][25651U]
[05/06/2019 15:38:32] (trackmngt) Módulo de potência energizado automaticamente para rastreo
[05/06/2019 15:38:32] (trackmngt) Rastreando satélite GLOBALSTAR M046 [-][25651U]
[05/06/2019 15:38:33] (trackmngt) Módulo de potência energizado automaticamente para rastreo
[05/06/2019 15:38:33] (trackmngt) Rastreando satélite GLOBALSTAR M046 [-][25651U]
[05/06/2019 15:38:34] (trackmngt) Módulo de potência energizado automaticamente para rastreo
[05/06/2019 15:38:34] (trackmngt) Rastreando satélite GLOBALSTAR M046 [-][25651U]
[05/06/2019 15:38:35] (trackmngt) Módulo de potência energizado automaticamente para rastreo
[05/06/2019 15:38:35] (trackmngt) Rastreando satélite GLOBALSTAR M046 [-][25651U]
[05/06/2019 15:38:36] (trackmngt) Módulo de potência energizado automaticamente para rastreo
[05/06/2019 15:38:36] (trackmngt) Rastreando satélite GLOBALSTAR M046 [-][25651U]
[05/06/2019 15:38:37] (trackmngt) Módulo de potência energizado automaticamente para rastreo
[05/06/2019 15:38:37] (trackmngt) Rastreando satélite GLOBALSTAR M046 [-][25651U]
[05/06/2019 15:38:38] (trackmngt) Módulo de potência energizado automaticamente para rastreo
[05/06/2019 15:38:38] (trackmngt) Rastreando satélite GLOBALSTAR M046 [-][25651U]
[05/06/2019 15:38:39] (trackmngt) Módulo de potência energizado automaticamente para rastreo
```

Figura 15: Log de eventos apresentando problema no módulo de potência.

Da mesma forma, caso haja algum problema na rede ou nas dependências do Qt (openSSL), não será possível acessar e realizar o download do catálogo de TLEs, e o log de eventos exibirá constantemente a mensagem de atualização das TLEs:

```
EventLog-2019-06-24.txt - Bloco de notas
Arquivo  Editar  Formatar  Exibir  Ajuda
[24/06/2019 13:41:08] (trackmngt) Atualização das TLEs
[24/06/2019 13:42:08] (trackmngt) Atualização das TLEs
[24/06/2019 13:43:08] (trackmngt) Atualização das TLEs
[24/06/2019 13:44:08] (trackmngt) Atualização das TLEs
[24/06/2019 13:45:08] (trackmngt) Atualização das TLEs
[24/06/2019 13:46:08] (trackmngt) Atualização das TLEs
[24/06/2019 13:47:08] (trackmngt) Atualização das TLEs
[24/06/2019 13:48:08] (trackmngt) Atualização das TLEs
[24/06/2019 13:49:08] (trackmngt) Atualização das TLEs
[24/06/2019 13:50:08] (trackmngt) Atualização das TLEs
[24/06/2019 13:51:08] (trackmngt) Atualização das TLEs
[24/06/2019 13:52:08] (trackmngt) Atualização das TLEs
[24/06/2019 13:53:08] (trackmngt) Atualização das TLEs
[24/06/2019 13:54:08] (trackmngt) Atualização das TLEs
[24/06/2019 13:55:08] (trackmngt) Atualização das TLEs
[24/06/2019 13:56:08] (trackmngt) Atualização das TLEs
[24/06/2019 13:57:08] (trackmngt) Atualização das TLEs
[24/06/2019 13:58:08] (trackmngt) Atualização das TLEs
[24/06/2019 13:59:08] (trackmngt) Atualização das TLEs
[24/06/2019 14:00:08] (trackmngt) Atualização das TLEs
[24/06/2019 14:01:08] (trackmngt) Atualização das TLEs
[24/06/2019 14:02:08] (trackmngt) Atualização das TLEs
[24/06/2019 14:03:08] (trackmngt) Atualização das TLEs
[24/06/2019 14:04:08] (trackmngt) Atualização das TLEs
```

Figura 16: Log de eventos apresentando problema na atualização das TLEs.

