

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**



**FEUP**

**Antenas e electrónica de geração do sinal RF  
das faces do VORSat**

Serafim Correia Ferreira

VERSÃO PROVISÓRIA

**Relatório de Preparação de Dissertação**

Realizado no âmbito do

**Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores  
Major Telecomunicações**

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Reis Cunha

Julho de 2011

# Índice

1. Introdução . . . . .	4
2. Estado da Arte . . . . .	5
a. Projecto Vorsat . . . . .	5
b. Sistema de Comunicação . . . . .	7
3. Trabalho Efectuado . . . . .	11
4. Plano de Trabalho . . . . .	12
a. Fases do Trabalho . . . . .	12
b. Planeamento do Trabalho . . . . .	13
c. Recursos a utilizar . . . . .	13
5. Anexos . . . . .	14
6. Referências . . . . .	15

## Lista de Imagens

Fig. 1 Satélite CubeSat . . . . .	5
Fig.2 Rampas de lançamento . . . . .	5
Fig.3 Satélite Vorskla . . . . .	6
Fig.4 Estudo da atitude . . . . .	6
Fig.5 Micro controlador . . . . .	7
Fig.6 Esquema do sistema a implementar . . . . .	8
Fig.7 Configuração com antenas patch . . . . .	8
Fig. 8 Configuração com antenas dipolo dobrado . . . . .	9
Fig.9 Invólucro da antena dipolo . . . . .	11
Fig.10 Configuração das antenas dipolo . . . . .	11
Fig.11 Resultados obtidos no 4NEC2 . . . . .	11

# Introdução

Neste trabalho serão indicados as directrizes a seguir na elaboração, construção e teste do sistema responsável pela comunicação, da atitude, entre o satélite *VorSat* e a estação terrestre.

A referida comunicação terá como objectivo transmitir, à estação terrestre, os sinais necessário para que se possa saber exactamente a atitude que o satélite tem no espaço em qualquer instante.

Uma vez que o satélite apresenta uma configuração cúbica, de aproximadamente 10 cm de aresta, serão utilizados 6 sistemas de transmissão, idênticos, em cada uma das faces.

Cada sistema será composto por um conjunto de antenas e um circuito electrónico responsáveis pelo tratamento do sinal digital, modulação e transmissão de forma controlada.

Por último, uma vez que são utilizados sinais de rádio frequência, recorreremos a uma frequência livre de licenciamento e que será de 2,45 GHz.

# Estado da Arte

Este projecto é parte integrante de um outro projecto mais ambicioso e já com alguma projecção nos meios de comunicação social, chamado de Vorsat. O sucesso do projecto Vorsat vai permitir elevar o nome da FEUP e em certo modo o nome de Portugal no desenvolvimento da tecnologia espacial.

## ➤ Projecto VORSAT

O projecto Vorsat é uma resposta a um desafio proposta à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) pela Agência Espacial Europeia (ESA) no âmbito de um outro projecto chamado de Cubesat em que permite às Universidades e empresas desenvolver, construir e lançar para o espaço pequenos satélites a um custo muito baixo.

A nível mundial, são já muitas as universidades e empresas interessadas nesta área da tecnologia espacial.

Como o seu nome indica, CubeSat, é um satélite em forma cúbica de dimensões muito reduzidas de aproximadamente 10cm de aresta, identificado como de tipologia 1U (1 unidade) existindo a possibilidade de agrupar dois ou três cubos idênticos, formando as tipologias 2U e o 3U.

Cada cubo deve respeitar escrupulosamente alguns requisitos como são as dimensões exacta, a massa de 10kg e o centro de massa estar no centro do cubo. Estes cubos vão servir de balastro aos foguetões da ESA, no lançamento de satélites de grandes dimensões, sendo libertados aproximadamente a 300km de altitude. A libertação é feita através de rampas próprias de lançamento dos micros satélites ou de libertação de balastro.

