

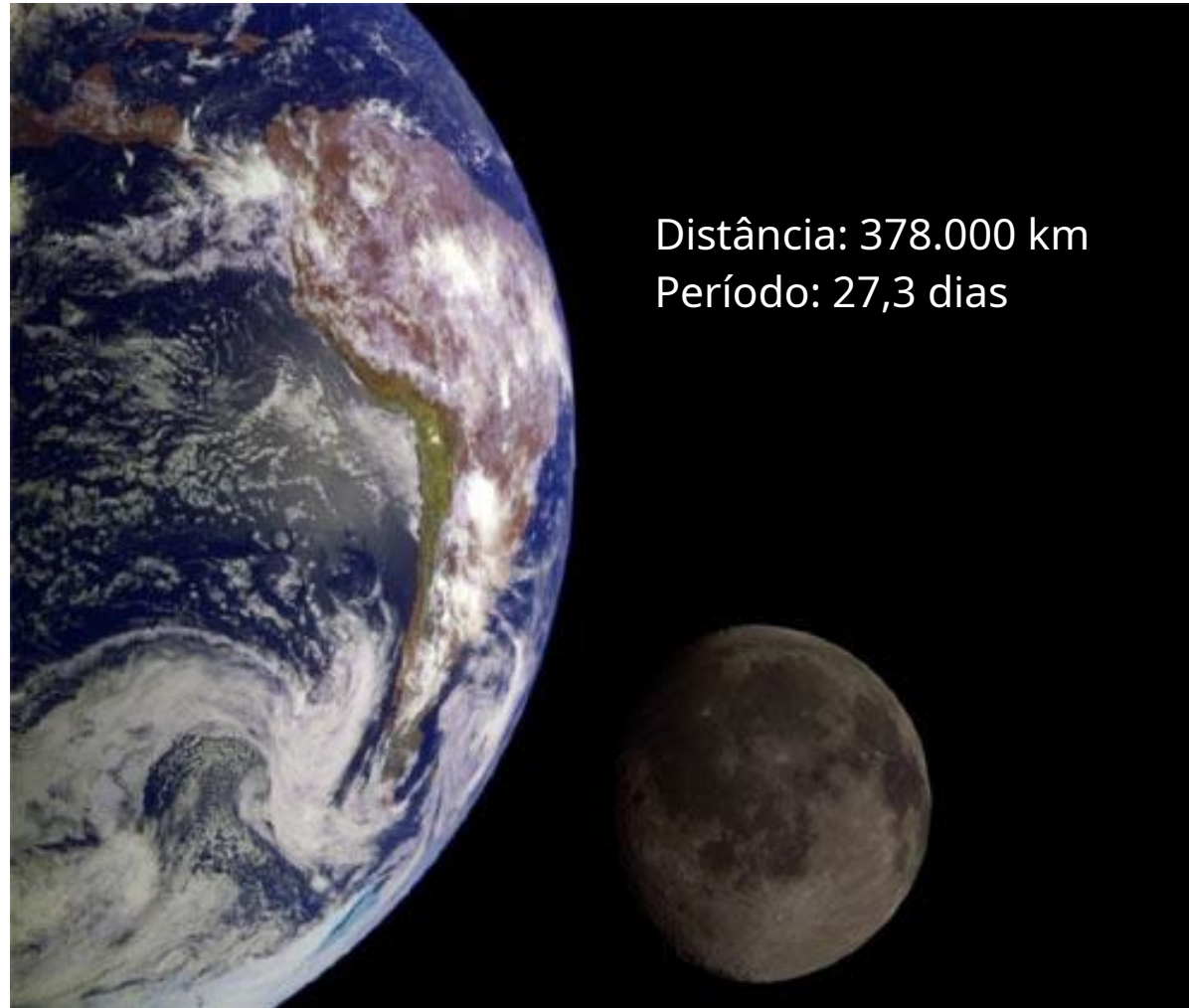
Redes de Satélite

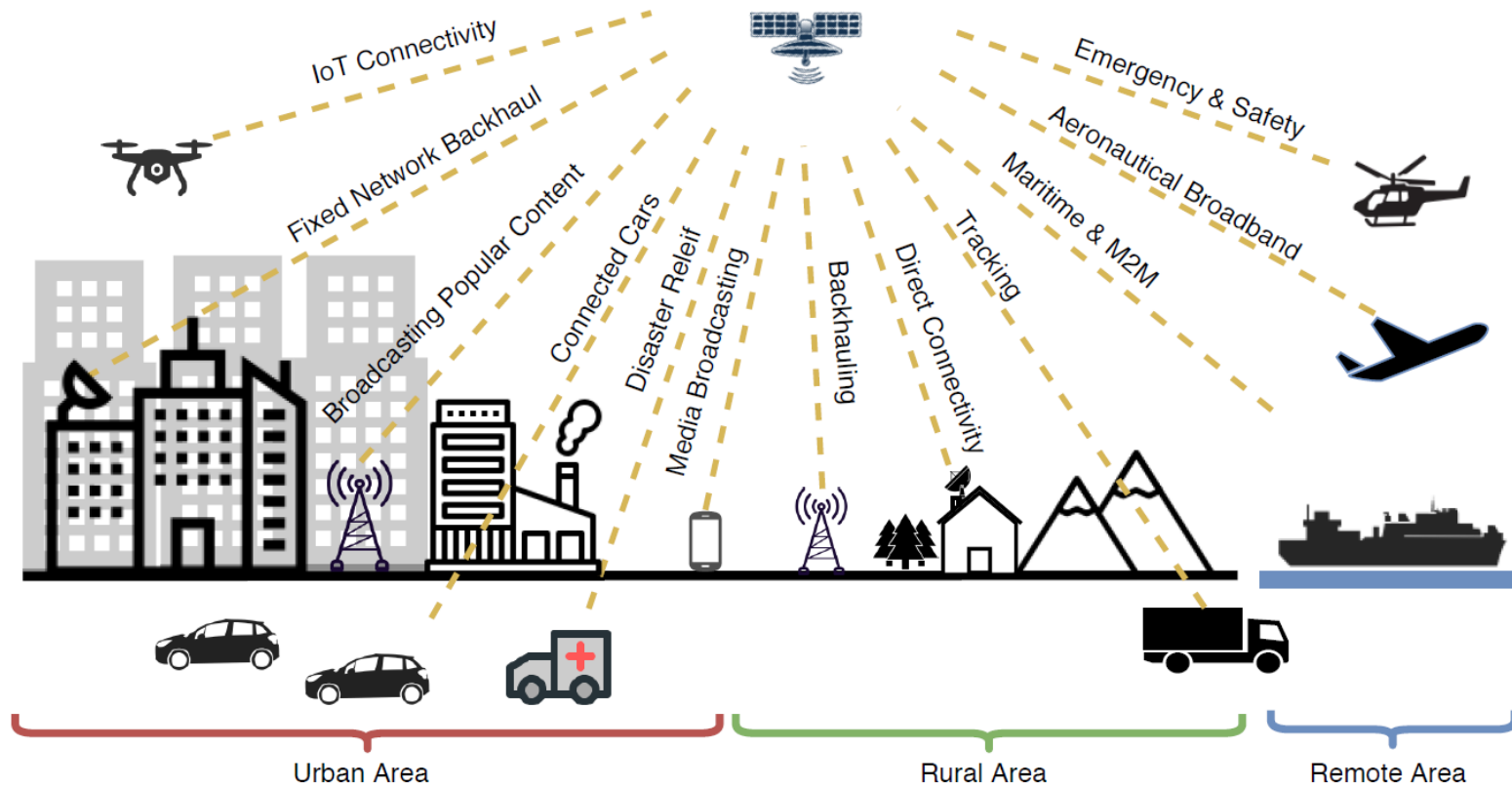
Redes de sensores sem fio

Daniel Corujo, dcorujo@ua.pt
Francisco Fontes, fontes@ua.pt
2023/2024

