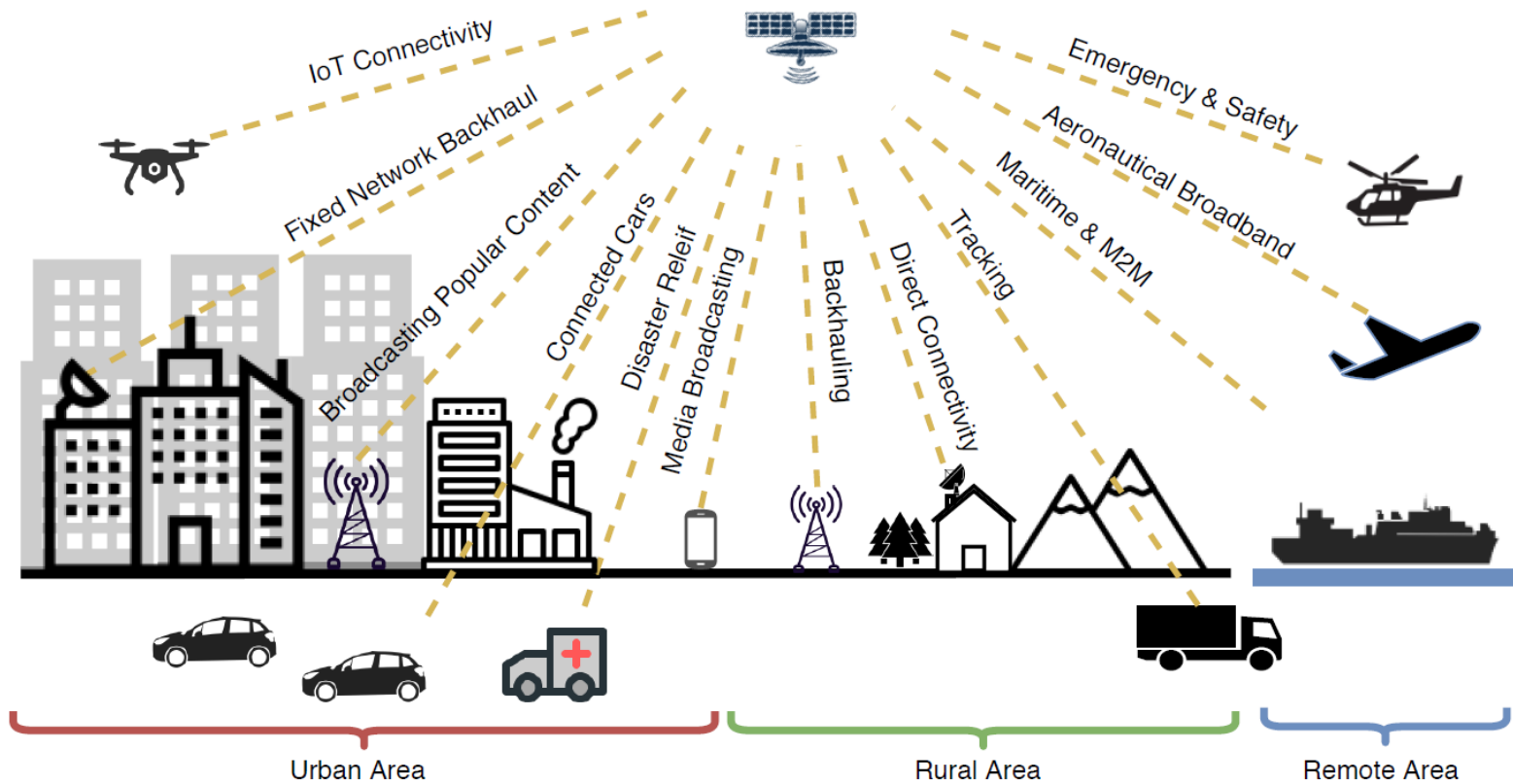




SATÉLITES

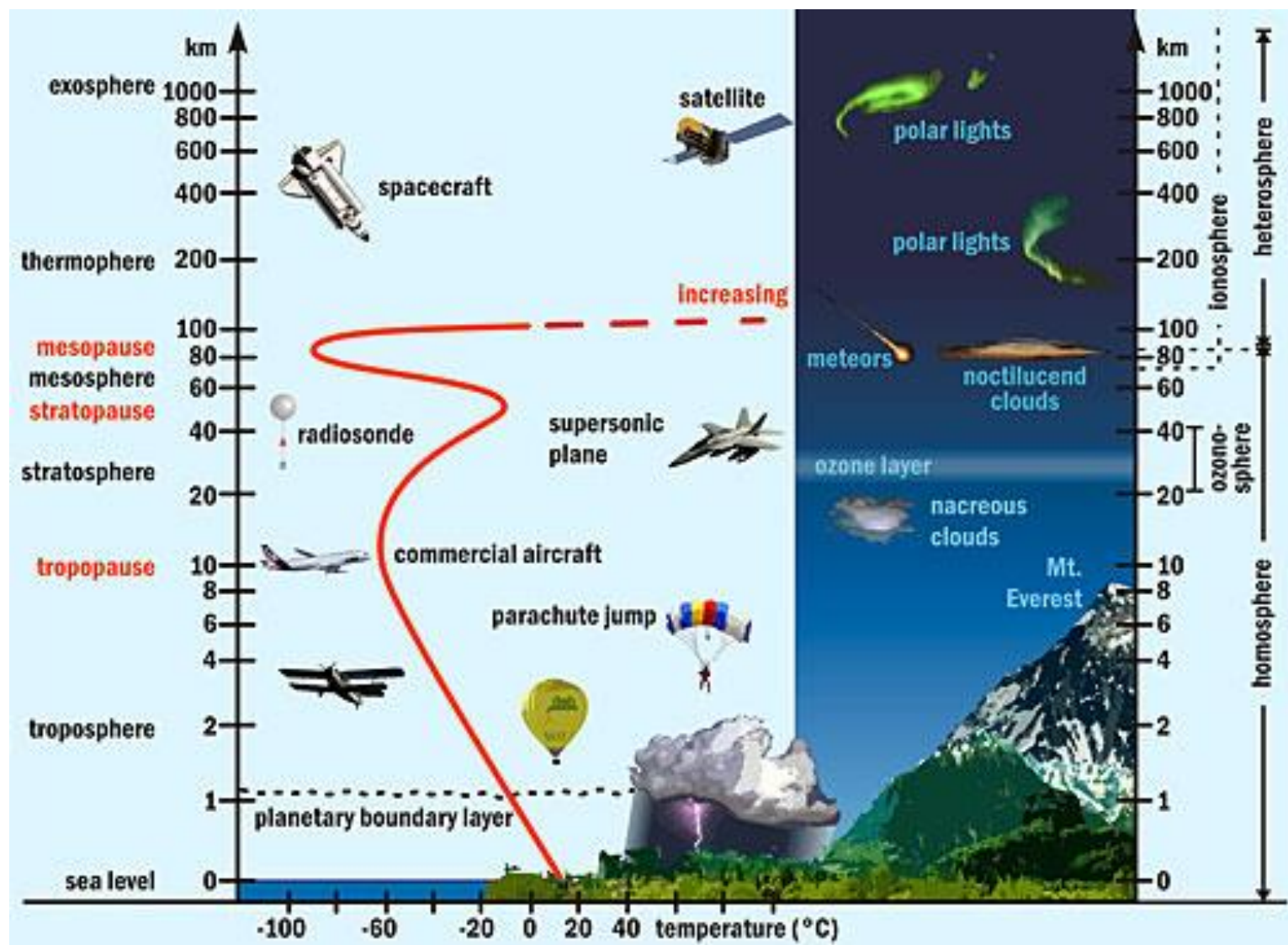


Distância: 378.000 km
Período: 27,3 dias





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**

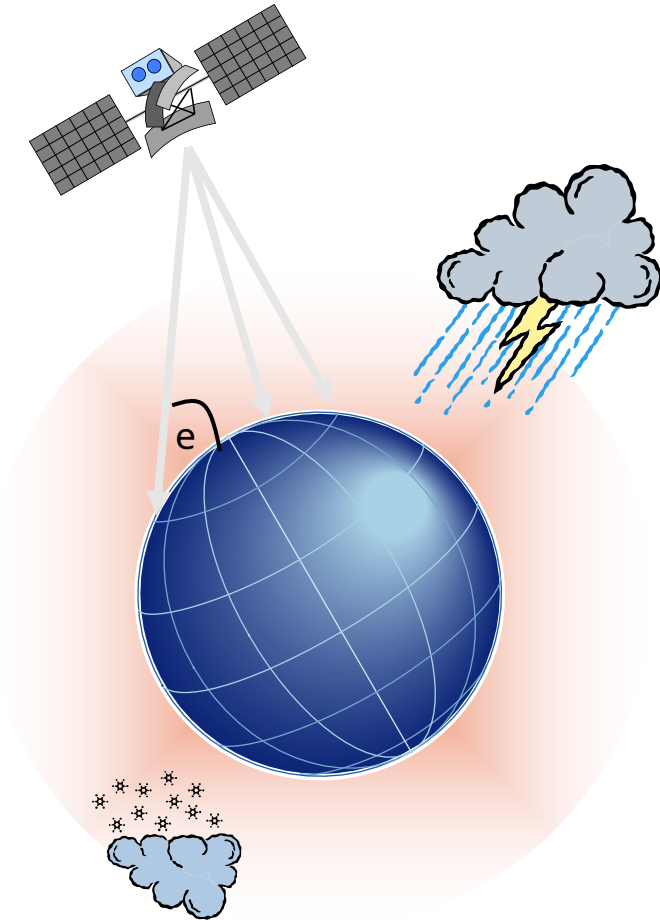
- A potência e a capacidade de processamento integrada são limitadas.
- Implementar a tecnologia de ponta é difícil.
- Os satélites têm uma natureza de transmissão.

- **Natureza das constelações de satélites**

- Maiores atrasos de propagação.
- Número fixo de nós.
- Estrutura altamente simétrica e uniforme.