Os pequenos satélites são activados de forma automática, após a libertação do foguetão que os transporta, permitindo assim realizar as funções para o qual foram desenvolvidos, sendo normalmente de meros retransmissores. O tempo de vida destes pequenos satélites varia muito, podendo durar até mês e meio, e está dependente de três factores: da duração

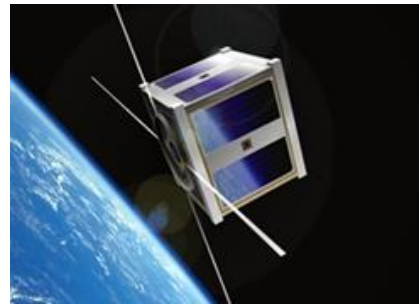


Fig. 1 Satélite CubeSat

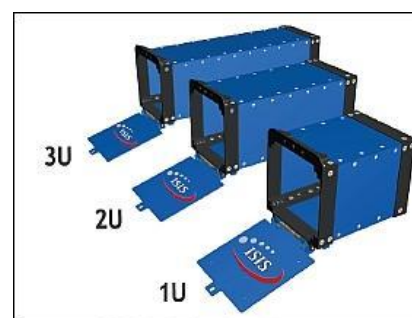


Fig.2 Rampas de lançamento

das baterias; da capacidade de captar energia através de pequenos painéis solares; e do tempo que leva o satélite até reentrar na atmosfera terrestre e desintegrar-se.

Referindo única e exclusivamente ao projecto Vorsat, de tipologia 1U, sobressai em pretender atingir objectivos mais ambiciosos.

Entre os vários objectivos podemos destacar:

- Envio de sinal, para a estação terrestre, de modo que seja possível determinar qual é o comportamento que o satélite tem no espaço, (estudo da atitude).
- Envio de sinal, para a estação terrestre, de modo a ser possível determinar a sua localização.
- Captação e gestão da energia, de modo a ser auto-suficiente em termos de energia eléctrica.
- Transporte duma cápsula reaproveitável, no seu interior, sendo libertada no momento em que o satélite faz a reentrada na atmosfera terrestre. Esta cápsula será libertada de modo a cair no oceano atlântico, preferencialmente, ao longo da costa portuguesa. A cápsula terá o seu próprio circuito eléctrico para o envio de sinais de localização.

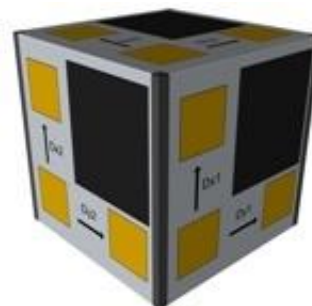


Fig.3 Satélite Vorsat

Concentrando no primeiro objectivo mencionado, o estudo da atitude do satélite será realizado através do envio de sinais emitidos pelas antenas existentes em cada face. Para tal cada face do satélite será constituído por um conjunto de antenas e posicionadas de modo que quando transmitindo em forma alternada, duas a duas, seja possível estudar o atraso do sinal em quadratura.

Uma vez que o sinal a transmitir é conhecido e é de frequência de 2,45GHz ( $\lambda=12.2\text{cm}$ ) o atraso do sinal, é determinado utilizando duas antenas distanciadas de uma distância  $d$  conhecida e transmitindo simultaneamente o código que identifica cada antena. Se uma antena estiver ligeiramente mais afastada, implica que na recepção, na estação terrestre, os sinais captados chegaram desfasados. Desta forma, sabendo a distância entre as antenas transmissoras, localizadas na superfície plana, e sabendo o desfasamento dos sinais captados é possível determinar o ângulo de inclinação que as duas antenas fazem em relação à estação terrestre.