Por fim, como foi implementada uma rotina de reconexão automática do servidor MQTT, caso haja problema na rede ou no ip e porta de conexão, o log exibirá as tentativas de conexão da seguinte forma:


```
EventLog-2019-05-29.txt - Bloco de notas
Arquivo  Editar  Formatar  Exibir  Ajuda
[31/05/2019 14:48:06] (trackmngt) Servidor MQTT conectando
[31/05/2019 14:48:11] (trackmngt) Servidor MQTT desconectado
[31/05/2019 14:48:11] (trackmngt) Servidor MQTT conectando
[31/05/2019 14:48:16] (trackmngt) Servidor MQTT desconectado
[31/05/2019 14:48:16] (trackmngt) Servidor MQTT conectando
[31/05/2019 14:48:21] (trackmngt) Servidor MQTT desconectado
[31/05/2019 14:48:21] (trackmngt) Servidor MQTT conectando
[31/05/2019 14:48:26] (trackmngt) Servidor MQTT desconectado
[31/05/2019 14:48:26] (trackmngt) Servidor MQTT conectando
[31/05/2019 14:48:31] (trackmngt) Servidor MQTT desconectado
[31/05/2019 14:48:31] (trackmngt) Servidor MQTT conectando
[31/05/2019 14:48:36] (trackmngt) Servidor MQTT desconectado
[31/05/2019 14:48:36] (trackmngt) Servidor MQTT conectando
[31/05/2019 14:48:41] (trackmngt) Servidor MQTT desconectado
[31/05/2019 14:48:41] (trackmngt) Servidor MQTT conectando
[31/05/2019 14:48:46] (trackmngt) Servidor MQTT desconectado
[31/05/2019 14:48:46] (trackmngt) Servidor MQTT conectando
[31/05/2019 14:48:51] (trackmngt) Servidor MQTT desconectado
[31/05/2019 14:48:51] (trackmngt) Servidor MQTT conectando
[31/05/2019 14:48:56] (trackmngt) Servidor MQTT desconectado
[31/05/2019 14:48:56] (trackmngt) Servidor MQTT conectando
[31/05/2019 14:49:01] (trackmngt) Servidor MQTT desconectado
[31/05/2019 14:49:01] (trackmngt) Servidor MQTT conectando
[31/05/2019 14:49:06] (trackmngt) Servidor MQTT desconectado
```

Figura 17: Log de eventos apresentando problema na conexão com o servidor MQTT.

4.7 FILTRAGEM DAS PASSAGENS CURTAS

O software possuía uma falha no algoritmo de gera o cronograma de passagens a partir de uma TLE. É importante ressaltar que a função que gera o cronograma é chamada várias vezes, de forma que o algoritmo é rodado novamente.

O algoritmo funciona de forma semelhante ao método da bissecção para encontrar raízes. É realizada iterações em um dado intervalo, dividindo-o em espaços menores e é observada a elevação do satélite, para saber se este já cruzou o horizonte. A figura abaixo ilustra duas situações que podem ocorrer neste algoritmo:

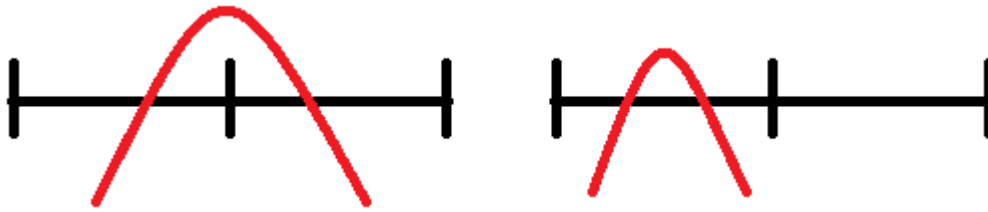


Figura 18: Casos do algoritmo de geração das passagens.

O caso da esquerda ilustra que no início do intervalo, a elevação estava negativa, já no final, se encontrava positiva. Logo, o algoritmo sabe que dentro deste intervalo, o satélite cruzou o horizonte e este intervalo será reduzido até que seja encontrado o momento exato do começo da passagem. De forma semelhante, o término da passagem é encontrado.

Porém, observando o caso da direita, existem passagens que começam e terminam dentro do intervalo de tempo proposto, ou seja, estas não entrariam no cronograma. O problema se dá pelo fato de que o algoritmo é executado diversas vezes e a cada vez, os momentos destes intervalos de tempo mudam de forma que, existe uma probabilidade de que em alguns casos, a passagem seja notada pelo algoritmo e em alguns casos não. Isto fazia com que passagens com duração menor que o intervalo de tempo pudessem sumir da interface.