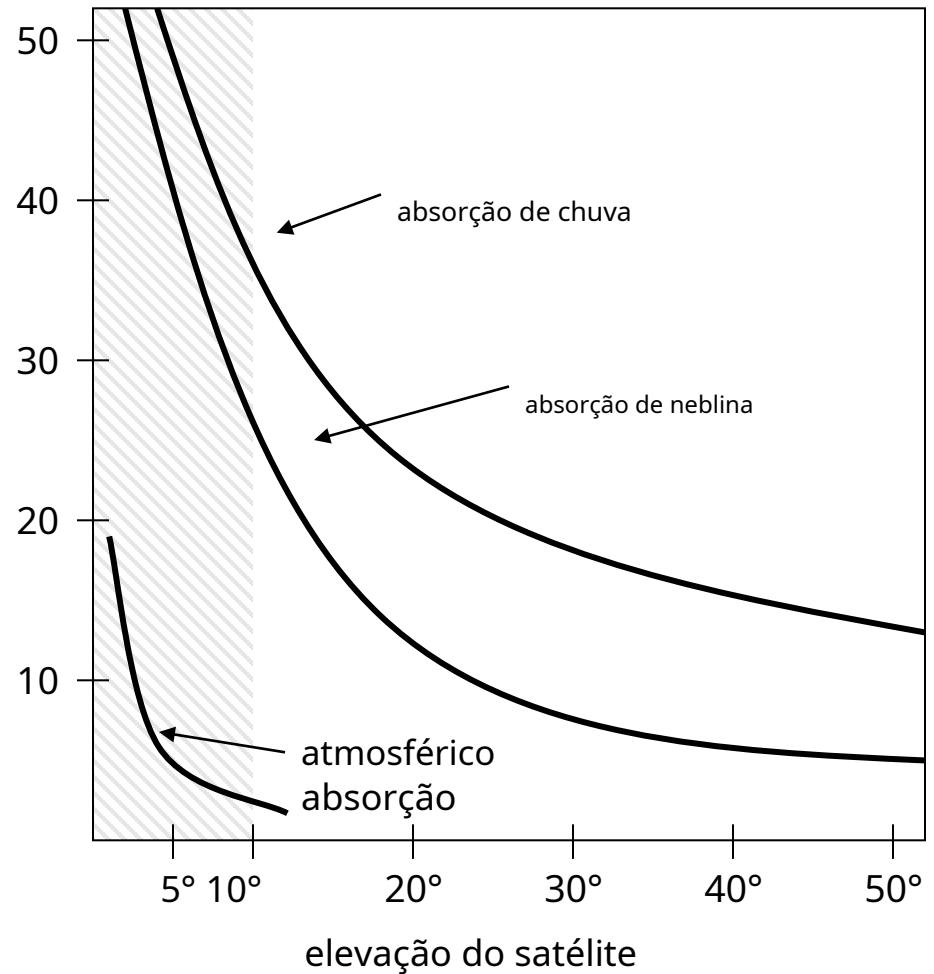


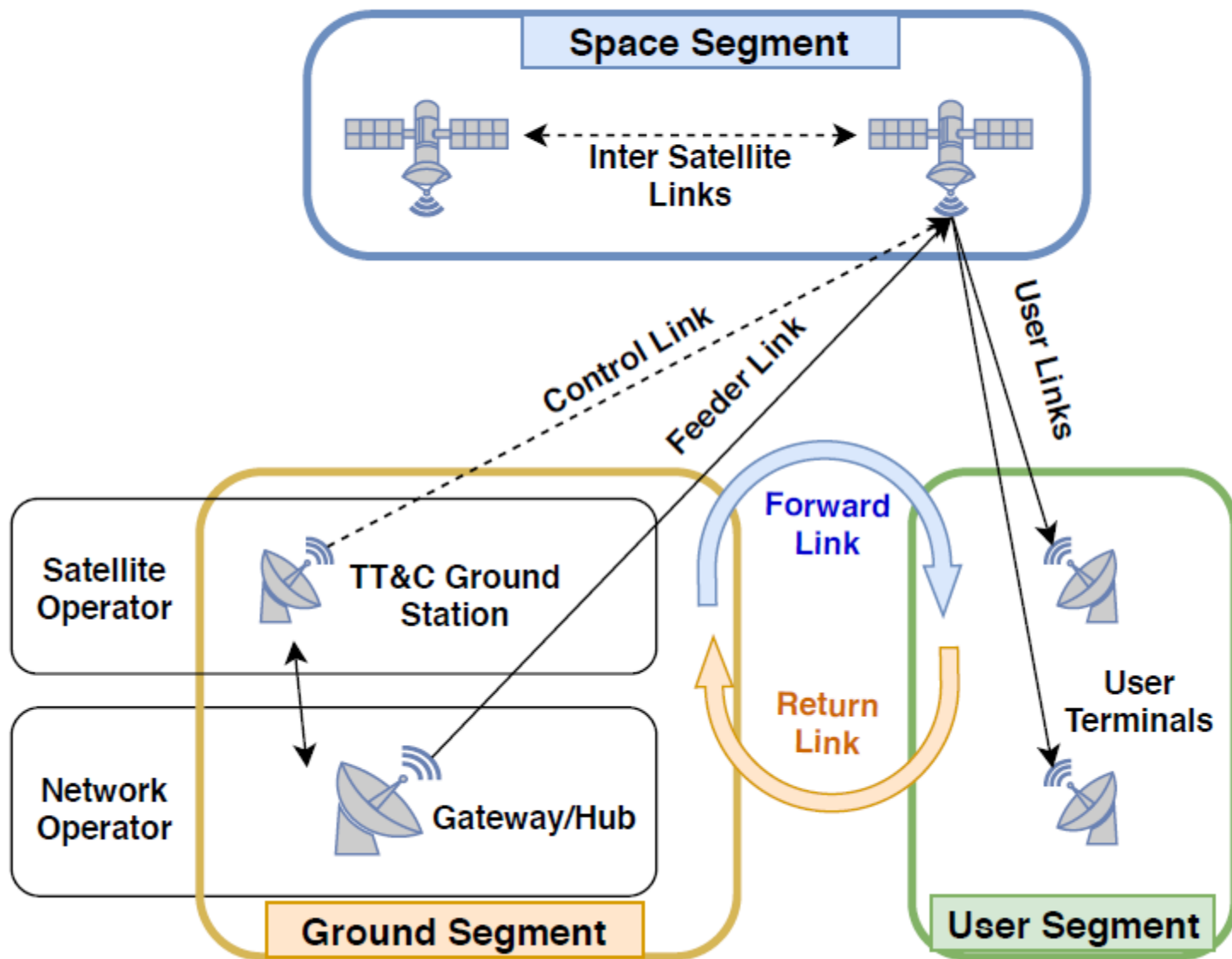
Atenuação atmosférica



Atenuação de
o sinal em %

Exemplo: sistemas de satélite em 4-6 GHz







Links de transmissão por satélite

- As estações terrestres se comunicam enviando sinais ao satélite em um uplink
- O satélite então repete esses sinais em um downlink
- A natureza de transmissão do downlink torna-o atraente para serviços como a distribuição de programas de TV