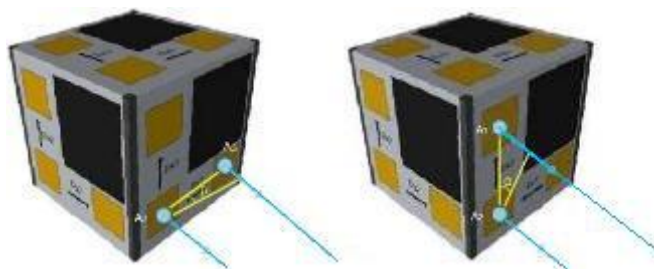


Fig.4 Estudo da atitude

Alternando para um conjunto ortogonal de antenas, da mesma

superfície, e realizando o mesmo processo é possível determinar por completo a inclinação da superfície plana do satélite. Noutras palavras é possível determinar a direcção do vector normal à superfície onde estão as antenas transmissoras em relação à estação terrestre.

Este processo repete-se alternadamente para as várias faces do satélite. Este processo permite determinar a atitude completa do satélite e com alguma redundância nos dados, o que nos vai permitir aprimorar os resultados calculados.

## ➤ Sistema de Comunicação

O presente trabalho foca unicamente a comunicação entre o satélite e a estação terrestre, destinado ao estudo da atitude.

Sendo este um sistema muito específico com características muito restritivas, quer em dimensões, quer em peso e em energia consumida, torna-se imperioso o seu desenvolvimento e construção em detrimento de qualquer sistema comercial semelhante.

Uma vez que a configuração do satélite é cúbica, este, será formado por 6 unidades de comunicações, idênticas, estando uma em cada face.

Cada unidade, de dimensões físicas inferiores a 10cm x 10cm, é construída em PCB (Printed Circuit Board), de substrato FR4, sendo impressa numa face as antenas necessárias à comunicação e na outra o circuito eléctrico, onde serão inseridos os componentes electrónicos SMD (Surface Mounting Devices).

Estas unidades serão desenvolvidas inicialmente para operar autonomamente umas das outras.

Como a gestão da energia eléctrica, no satélite, vai ser um factor crítico, as unidades vão operar de forma alternada e em modo cíclico, permitindo, desta forma, entregar toda a energia disponível para uma só unidade.

Cada uma destas unidades é dividida em vários blocos funcionais:

- Circuito de potência ou andar de potência
- Circuito Oscilador
- Conversor D/A
- Modulador I/Q
- Micro controlador
- Antenas

Tendo sempre presente a poupança de energia, existe a hipótese de optar por o bloco “Oscilador” ser comum às várias unidades de comunicação, com a vantagem de facilitar o sincronismo entre as unidades e a frequência de operação ser comum aos vários blocos de cada unidade.

Cada unidade será controlada por um micro controlador, o



Fig.5 Micro controlador

qual vai colocar os vários blocos nos diferentes estados de operação conforme o bloco, ligado (ON), desligado (OFF) e repouso (standby SBY). Neste caso vamos utilizar o micro controlador MSP 430 devido ao seu baixíssimo consumo e ao seu bom desempenho realizado noutras experiências em micro satélites.

O funcionamento de cada sistema, basicamente, consiste no envio de um código digital constituído entre 8 a 12 bits (ainda a definir) e identificativo de cada antena.

O código digital é convertido em dois sinais analógico representando as componentes  $I$  e  $Q$ , através de dois conversor D/A, sendo posteriormente modulado e amplificada a sua potência.

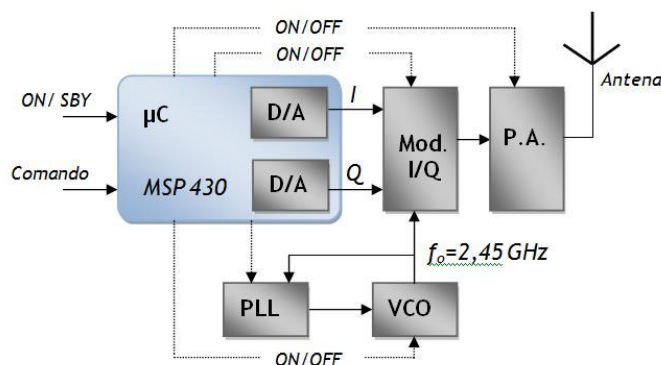


Fig.6 Esquema do sistema a implementar

Para a modulação recorre-se a um modulador I/Q a uma frequência de modulação igual a  $f_0=2,45\text{GHz}$  e para a amplificação de potência recorre-se a um amplificador de potência.