Para resolver este problema, utilizou-se um intervalo de tempo para iteração com duração de 150 segundos e filtrou-se passagens com duração de 165 segundos, ou seja, estas passagens não entram no cronograma. Isto se justifica pelo fato de que a duração da passagem tem que ser maior que o intervalo de tempo e que passagens com esta duração possui pouca importância devido à sua qualidade baixa (pequena duração e baixa elevação).

4.8 MIGRAÇÃO DO SOFTWARE PARA LINUX

Atualmente, o software de gerenciamento de rastreamento é o único que está sendo executado no sistema operacional Windows, sendo que, para uma melhor integração com os demais softwares, bem como para planos futuros da estação, é

ideal que o software de gerência de rastreo seja migrado para o sistema operacional Linux. Para isso, alguns recursos devem ser atendidos:

1. Remover dependência do regedit (Windows) por parte da lista de satélites;
2. Remover dependência do regedit (Windows) por parte das configurações do software;
3. Remover dependência da biblioteca serial exclusiva para Windows;
4. Possibilitar a configuração dos diretórios do software.

Destes, já foram realizados o primeiro e o terceiro. Antes, a lista de rastreo era armazenada nos registros do Windows, porém, atualmente, estas informações são armazenadas em um arquivo .json na seguinte formatação:

```
1 nome: OBJECT AE
2 tle1: 1 43786U 18099AE 19204.18573463 -.00000239 00000-0 -16459-4 0 9993
3 tle2: 2 43786 97.7450 275.7911 0014573 208.4066 151.6361 14.95148545 34589
4 up_freq: 1.4586e+08
5 down_freq: 3
6 up_bitRate: 1200
7 down_bitRate: 1200
8 up_mod: AFSK
9 down_mod: AFSK
```

Figura 19: Formatação do arquivo .json.

O registro do Windows está mantido apenas de forma redundante, mas nenhuma leitura dos registros é feita por parte do software. Também foi removido do regedit a posição da estação, que também está contida em um arquivo .json.

4.8.1 Reimplementação da Comunicação Serial

A comunicação serial está configurada e descrita na classe *control*, a qual realiza a troca de comandos com a unidade de pilotagem da EMMN. Para a implementação da comunicação serial, migrou-se para a biblioteca *QSerialPort*, do Qt, retirando assim a dependência da biblioteca serial externa que antes era



utilizada e era exclusiva do sistema operacional Windows, estando mais próximo assim de garantir que o software tenha portabilidade para outros sistemas operacionais.

O protocolo de comunicação implementado é centrado nos seguintes comandos:

Comando	Sentido	Tamanho (Bytes)	Tipo
Set	PC→Arduino	6	QByteArray
State	PC←Arduino	7	QByteArray
State	PC→Arduino	1	QString
Power	PC→Arduino	1	QString
Ack	PC↔Arduino	1	QString
Nack	PC↔Arduino	1	QString

Tabela 02: Descrição dos comandos utilizados.

O comando *set* codifica o azimute e a elevação desejada em um conjunto de 4 bytes, ao qual é acrescentado um byte de cabeçalho (caractere “S”) e um byte de *checksum* para verificação de erro. O comando *state* de 1 byte realiza uma solicitação ao Arduino. O comando *state* de resposta retorna para o computador a posição atual da antena (azimute e elevação), bem como o estado dos relés que compõem a verificação da saúde do sistema, quando o comando. O comando *power* possui apenas um byte para acionar o módulo de potência que controla a antena. Os comandos *ack* e *nack* compõem as respostas aos comandos enviados, indicando se estes foram reconhecidos ou não, garantindo que o programa tome a devida decisão em caso de erro.