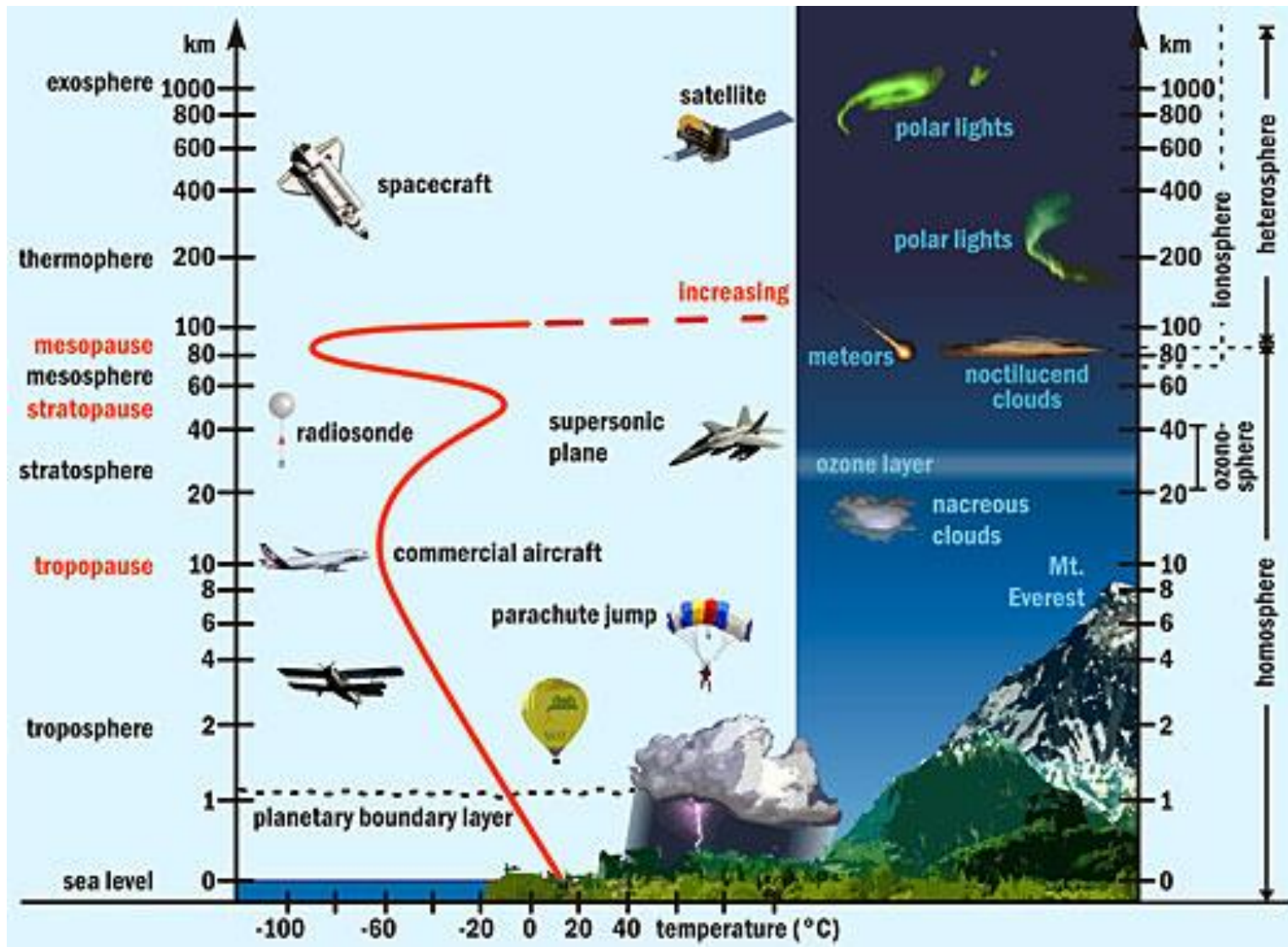
Redes de satélite

SATÉLITES





atmosfera da Terra



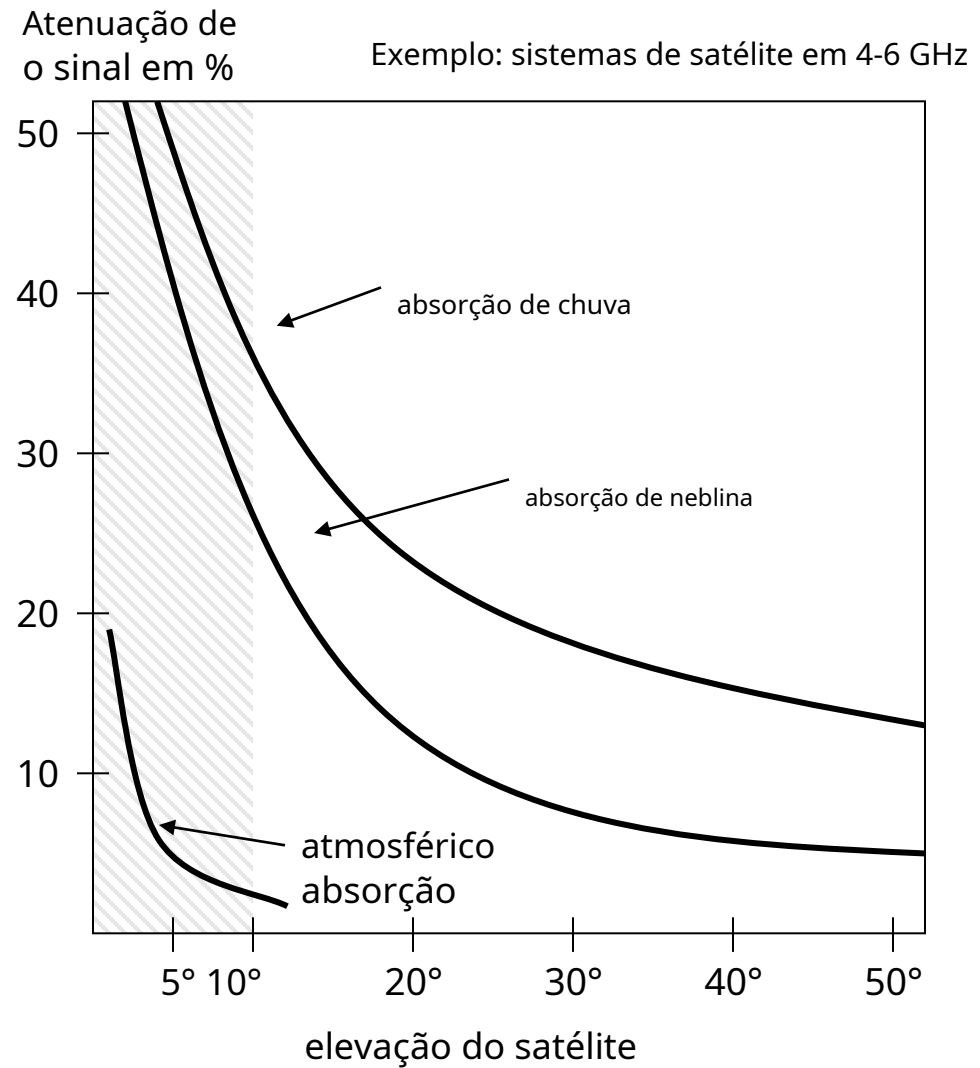
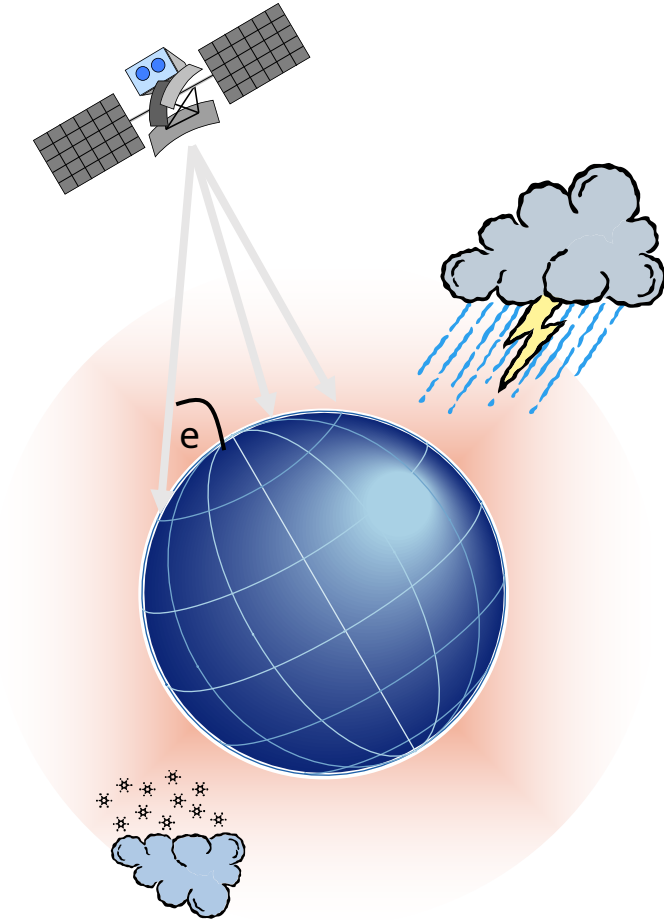
Fundamentos