Por último, o sinal modulado, com a potência desejada, é então entregue a uma antena que o irradia para o espaço.

Devido à precisão necessária para a frequência de modulação  $f_0$  vamos utilizar um circuito oscilador controlado por voltagem (VCO) realimentado com uma PLL, obtendo assim a frequência desejada com a precisão necessária para o projecto.

As antenas, elemento importante para a transmissão do sinal, deverão ter um rendimento de radiação o mais elevado possível de modo que toda a energia entregue à antena seja irradiada. Resulta que devido às características do projecto o tipo de antenas a utilizar apresentam um rendimento muito baixo, com grandes perdas de energia devido a serem implementadas em placa PCB com superfície condutora a seguir ao substrato. Existindo dois tipos possíveis de antenas a usar e que estão a ser alvo de estudo e são as Patch e as Dipolo.

O primeiro tipo de antenas levanta dois problemas importantes:

- Ocupa uma área considerável na superfície da face do satélite, área importante para os painéis solares, sendo necessárias 3 antenas por face.
- O rendimento da antena é muito baixo.

O segundo tipo de antenas:



Fig.7 Configuração com antenas patch



- A utilização de placas PCB com superfície condutora a seguir ao substrato limita muito o rendimento da antena.
- São necessárias 4 antenas por face, apesar da área ocupada por cada antena ser menor do que as anteriores.

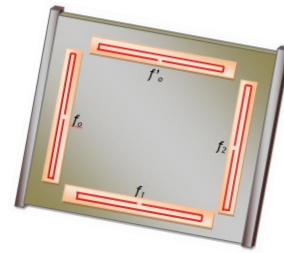


Fig. 8 Configuração com antenas dipolo dobrado

Uma vez que o satélite viaja numa orbita polar baixa e na hipótese de realizar passagem de aproximadamente 90 min/cada implica que ao passar por cima da cidade do Porto na passagem seguinte irá passar a aproximadamente a 290km a oeste desta.

Assim como também é conveniente começar a receber o sinal sempre que o satélite aparecer no horizonte. Isto implica que as antenas transmissoras terão que transmitir com uma potência suficiente para superar uma distância muito superior à altitude a que ele se encontra.

Através de simples operações é fácil constatar que para diferentes ângulos de observação sobre a linha do horizonte a distância de avistamento varia de forma considerável.

Podemos observar na seguinte tabela alguns valores tendo em consideração a curvatura terrestre e o raio da terra de aproximadamente 6.36x10<sup>6</sup> m e que o satélite se encontra a 300km de altitude.

Inclinação em relação ao Horizonte (°)	Distância entre o satélite e a estação terrestre	Tempo aproximado de observação (min.)
5°	1.498 Km	6,48 min
10°	1.160 Km	4,94 min
15°	926 Km	3,86 min
20°	764 Km	3,09 min
25°	648 Km	2,53 min
30°	564 Km	2,10 min
35°	501 Km	1,77 min
40°	453 Km	1,49 min
45°	415 Km	1,26 min

Tabela 1 - Valores para uma altitude de 300Km

Um outro aspecto a realçar é que a potência do sinal recebida

$P_r = W * A_r$ , no receptor depende da densidade de potência do sinal captado (W) e do ganho da antena receptora ( $A_r$ ). Como não é fácil alterar o ganho da antena, implica que a densidade de potência do sinal recebido deve ser o suficiente para poder ser detectado. Sendo este dependente da potência do sinal emitido, do ganho da antena emissora e inversamente proporcional à distância ao quadrado. Significando com isto que a potência decai muito rapidamente com o aumento da distância.