4.8.1.1 Buffer de Leitura

Como visto anteriormente, o comando *state* retorna um conjunto de bytes, que devem ser lidos de forma apropriada através da porta serial. Caso contrário, a informação pode ser perdida, fragmentada, entre outros problemas. Dessa forma, foi implementado um *buffer* para ler os dados da porta serial, descrito pelo fluxograma abaixo:

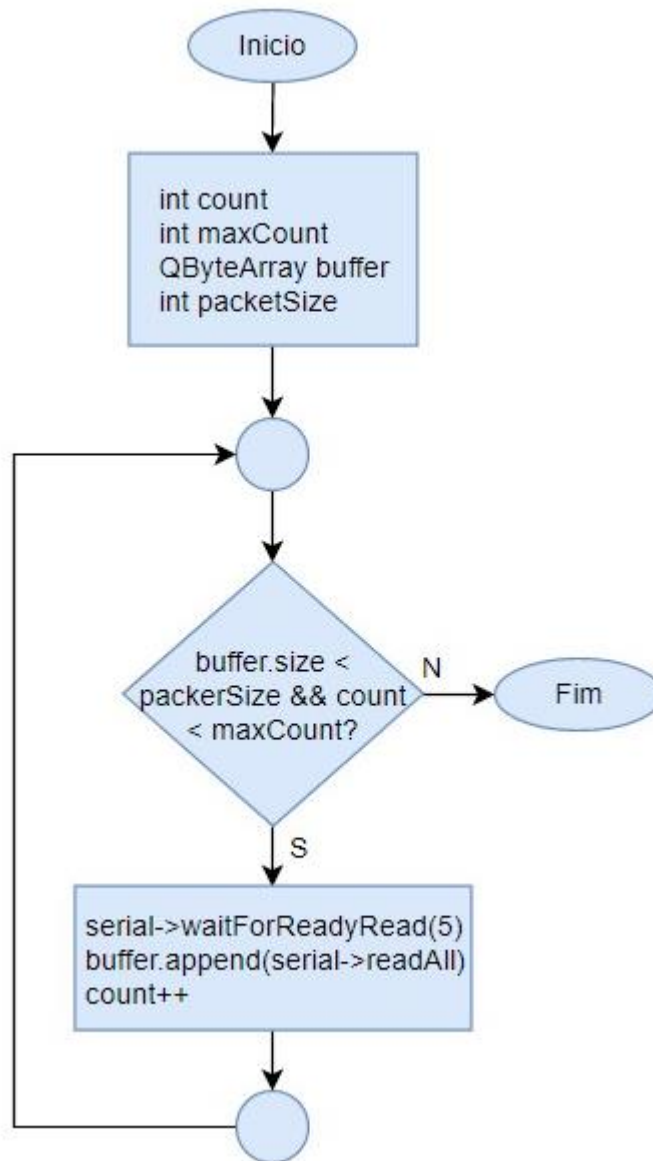


Figura 20: Fluxograma de descrição do *buffer* de leitura.



O buffer continua sendo alimentado de bytes até que atinja o tamanho do pacote esperado. No caso do comando *power*, o *packetSize* seria de 1 byte e no *state* de 7 bytes. O *timeout* de leitura é dado para que o loop não seja passado de forma quase instantânea, impossibilitando a leitura.

4.8.1.2 Verificação da Porta

Ao inicializar o software que realiza o gerenciamento do rastreamento da EMMN, bem como ao mudar a porta serial através das configurações do software, a seguinte sequência de tarefas será executada:

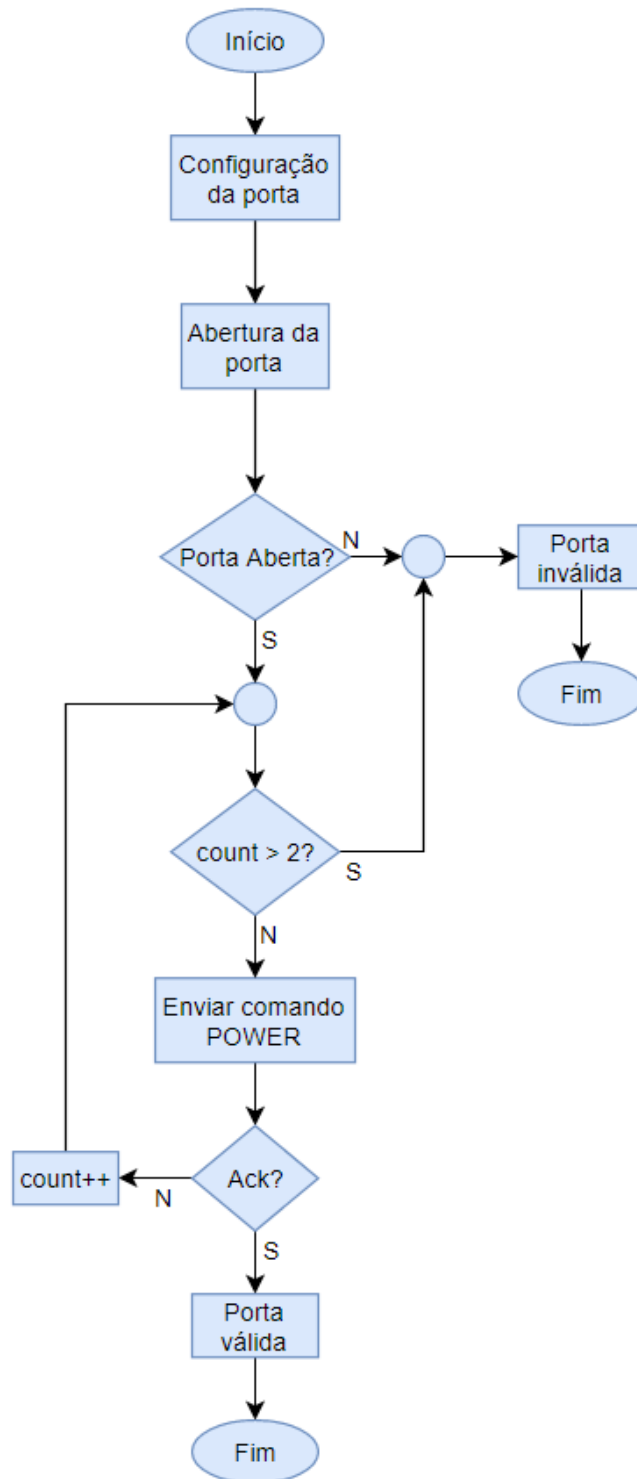


Figura 21: Fluxograma de verificação.



Ou seja, para que a porta seja reconhecida, o comando *power* é utilizado para teste. Sendo assim, ao inicializar o software, o módulo de potência será energizado para verificação da porta e, dependendo do modo de rastreamento, pode ser desenergizado em seguida automaticamente. No fluxograma, está implícito na verificação do *ack* a execução do *buffer* de leitura, uma vez que o comando *power* é enviado e é aguardada a resposta do seu reconhecimento.

4.8.1.3 Funcionamento Esperado

Após a verificação inicial da porta serial, caso o módulo de potência esteja energizado, o software solicitará constantemente os status do sistema, para exibir na interface. Dessa forma, espera-se que seja enviado o byte de solicitação dos status e que seja retornados os 7 de resposta durante toda a operação do sistema, sempre de forma alternada. Quando a antena está em algum modo de operação, o comando *set* também ficará sendo enviado constantemente enquanto a antena precisar se mover, também recebendo seu próprio *ack*. Vale ressaltar que, caso o Arduino passe um certo tempo sem receber comandos válidos, um *watchdog* irá desenergizar o sistema.