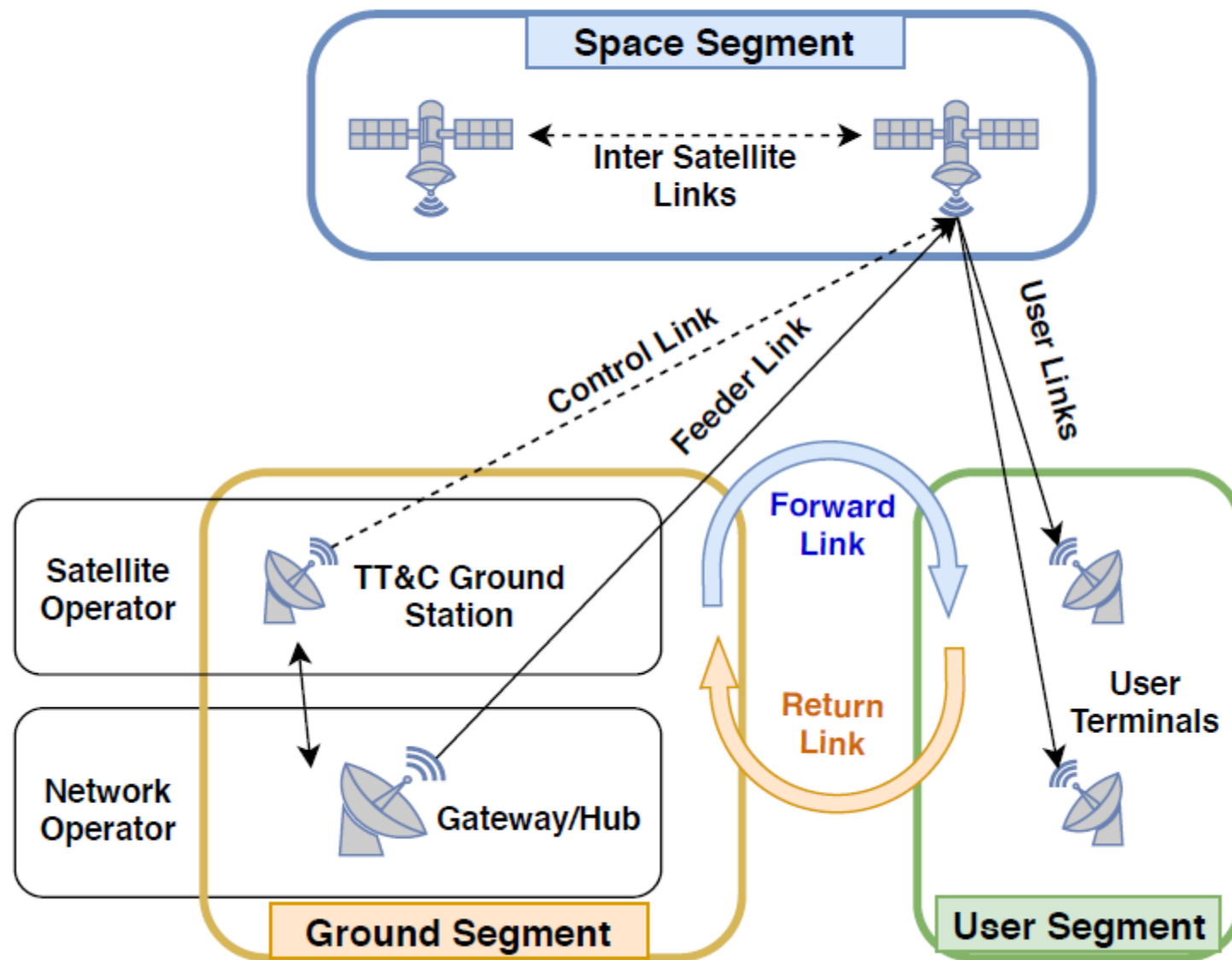
- ☐ órbitas elípticas ou circulares
- ☐ o tempo de rotação completo depende da distância satélite-terra
- ☐ inclinação: ângulo entre a órbita e o equador
- ☐ elevação: ângulo entre o satélite e o horizonte
- ☐ LOS (Line of Sight) ao satélite necessário para conexão
 - alta elevação necessária, menor absorção devido, por exemplo, a edifícios
- ☐ Uplink: conexão estação base - satélite
- ☐ Downlink: conexão satélite - estação base
- ☐ frequências normalmente separadas para uplink e downlink
 - transponder usado para enviar/receber e mudar de frequências
 - transponder transparente: apenas mudança de frequências
 - transponder regenerativo: adicionalmente regeneração de sinal

Recursos de redes de satélite

- **Efeitos da mobilidade por satélite**
 - A topologia é dinâmica.
 - As alterações de topologia são previsíveis e periódicas.
 - O tráfego é muito dinâmico e não homogêneo.
 - As transferências são necessárias.
- **Limitações e capacidades dos satélites**
 - A potência e a capacidade de processamento integrada são limitadas.
 - Implementar a tecnologia de ponta é difícil.
 - Os satélites têm uma natureza de transmissão.
- **Natureza das constelações de satélites**
 - Maiores atrasos de propagação.
 - Número fixo de nós.
 - Estrutura altamente simétrica e uniforme.

Atenuação atmosférica





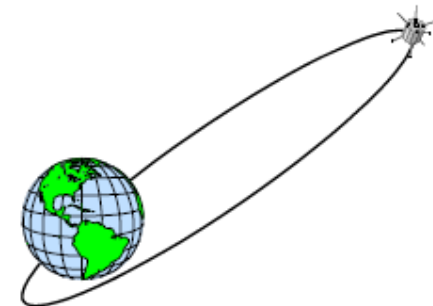
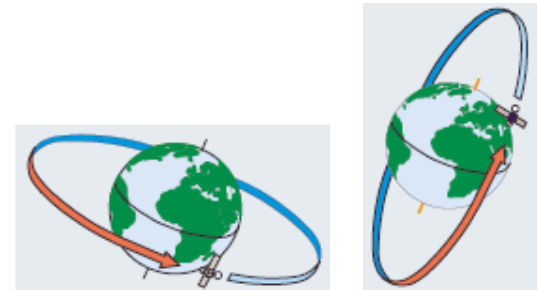
- Os links ascendentes e descendentes de satélite podem operar em diferentes bandas de frequência:

Frequency Bands	Downlink Channel (DL)	Uplink Channel (UL)	
L Band	1.535-1.56 GHz	1.635-1.66 GHz	Comunicações móveis/fixas, GPS
S Band	2.5-2.54 GHz	2.65-2.69 GHz	Comunicações diretas para sábadado
C Band	3.7-4.2 GHz	5.9-6.4 GHz	TV bcast., algum Wi-Fi, telefones e radares meteorológicos
X Band	7.25-7.75 GHz	7.9-8.4 GHz	Comunicações do espaço profundo.
Ku Band	10-13 GHz	14-17 GHz	Backhails, estúdios de TV
Ka Band	18-20 GHz	27-31 GHz	Radares em aviões militares

- O up-link é um link ponto a ponto altamente direcional
- O link descendente pode ter uma área ocupada fornecendo cobertura para uma área substancial de “feixe pontual”.

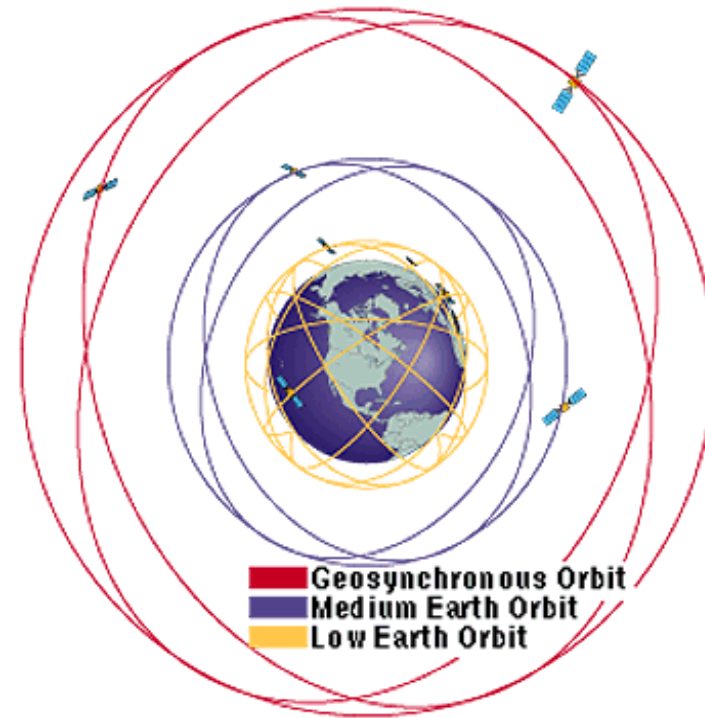
Tipos de órbitas de satélite

- Com base na inclinação, “ i ”, sobre o plano equatorial:
 - Órbitas Equatoriais acima do equador da Terra ($i=0^\circ$)
 - As órbitas polares passam por ambos os pólos ($i=90^\circ$)
 - Outras órbitas chamadas órbitas inclinadas ($0^\circ < i < 90^\circ$)
- Baseado na excentricidade
 - Circular com centro no centro da Terra
 - Elíptico com um foco no centro da Terra