$P_e$  - Potência emitida

$G_a$  - Ganho da antena

d - Distância entre satélite e estação terrestre

W - Densidade de potência à distância d

$$W = \frac{P_e * G_a}{4 * \pi * d^2}$$

Portanto a potência emitida deve ser rentabilizada ao máximo pelo que é imperioso o uso de antenas eficientes e com bom ganho.

Também da tabela podemos constatar que quanto maior o tempo de observação do satélite, na estação terra, maior deve ser a potência a transmitir pelas antenas já que a distância entre o satélite e a estação terrestre no momento de inicial de final da observação é maior.

Portanto, cada face exterior do satélite será constituída por uma painel solar, co-planar com a placa PCB, uma antena para transmissão do sinal de localização (GPS), impressa na placa PCB e as antenas para transmissão do sinal que avalia a atitude do satélite. Com isto, o espaço disponível, de cada superfície, é muito reduzido o que implica uma cuidadosa gestão do mesmo.

# Trabalho efectuado

Como são as antenas um elemento crucial para o envio do sinal, gerado no satélite, e grande parte do consumo de energia recai sobre elas, considero que o estudo destes elementos deve ser o mais extremado possível de modo a obter o máximo rendimento de radiação.

Neste sentido, e sabendo que as antenas dipolo apresenta melhor desempenho que as antenas patch iniciei o estudo considerando a hipótese de as usar ou de utilizá-las como referência.

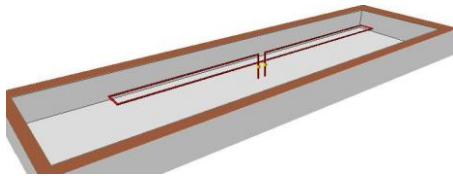


Fig.9 Invólucro da antena dipolo

Outro aspecto que reforça a hipótese no uso de antenas dipolo é o comprimento de meio onda ser de  $\lambda/2=6,1$  cm, existindo comprimento no satélite para a sua implementação.

Testes efectuado, no software 4NEC2, revelaram que se inserir um dipolo dobrado dentro de um invólucro condutor e em que as superfícies deste estejam distanciadas num mínimo de 10mm da antena, é possível obter bons resultados.

Este sistema impede que as antenas radiem para dentro do satélite e a antena não seja afectada pela superfície condutora da placa PCB.

Esta possível solução levante o problema de ser necessárias 4 antenas em cada face do satélite.

Um outro inconveniente deste método é o aparecimento de lóbulos laterais.

Apesar destas particularidades, com esta configuração, não deixa ser uma boa alternativa a ser analisada.

Exemplo disso é a simulação feita com a antena afastada de 6 mm do invólucro:

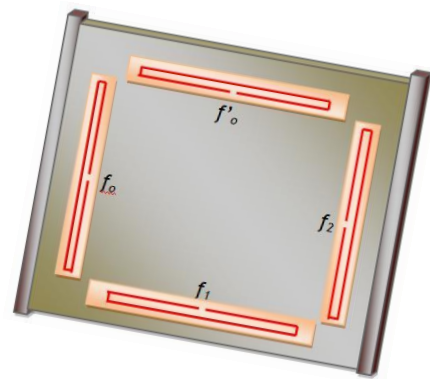


Fig.10 Configuração das antenas dipolo

Filename	Antena-Satelite-3.out	Frequency	2450	Mhz
		Wavelength	0.122	mtr
Voltage	436 + j0 V	Current	0.11 - j0.59 A	
Impedance	136 + j707	Series comp.	0.092	pF
Parallel form	3808 // j733	Parallel comp.	0.089	pF
S.W.R. 50	76.5	Input power	100	W
Efficiency	100	Structure loss	0	W
Radiat-eff.	92.06	Network loss	0	W
RDF [dB]	9.01	Radiat-power	100	W

Fig.11 Resultados obtidos no 4NEC2

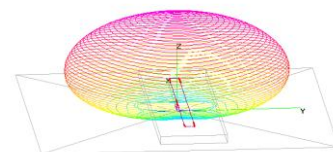


Fig.12 Diagrama de radiação do dipolo

# Plano de Trabalho

## ➤ Fases do trabalho

O trabalho a ser desenvolvido durante esta dissertação pode ser dividido em 7 partes distintas.