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

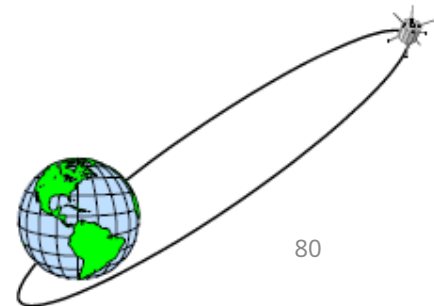
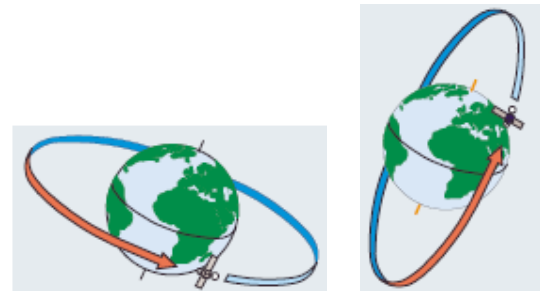
Banda	Link ascendente (GHz)	Link para baixo (GHz)	PROBLEMAS
C	3.700-4.200 MHz	5.925-6.425 MHz	Interferência com ligações terrestres.
Ku	11,7-12,2 GHz	14,0-14,5 GHz	Atenuação devido à chuva
Ka	17,7-21,2 GHz	27,5-31,0 GHz	Alto custo do equipamento

- 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

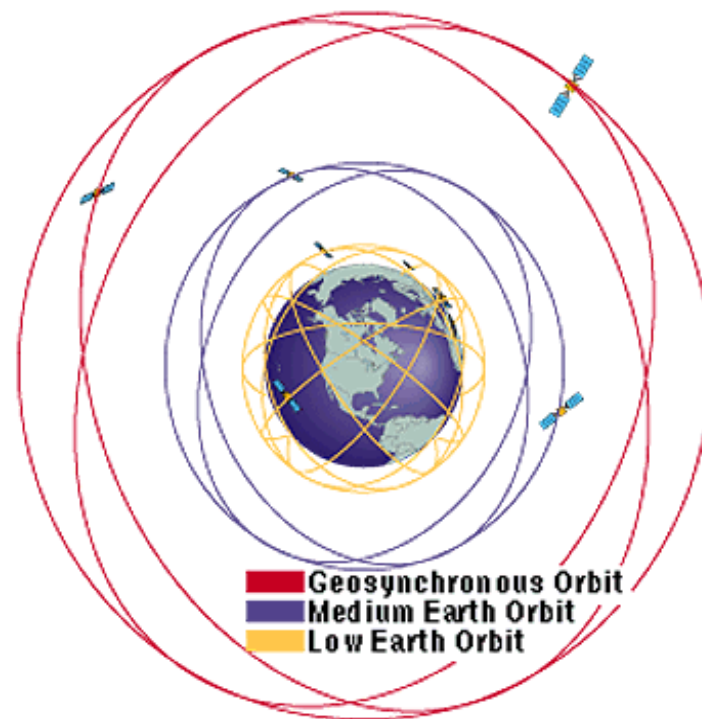
- Com base na inclinação, “ i ”, sobre o plano equatorial:
 - Órbitas Equatoriais acima do equador da Terra ($i=0^\circ$)
 - As órbitas polares passam por ambos os pólos ($i=90^\circ$)
 - Outras órbitas chamadas órbitas inclinadas ($0^\circ < i < 90^\circ$)
- Baseado na excentricidade
 - Circular com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