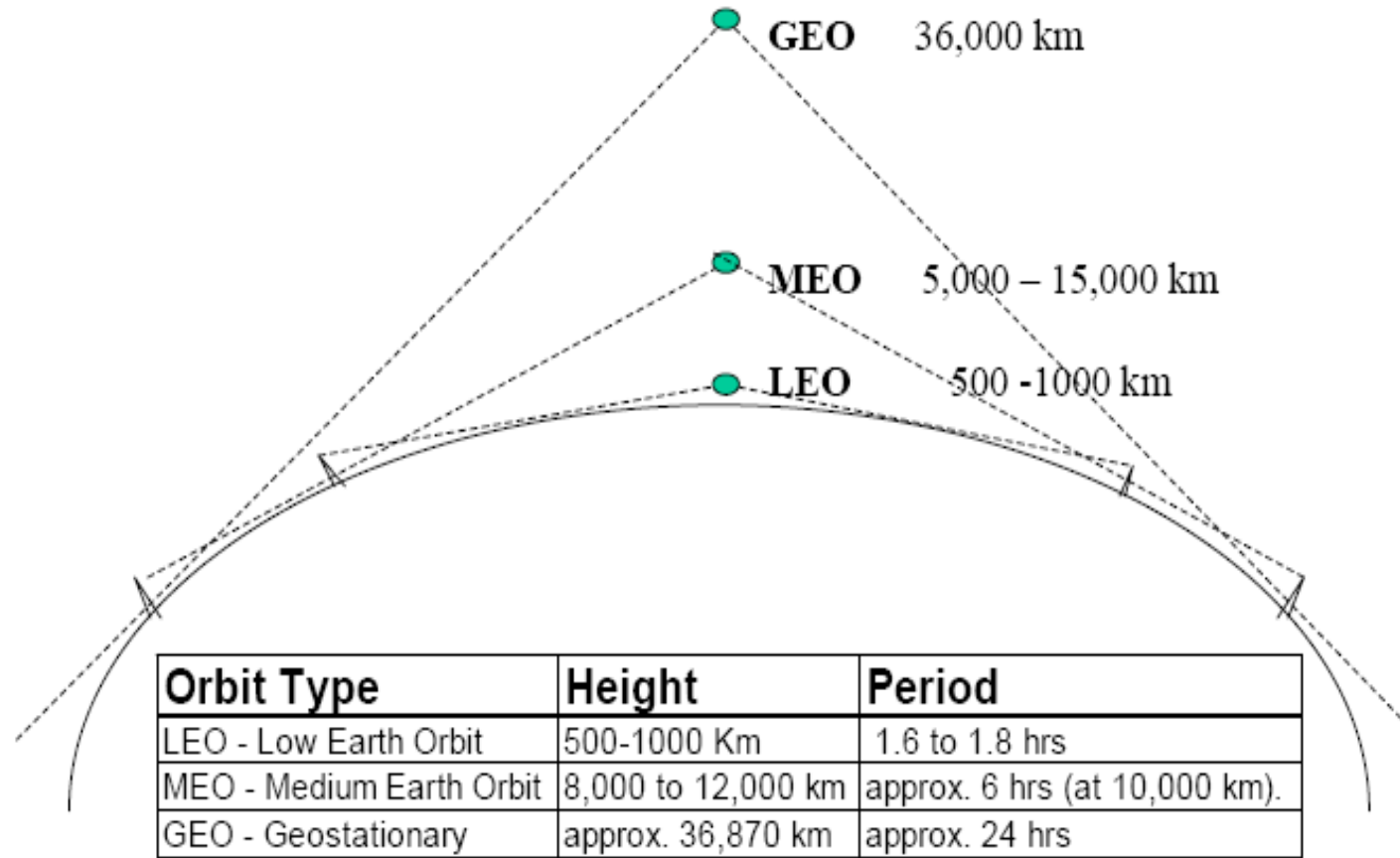


Tipos de redes baseadas em satélite

- Com base na altitude do satélite
 - GEO – Órbitas Geoestacionárias
 - 36.000 km = 22.300 milhas, equatorial, alta latência
 - MEO – Órbitas Terrestres Médias
 - Alta largura de banda, alta potência, alta latência
 - LEO – Órbitas Terrestres Baixas
 - Baixo consumo de energia, baixa latência, mais satélites, tamanho reduzido
- VSAT
 - Satélites de abertura muito pequena
 - WANS privadas



Órbitas de satélite – Outra perspectiva



GEO - Órbita Geoestacionária

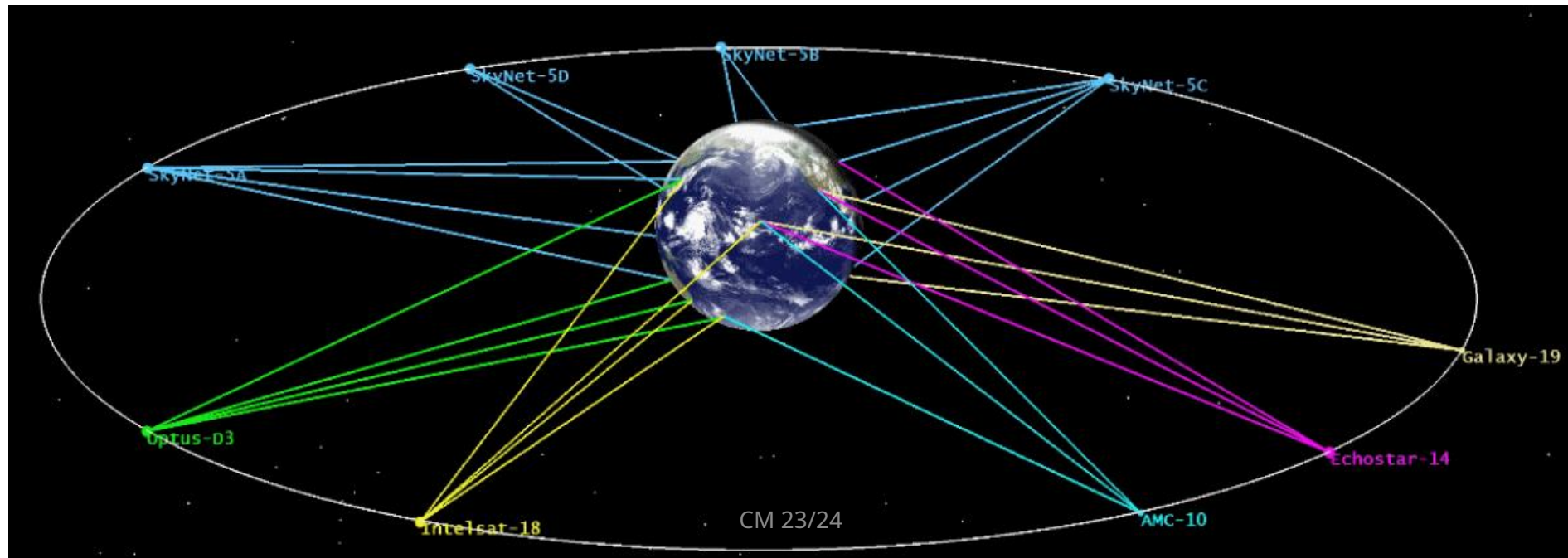
-No plano equatorial

-Período orbital = 23 h 56 m 4,091 s

= 1 dia sideral*

-O satélite parece estar estacionário em qualquer ponto do equador:

- A Terra gira na mesma velocidade que o satélite
-
-



Satélites GEO

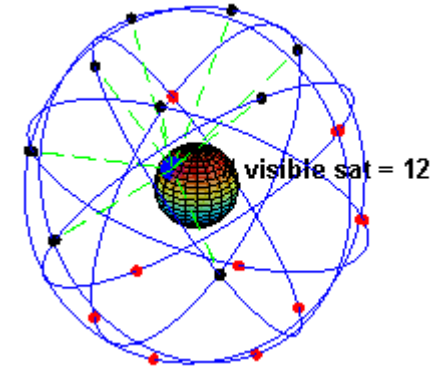
- Sem transferência
- Atraso de propagação unidirecional: 250-280 ms
- 3 a 4 satélites para cobertura global
- Usado principalmente em transmissão de vídeo
- Outras aplicações:
 - Previsão do tempo, comunicações globais, aplicações militares
- Vantagem: adequado para serviços de transmissão
- Desvantagens: Longo atraso, alta atenuação de espaço livre

Satélites MEO

- Atraso de propagação unidirecional: 100 – 130 ms
- 10 a 15 satélites para cobertura global
- Transferência pouco frequente
- Período de órbita: ~6 horas
- Usado principalmente na navegação
 - GPS, Galileu, Glonass
- Comunicações: Inmarsat, ICO

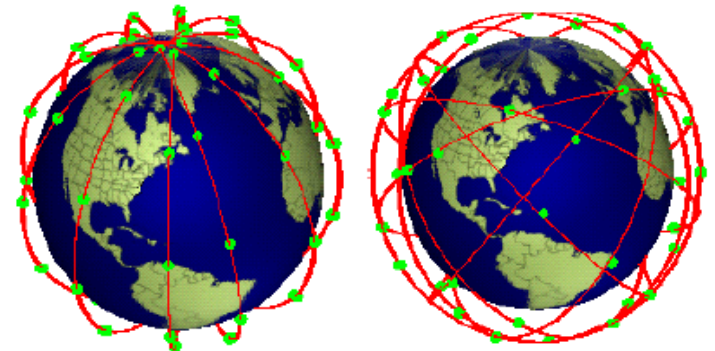
Exemplo MEO: GPS

- Sistema de Posicionamento Global
 - Desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos EUA
 - Tornou-se totalmente operacional em 1993
 - Atualmente 31 satélites a 20.200 km.
 - Último almoço: março de 2008
- Funciona com base em um princípio geométrico
 - “A posição de um ponto pode ser calculada se as distâncias entre este ponto e três objetos com posições conhecidas puderem ser medidas”
- Quatro satélites são necessários para calcular a posição
 - O quarto satélite é necessário para corrigir o relógio do receptor.
- Disponibilidade Seletiva
- Glonass (russo): 24 satélites, 19.100 km
- Galileo (UE): 30 satélites, 23.222 km, em desenvolvimento (data prevista: 2013)
- Beidou (China): Atualmente experimental e limitado.



LEO - Órbitas Terrestres Baixas

- Órbita circular ou inclinada com altitude < 1400 km
 - O satélite viaja pelo céu de horizonte a horizonte em 5 a 15 minutos => precisa de transferência
 - As estações terrenas devem rastrear satélites ou ter antenas omnidirecionais
 - É necessária uma grande constelação de satélites para comunicação contínua (66 satélites necessários para cobrir a Terra)
 - Requer arquitetura complexa
 - Requer rastreamento no solo

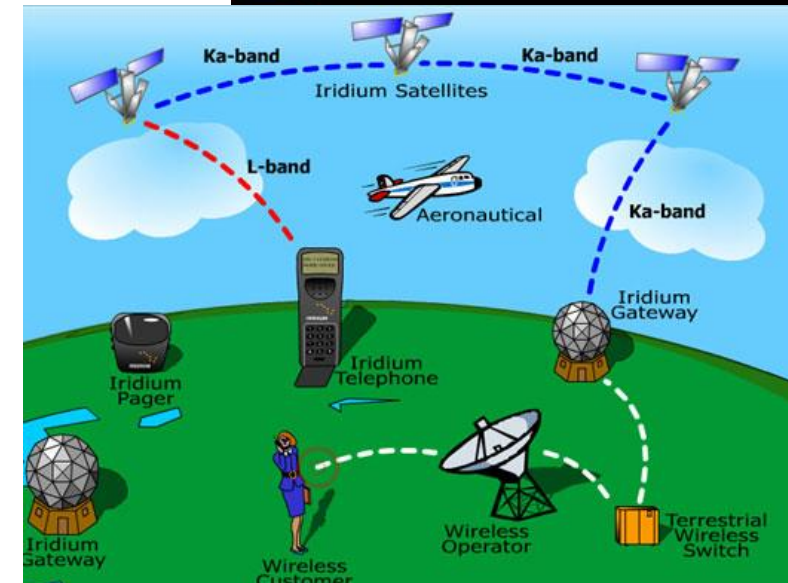
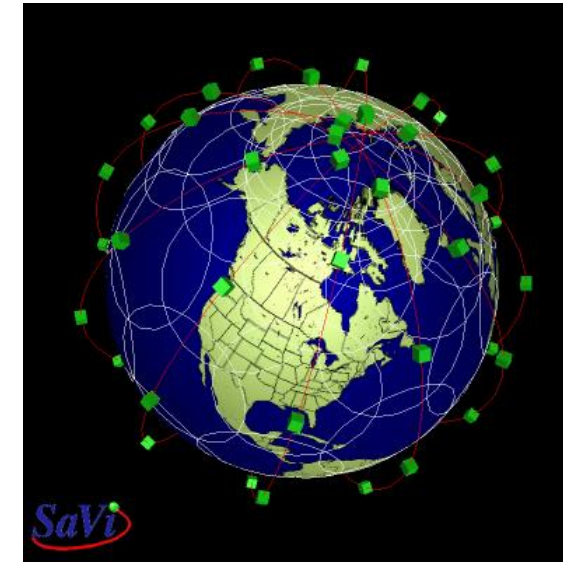