- **Teste minucioso de vários tipos de antenas de modo a seleccionar a antena que melhores prestações apresente.** - a selecção de um tipo de antena com grande eficiência de radiação vai permitir uma maior economia de energia.
- **Dimensionamento dos componentes discretos do circuito a produzir.**
- **Desenvolvimento do código para o micro controlador.** - Como o circuito electrónico vai ser controlado por um micro controlador, este terá que ser programado para desempenhar as funções pretendidas.
- **Teste do circuito com os componentes discretos.** - Com o objectivo de despistar possíveis falhas no projecto.
- **Desenho de todo o circuito para uma placa PCB.** Nesta fase será considerado o espaço disponível e que a placa tem dimensões inferiores a 10cm x 10cm.
- **Teste da placa PCB com os componentes todos já integrados e miniaturizados.** Com o objectivo de comparar os resultados obtidos com os calculados teoricamente ou por simulação e verificar se os mesmos estão dentro dos parâmetros desejados.
- **Escrita da Dissertação.** Esta será escrita ao longo da Dissertação ficando para último os capítulos referentes à conclusão dos resultados.

## ➤ Planeamento do trabalho

Definidas as várias etapas do trabalho, para a elaboração da dissertação, foi feito uma calendarização das mesmas recorrendo ao diagrama de Gantt, com a distribuição aproximada do trabalho ao longo do tempo.

ID	Nome da Tarefa	Início	Conclusão	Duração	Set 2011				Out 2011				Nov 2011			Dez 2011			Jan 2012				
					4-9	11-9	18-9	25-9	2-10	9-10			6-11	13-11	20-11	4-12		25-12	1-1	8-1	15-1	22-1	29-1
1	Criar pagina Web	01-09-2011	14-09-2011	10d	[Barra azul]																		
2	Estudo de vários tipos de antenas	05-09-2011	27-09-2011	17d	[Barra azul]																		
3	Dimensionar os componentes discretos do circuito a produzir	28-09-2011	20-10-2011	17d	[Barra azul]																		
4	Desenvolver o código para o micro controlador	21-10-2011	11-11-2011	16d	[Barra azul]																		
5	Teste e análise do circuito com os componentes discretos	14-11-2011	06-12-2011	17d	[Barra azul]																		
6	Desenho de todo o circuito para uma placa PCB	06-12-2011	28-12-2011	17d	[Barra azul]																		
7	Teste da placa PCB com os componentes integrados	28-12-2011	20-01-2012	18d	[Barra azul]																		
8	Escrita da Dissertação	20-09-2011	27-01-2012	94d	[Barra azul]																		

## ➤ Recursos a utilizar

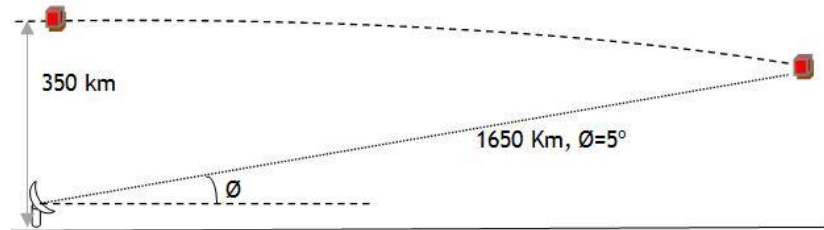
Para a elaboração deste projecto vai ser necessário a utilização de várias ferramentas de apoio. Sem elas não será possível avaliar os resultados pretendidos.

Sem pretender elaborar uma lista exaustiva e desnecessária apresento alguns tópicos indicativos dos meios necessários.