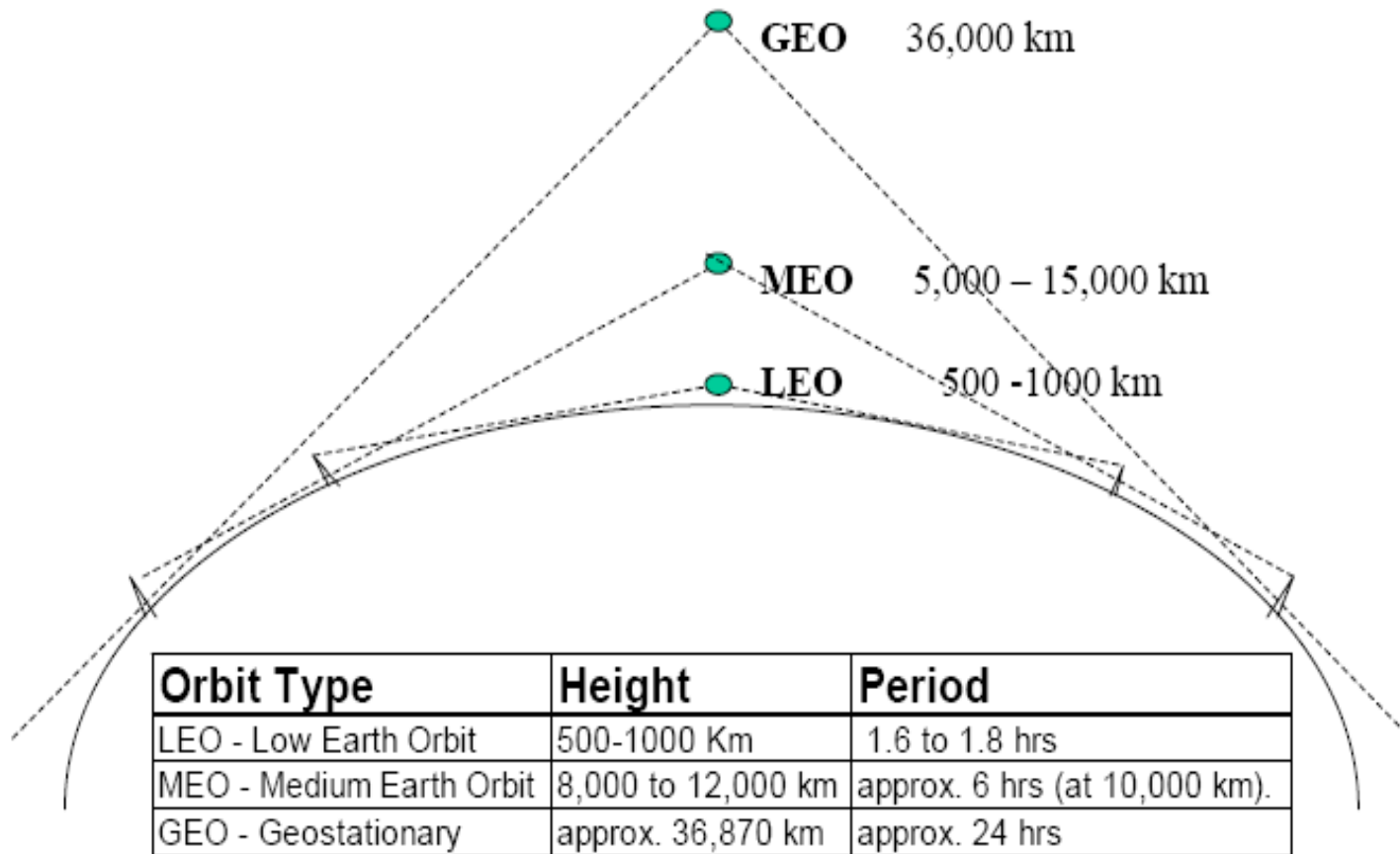
Tipos de redes baseadas em satélite

- 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

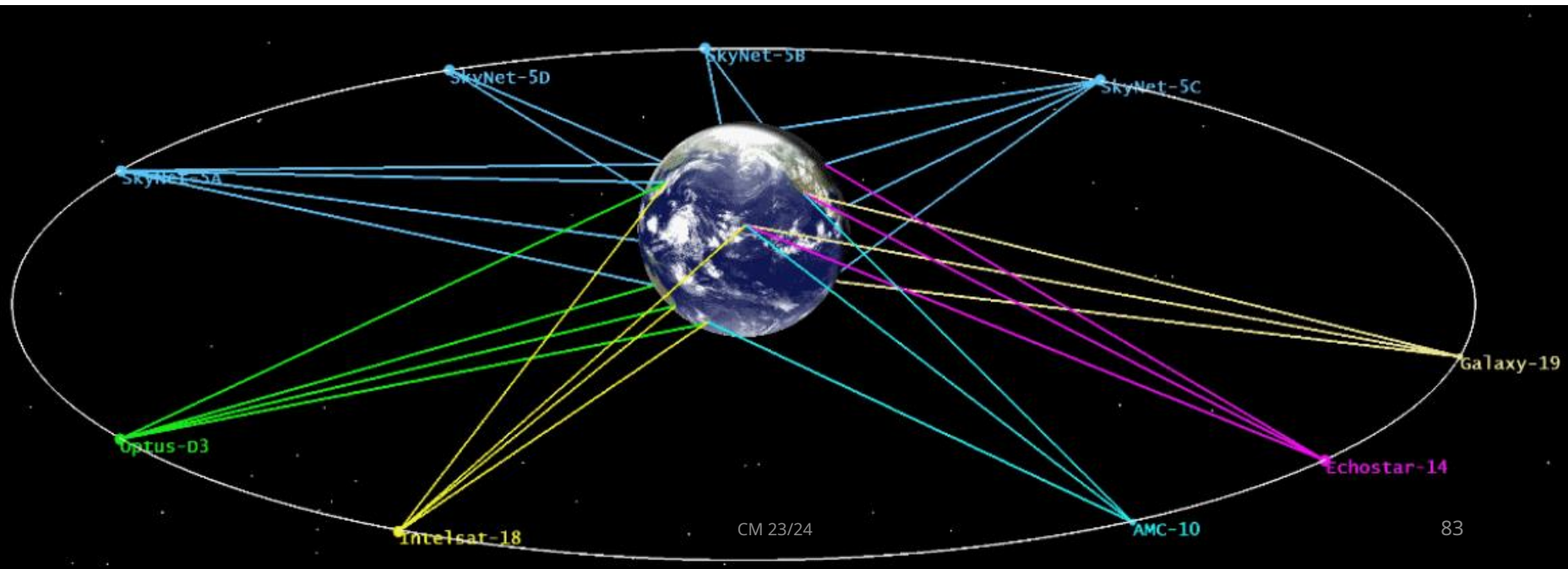
-No plano equatorial

-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

-Raio da órbita r = Altura orbital + Raio da Terra





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



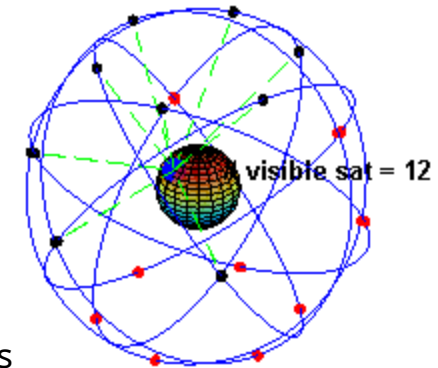
Satélites MEO

- 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

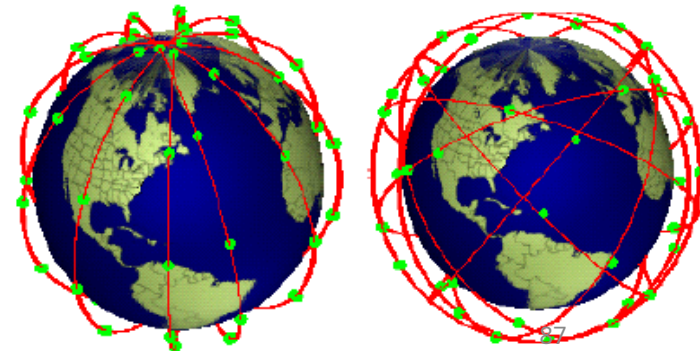
- Sistema de Posicionamento Global
 - Desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos EUA
 - Tornou-se totalmente operacional em 1993
 - Atualmente 31 satélites a 20.200 km.
 - Último almoço: março de 2008
- Funciona com base em um princípio geométrico
 - “A posição de um ponto pode ser calculada se as distâncias entre 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