Satélites LEO

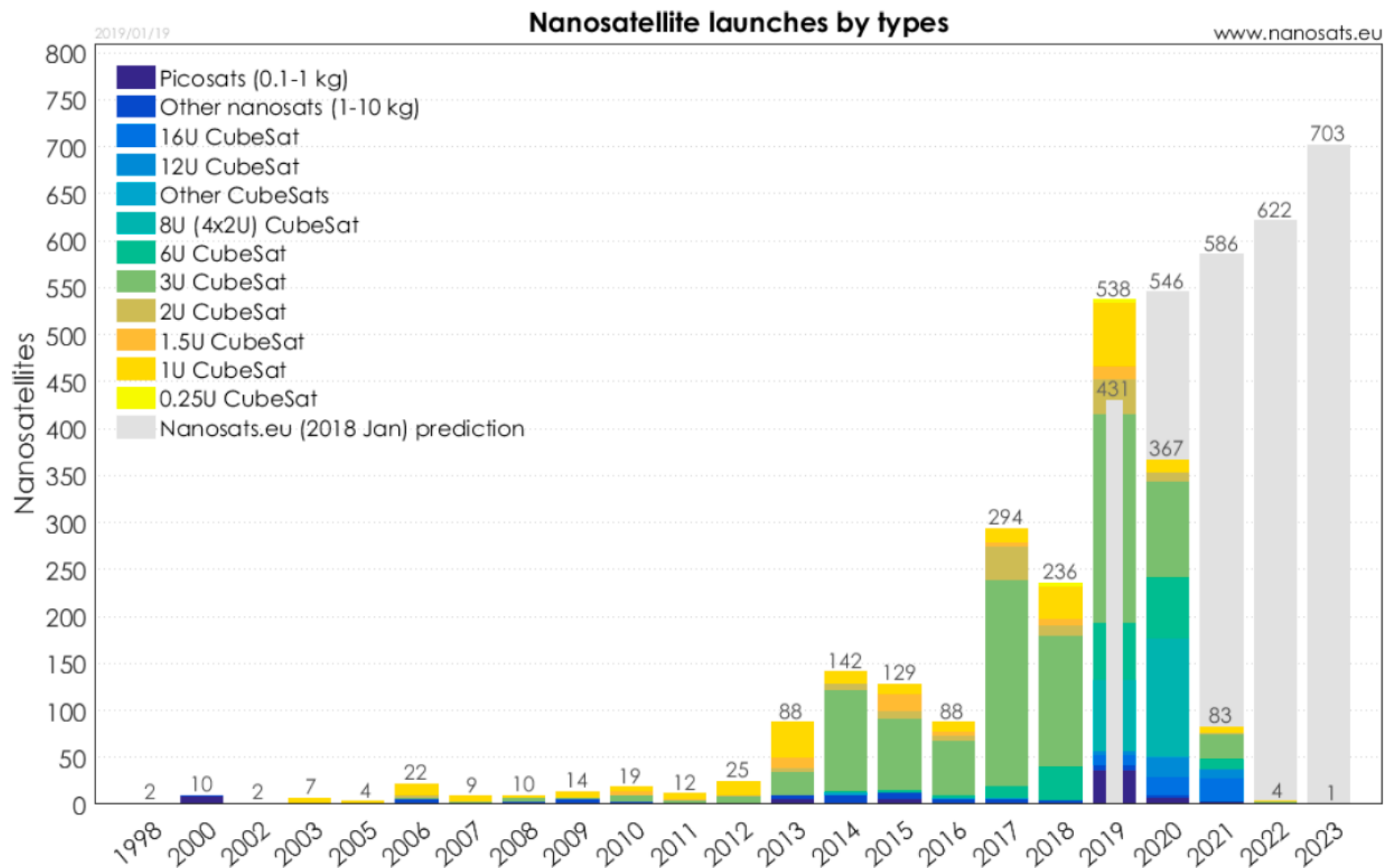
- Atraso de propagação unidirecional: 5 – 20 ms
- Mais de 32 satélites para cobertura global
- Transferência frequente
- Período de órbita: ~2 horas
- Formulários:
 - Observação da Terra
 - Provedores de imagens do GoogleEarth (DigitalGlobe, etc.)
 - RASAT (Primeiro satélite a ser produzido exclusivamente na Turquia)
 - Comunicações
 - Globalstar, Iridium
 - Busca e Resgate (SAR)
 - COSPAS-SARSAT

Irídio

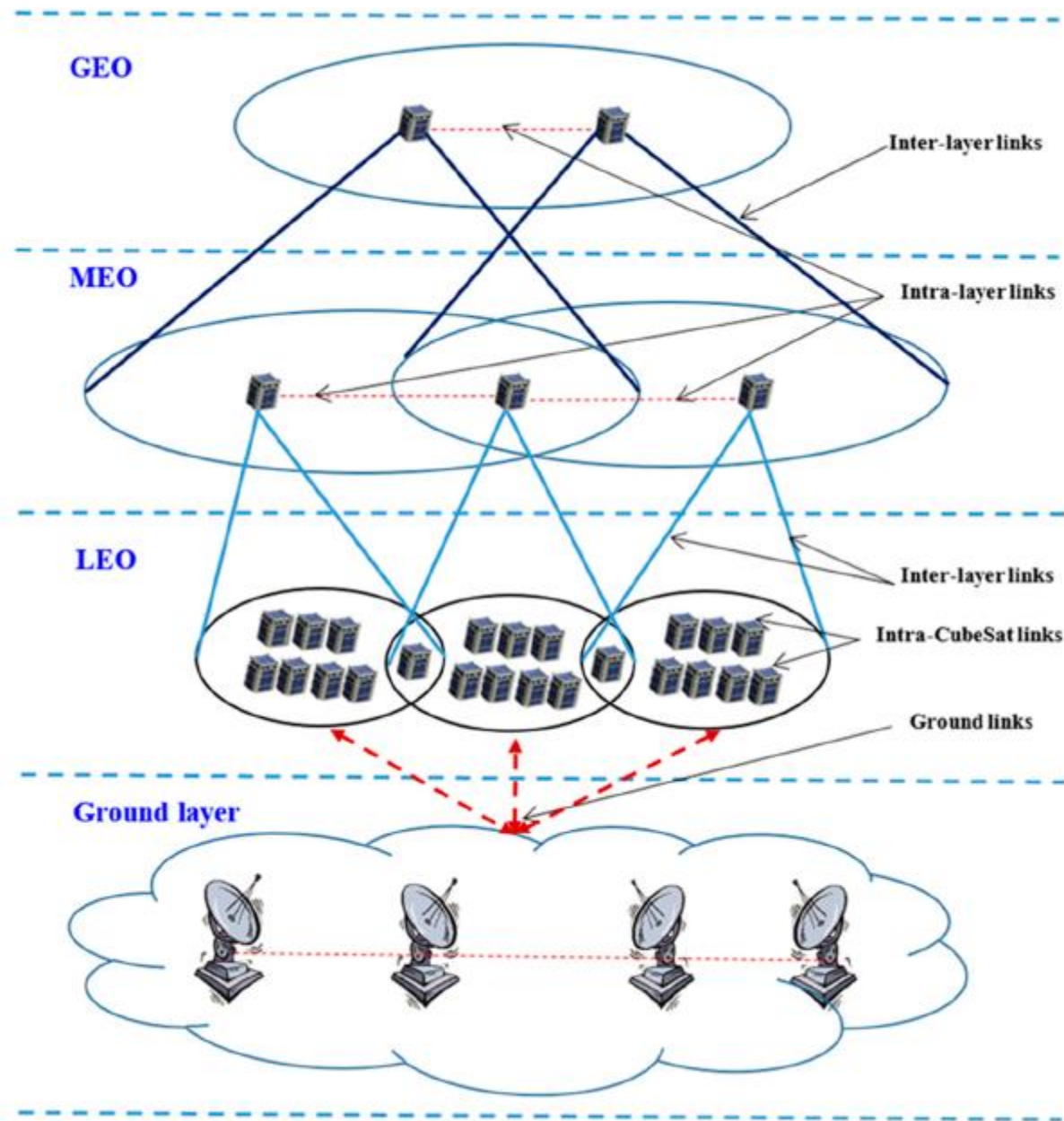
- 66 satélites (6 aviões, 11 satélites por avião) e 10 peças sobressalentes.
- Inclinação de 86,4: cobertura total
- Altitude: 780 km
- Links intersatélites, processamento integrado
- Tempo de visibilidade do satélite: 11,1 min
- Satélites lançados em 1997-98.
- A empresa inicial entrou em falência
 - Tecnicamente impecável, no entanto:
 - Muito caro; Plano de negócios horrível
 - Não é possível competir com GSM
- Agora, propriedade da Iridium Satellite LLC.
- 280.000 assinantes (em agosto de 2008)
- Contrato plurianual com o DoD dos EUA.
- Colisão de satélite (10 de fevereiro de 2009).