- Software de simulação para o estudo da radiação de antenas e circuitos electrónicos, HFSS e/ou 4NEC2
- Ferramentas de desenho de CAD para a elaboração da respectiva placa PCB, ex. Eagle.
- Laboratório de matéria electrónica para a elaboração do projecto.
- Câmara anecoica para avaliar o desempenho rádio eléctrico do circuito.
- etc.

# Anexos

Cálculos da distância e do tempo de observação



$$R_1 = 6,36 \times 10^6 \text{ km}$$

$$R_2 = R_1 + 350 \text{ km}$$

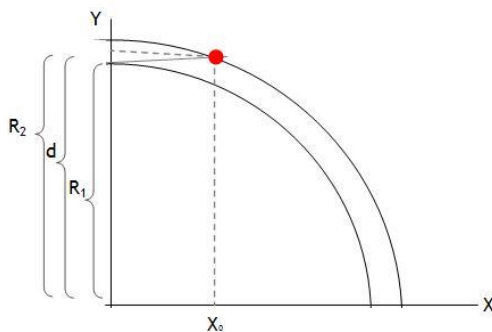
$$m = \tan \phi$$

$$\left. \begin{aligned} X^2 + Y^2 &= R_2^2 \\ Y &= R_1 + m * X \end{aligned} \right\} X^2 + (R_1 + m * X)^2$$

$$X^2 + R_1^2 + 2 * R_1 * m * X + m^2 * X^2 = R_2^2$$

$$(1 + m) * X^2 + 2 * R_1 * m * X + R_1^2 - R_2^2 = 0$$

$$X_i = \frac{-2 * R_1 * m \pm \sqrt{(2 * R_1 * m)^2 - 4 * (1 + m^2)(R_1^2 - R_2^2)}}{2 * (1 + m^2)}$$



$$d = \sqrt{R_2^2 - X_i^2}$$

Distância entre estação terrestre e o satélite

$$\text{Distância} = \sqrt{X_i^2 + (d - R_1)^2}$$

O tempo de passagem, na hipótese do satélite demorar 90'' a dar uma volta, será:

$$\phi = \left( 90^\circ - \tan^{-1} \left( \frac{d}{X_i} \right) \right) * 2$$

$$90'' \rightarrow 360^\circ$$

$$t \leftarrow \phi$$

# Referências

As referências indicadas está muito aquém do numero de sites e de documentos consultados.

Consulta de diversos sites:

- 1) <http://www.mikrocontroller.net/en/msp430>, última consulta Maio de 2011.
- 2) [http://cubesat.org/images/Papers/antenna\\_paper.pdf](http://cubesat.org/images/Papers/antenna_paper.pdf); última consulta Junho de 2011
- 3) [http://cubesat.org/images/developers/cds\\_rev12.pdf](http://cubesat.org/images/developers/cds_rev12.pdf), última consulta Junho de 2011
- 4) <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/235022/LINER/LT5572.html>, Linear Technology. Lt5572 - 800mhz to 2.7ghz high linearity direct conversion quadrature demodulator - linear technology, última consulta
- 5) Analog Devices. Aduc7019bcpz62i, Janeiro 2011.  
[http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/ADUC7019\\_7020\\_7021\\_7022\\_7024\\_7025\\_7026\\_7027\\_7028.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADUC7019_7020_7021_7022_7024_7025_7026_7027_7028.pdf).

Consulta de diversa literatura:

- 1) Andrew S. Tanenbaum. Computer Networks, Fourth Edition. Prentice Hall, 2003.
- 2) "MANUAL FOR ICAO AERONAUTICAL MOBILE SATELLITE (ROUTE)SERVICE" Part 2- IRIDIUM, Março de 2007.
- 3) Christopher Redding Christophe. Overview of LEO Satellite Systems. 1999.
- 4) John G. Proakis. Digital Communications, Fourth Edition. McGraw-Hill, 2001.
- 5) T. Aulin e C. Sundberg. "An Analysis of Orthogonal Frequency-division Multiplexing for Mobile Radio Applications". IEEE Trans. on Comm., Vol. 29(3):pags. 196{209, Março de 1981.