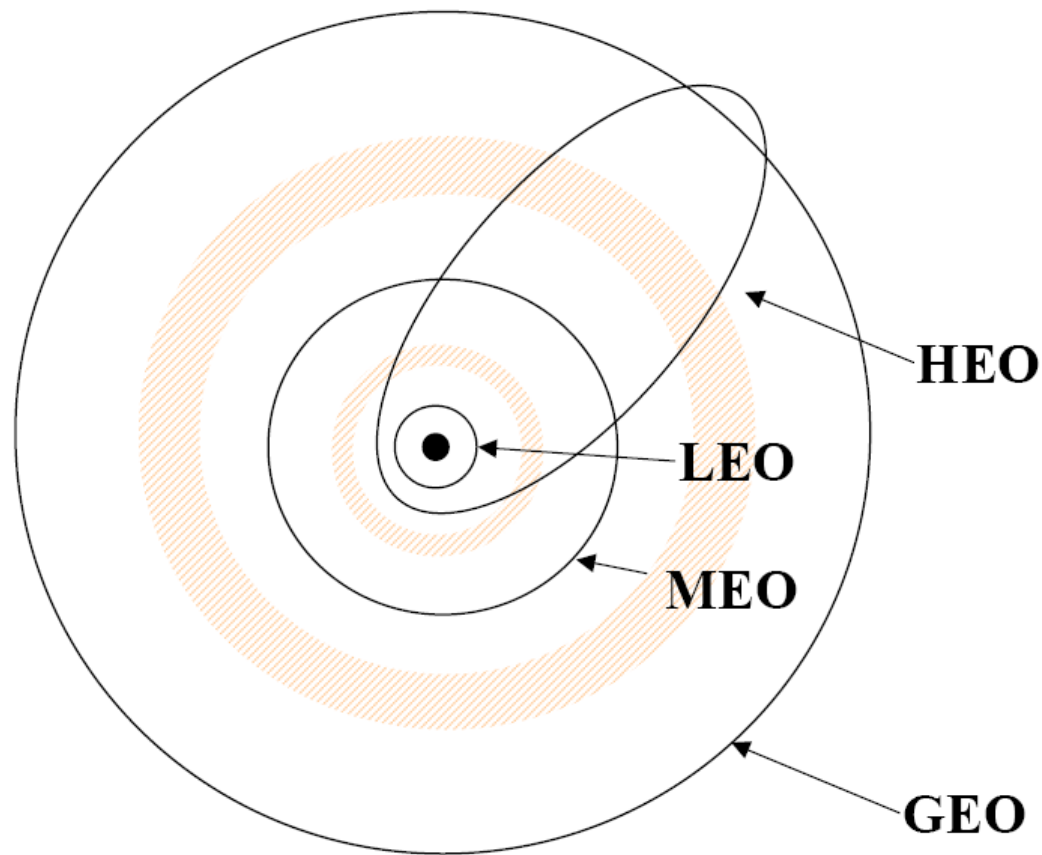
Satélites LEO

- 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



NGSO - Órbitas Não Geoestacionárias

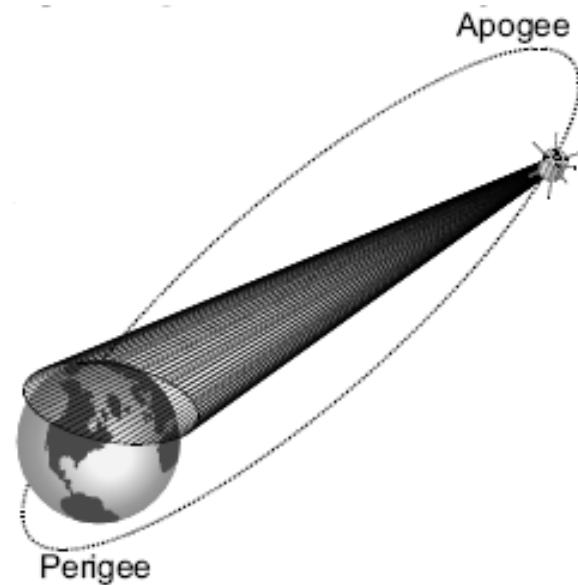
- A órbita deve evitar cinturões de radiação Van Allen:
 - Região de partículas carregadas que podem causar danos ao satélite
 - Ocorre em
 - ~2.000-4.000 km e
 - ~13.000-25.000 quilômetros