O



Challenges	Implications
Intermittent connectivity	<ul style="list-style-type: none"> - Satellites on this orbit are characterized by scheduled predictable/semi-predictable intermittent connectivity, whether for a satellite to ground links or inter-satellite links. - There are no contemporary paths present for satellite and ground station communication or cross-link communication.
Orbital period	<ul style="list-style-type: none"> - LEO satellite orbital velocity ~ 7800 m/s, based on the satellite altitude orbital period of about 90–110 min for 160–1200 km altitudes respectively. - Limited encounter time between satellites which in turns bounds data transfer rate.
Inter-CubeSat links	<ul style="list-style-type: none"> - Transmission range between two satellites, approximately 5–200 km. - The transmission range of inter-CubeSats is bound by cross-link antenna transmission power. - Limited antenna size and capability compared with the conventional satellites. - Limited antenna coverage compared with the conventional satellites.
Up/Downlinks with the ground station	<ul style="list-style-type: none"> - Transmission range between satellite and ground station, approximately 200–1200 km - The transmission range of CubeSats is bounded by the downlink antenna transmit power. - Satellite revisit time Limited antenna size and capability
Altitude and inclination ranges	<ul style="list-style-type: none"> - Orbit altitude range is 200–1200 km above the Earth and orbit inclination ranges 0°–180°.
Natural drag	<ul style="list-style-type: none"> - Common de-orbiting behaviour leads to changes in orbital height and hence meeting time between CubeSats will also change over time. - Orbiting at lower altitudes increases the drag process. - The drag upsurges with increasing solar activity (sunspots).
High failure rate	<ul style="list-style-type: none"> - Space radiation effects on electronic components, particularly Commercial-off-the Shelf (COTS) components. - Impossibility of recovery under failure.
Energy	<ul style="list-style-type: none"> - Solar cells limited space available on the small size of the CubeSat body. - Small storage batteries. - High power consumption of up/downlinks and cross-links.
Topology density	<ul style="list-style-type: none"> - Satellite dissemination and encounter times.
CubeSat stability on orbit	<ul style="list-style-type: none"> - There is no space on the CubeSats for advanced stability control devices. - Antenna directionality and steering ability.
Data rate	<ul style="list-style-type: none"> - A single CubeSat has limited data rate - CubeSat swarms and constellations can provide a higher overall system data rate, however, networking CubeSats in these systems is challenging and requires advanced routing protocols.

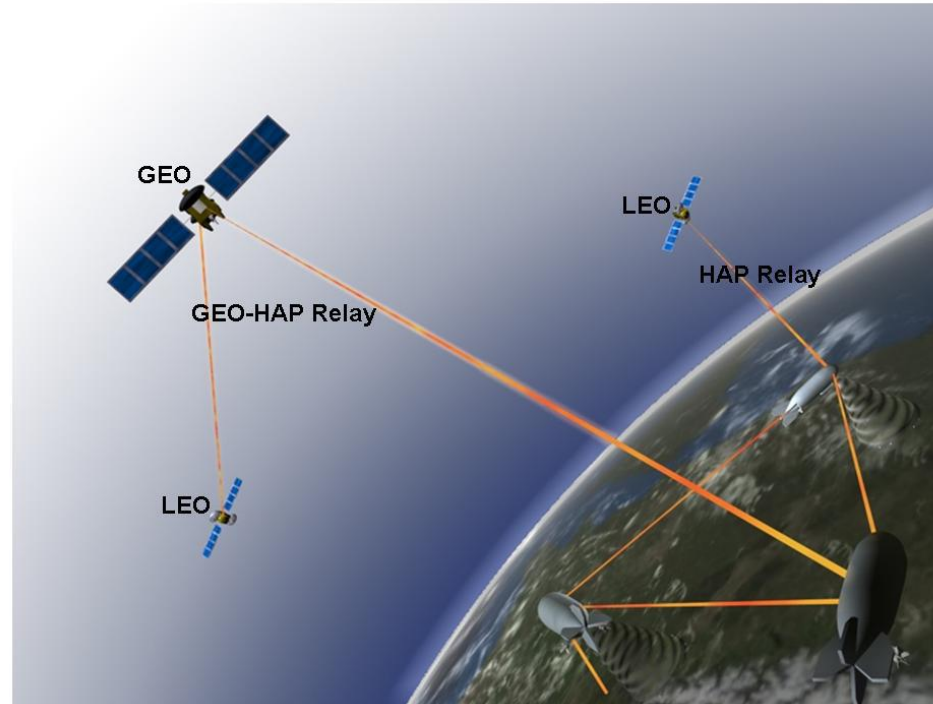


Plataformas de Alta Altitude (HAPs)

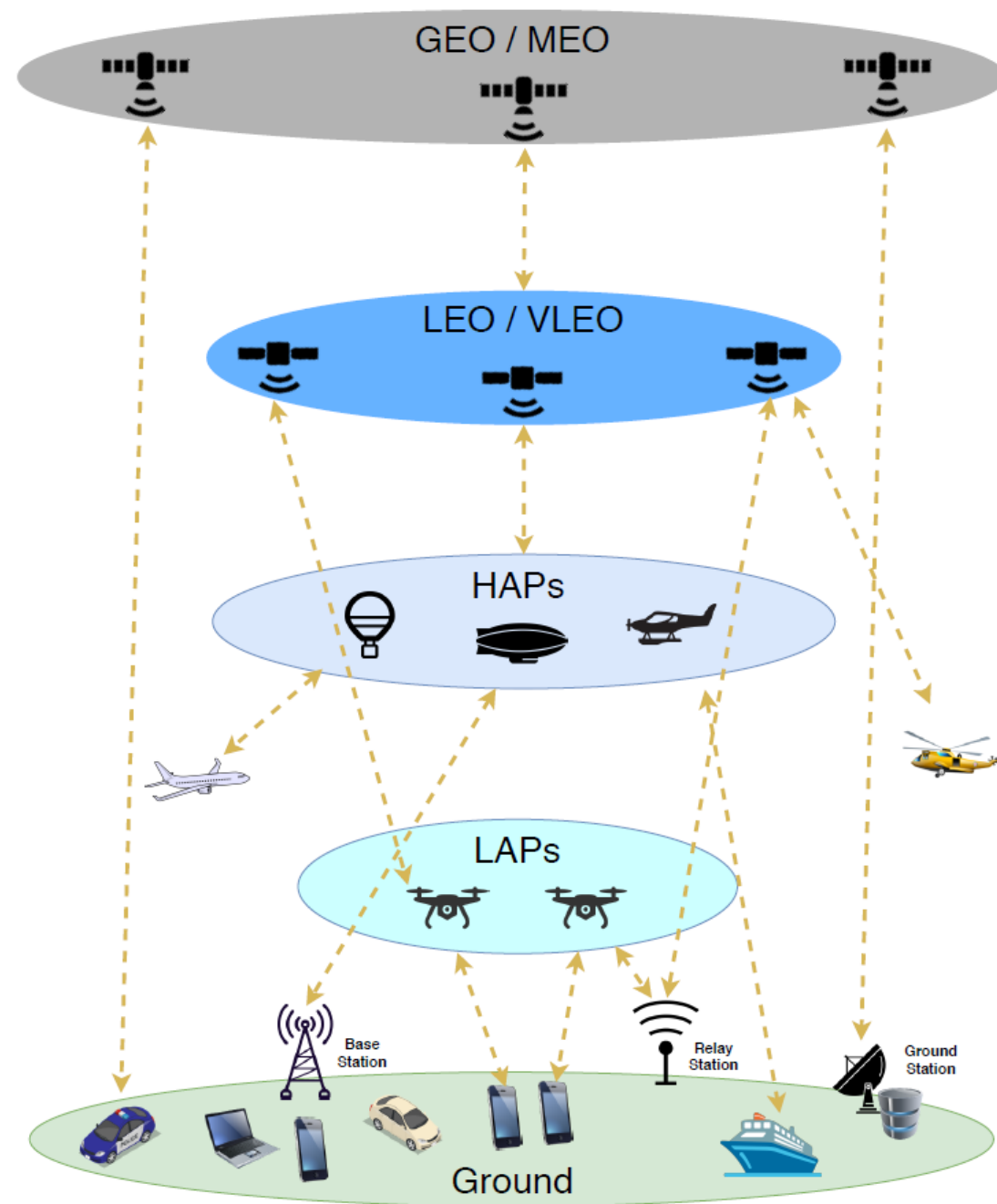
- Plataformas aéreas não tripuladas
- Posição quase estacionária (a 17-22 km)
- Telecomunicações e vigilância
- Vantagens:
 - Cobrir áreas maiores do que estações base terrestres
 - Sem problemas de mobilidade como LEOs
 - Baixo atraso de propagação
 - Terminais de usuário menores e mais baratos
 - Implantação fácil e incremental
- Desvantagens:
 - Tecnologia de dirigível imatura
 - Monitoramento do movimento da plataforma



Integração HAP-Satélite



- As PAH têm vantagens significativas.
- Os satélites ainda representam a solução mais atractiva para serviços de radiodifusão e multicast
- Devem ser consideradas como tecnologias complementares.