5. CONCLUSÕES

Parte do que foi proposto inicialmente foi concluído, sendo que o sistema da EMMN avançou muito nos últimos tempos. A partir de um sistema que só era capaz de realizar o apontamento para satélites, tornou-se possível melhorar o software de gerenciamento de rastreamento para atender a novas solicitações, bem como já é possível realizar a comunicação com satélites, tanto no envio quanto na recepção de informação.

Futuramente, a portabilidade do software para outros sistemas operacionais deve ser terminada, bem como a correção de eventuais problemas e a expansão dos parâmetros de entrada dos satélites de acordo com a necessidade dos clientes, uma vez que o rádio pode necessitar de mais informações para ser configurado apropriadamente para a recepção.



REFERÊNCIAS

- [1] QUEIROZ, K. I. P. M. Descrição Funcional do Subsistema de Controle e Rastreamento da Estação Multimissão de Natal (EMMN), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Natal. 2006.
- [2] SÁ, F. C. de. Software de rastreamento de satélites para uma estação solo de TT&C. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Natal. 2018
- [3] SÁ, F. C. de. Guia do programador. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Natal. 2018
- [4] SARAIVA, A. B. D. Descrição funcional do algoritmo de controle e rastreamento do arduino, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Natal. 2017.
- [5] SARAIVA, A. B. D. Descrição funcional do algoritmo de controle e rastreamento do PC, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Natal. 2017.
- [6] SARAIVA, A. B. D. Protocolo de comunicação entre o PC e o arduino - Descrição, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Natal. 2017.