HEO - Órbitas Altamente Elípticas

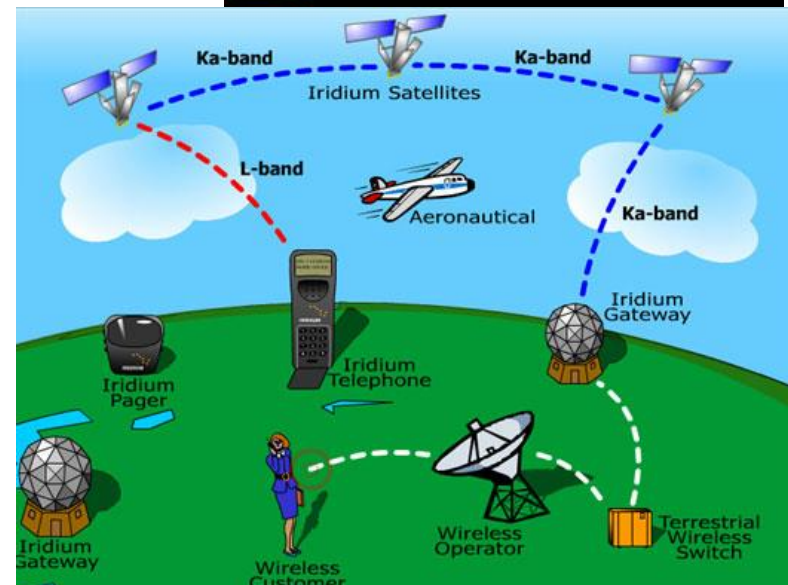
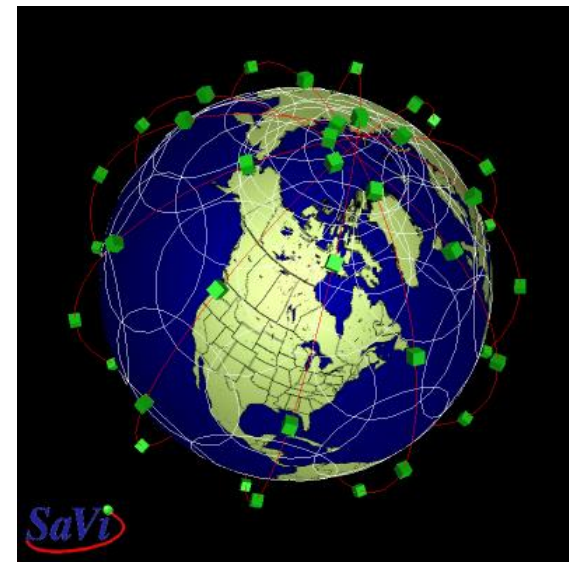
- HEOs ($i = 63,4^\circ$) são adequados para fornecer cobertura em altas latitudes (incluindo o Pólo Norte no hemisfério norte)
- Dependendo da órbita selecionada (por exemplo, Molniya, Tundra, etc.), dois ou três satélites são suficientes para uma cobertura contínua da área de serviço.
- Todo o tráfego deve ser transferido periodicamente do satélite “em configuração” para o satélite “em ascensão” (Transferência de Satélite)





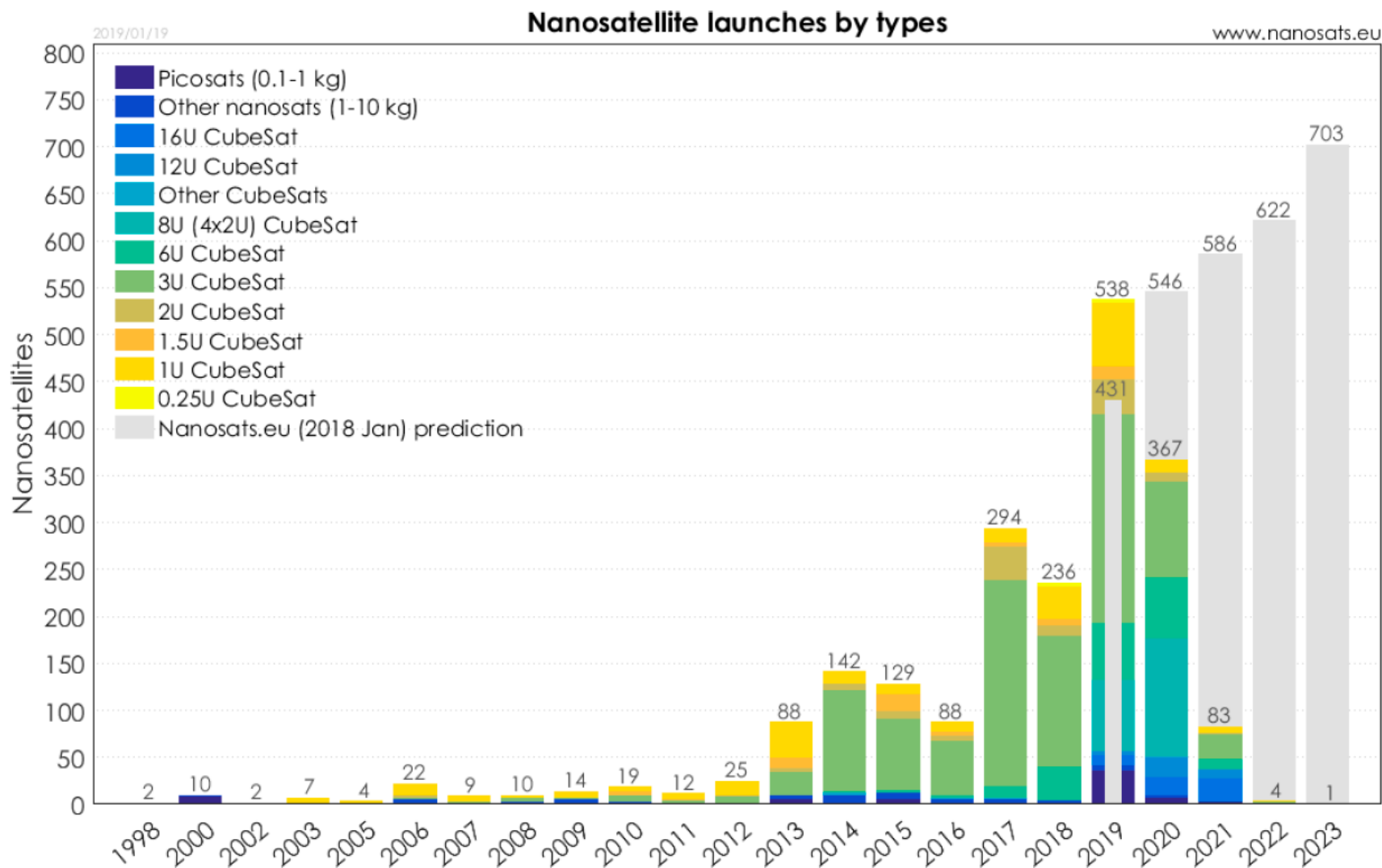
Irídio

- 66 satélites (6 aviões, 11 satélites por avião) e 10 peças sobressalentes.
- Inclinação de $86,4^\circ$: 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).