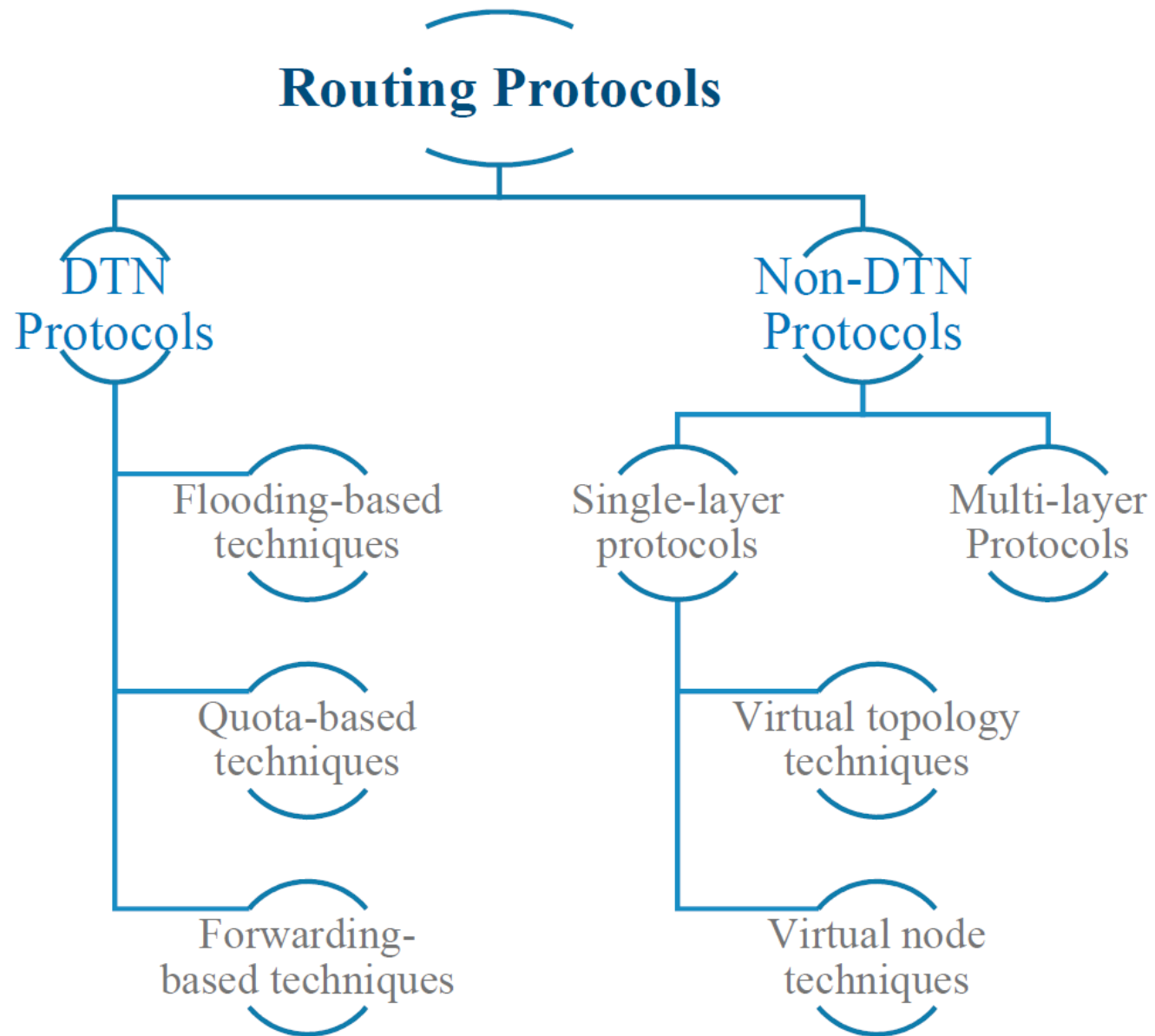


Satélites - Visão Geral

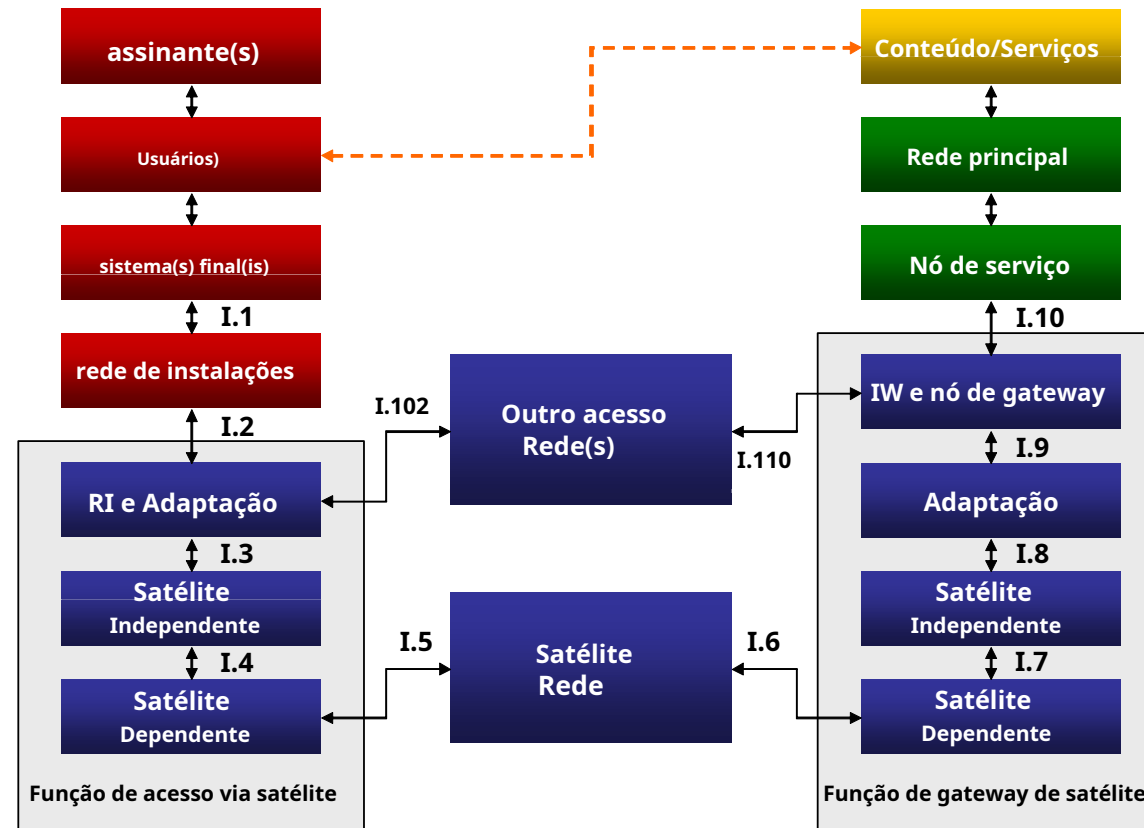
- GEOs têm boa capacidade de transmissão, mas longo atraso de propagação.
- LEOs oferecem baixa latência e baixos requisitos de energia terminal.
- Links entre satélites e processamento integrado para maior desempenho e melhor utilização dos satélites
 - De espelhos voadores a roteadores inteligentes no céu.
- Grande problema com LEOs: Mobilidade de satélites
 - Entrega frequente
- Outro problema importante com satélites:
 - Inviável atualizar a tecnologia, após o lançamento do satélite

Roteamento

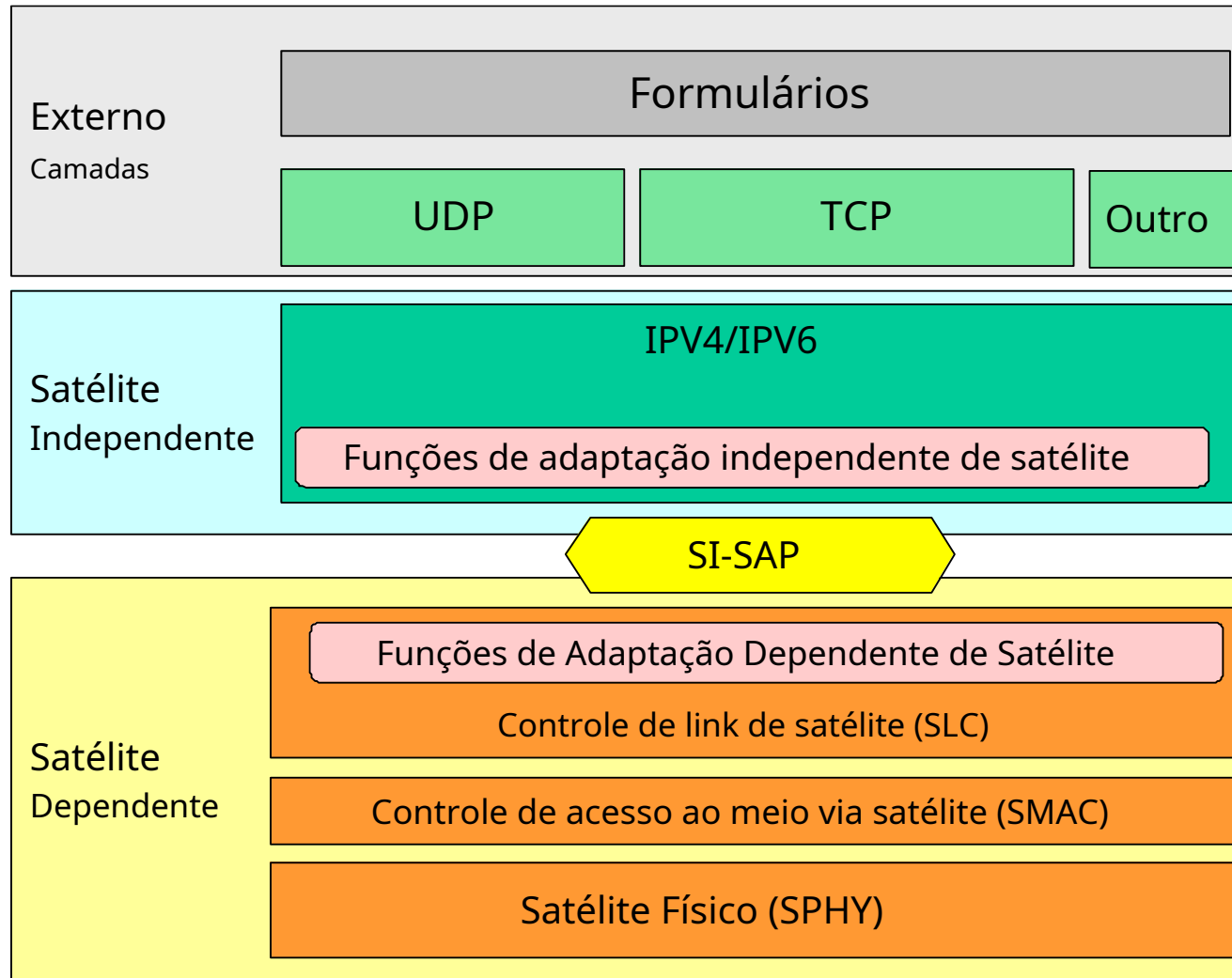
- Uma solução: links entre satélites (ISL)
 - ☐ número reduzido de gateways necessários
 - ☐ encaminhar conexões ou pacotes de dados dentro da rede de satélite pelo maior tempo possível
 - ☐ apenas um uplink e um downlink por direção necessários para a conexão de dois telefones celulares
- Problemas:
 - ☐ focagem mais complexa de antenas entre satélites
 - ☐ alta complexidade do sistema devido à movimentação de roteadores
 - ☐ maior consumo de combustível
 - ☐ portanto, vida útil mais curta
- Iridium e Teledesic planejados com ISL
- Outros sistemas utilizam gateways e adicionalmente redes terrestres



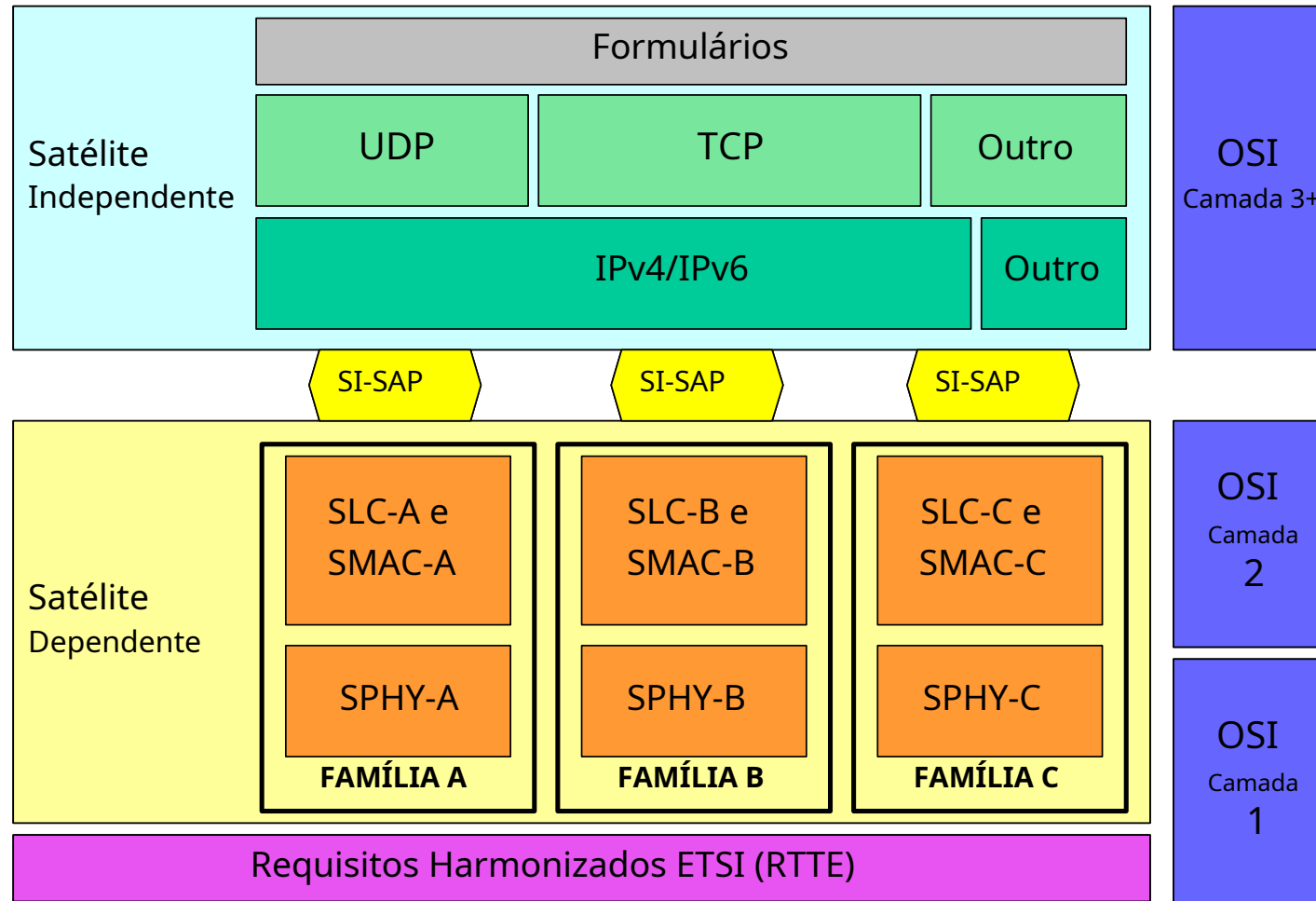
Modelo de referência para acesso via satélite



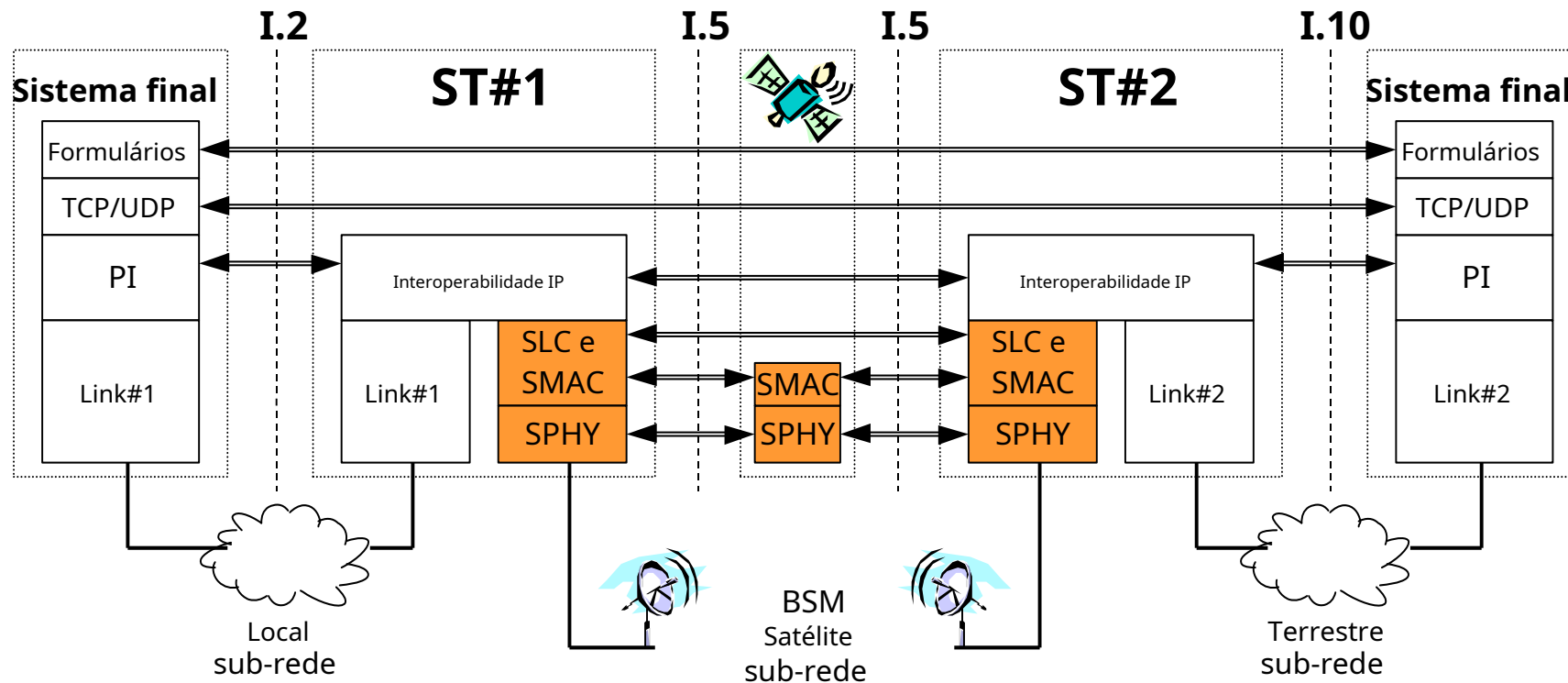
Arquitetura de protocolo



Arquitetura de protocolo



Interoperabilidade IP



Redes de sensores sem fio