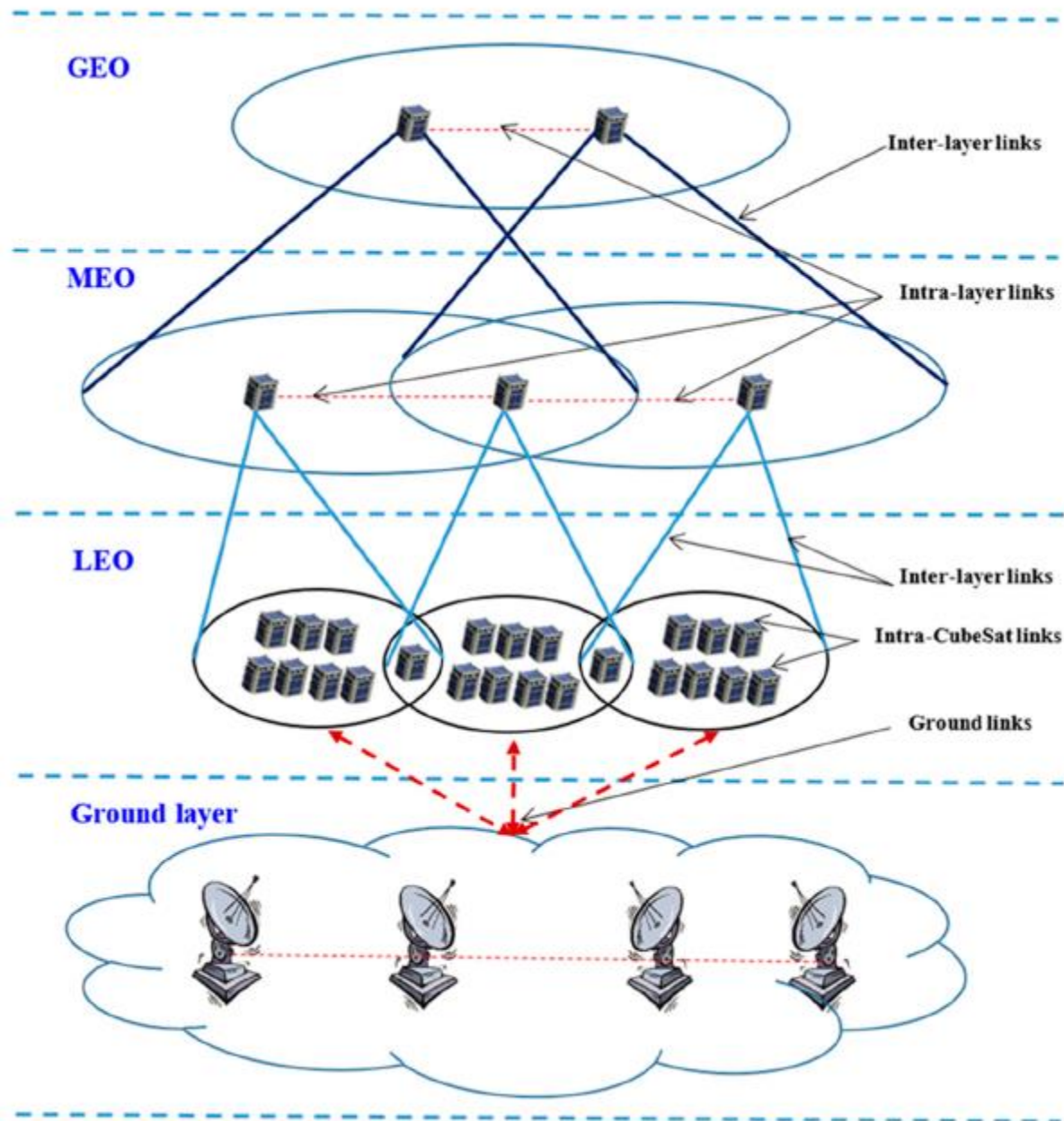


A explosão do cubesat





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.





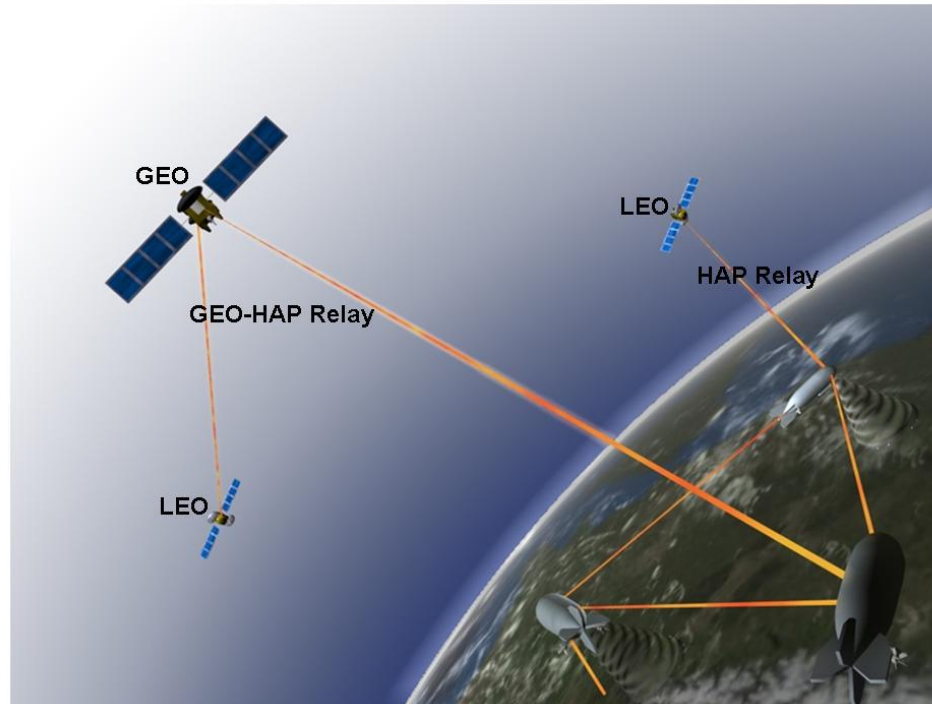
Plataformas de Alta Altitude (HAPs)

- 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

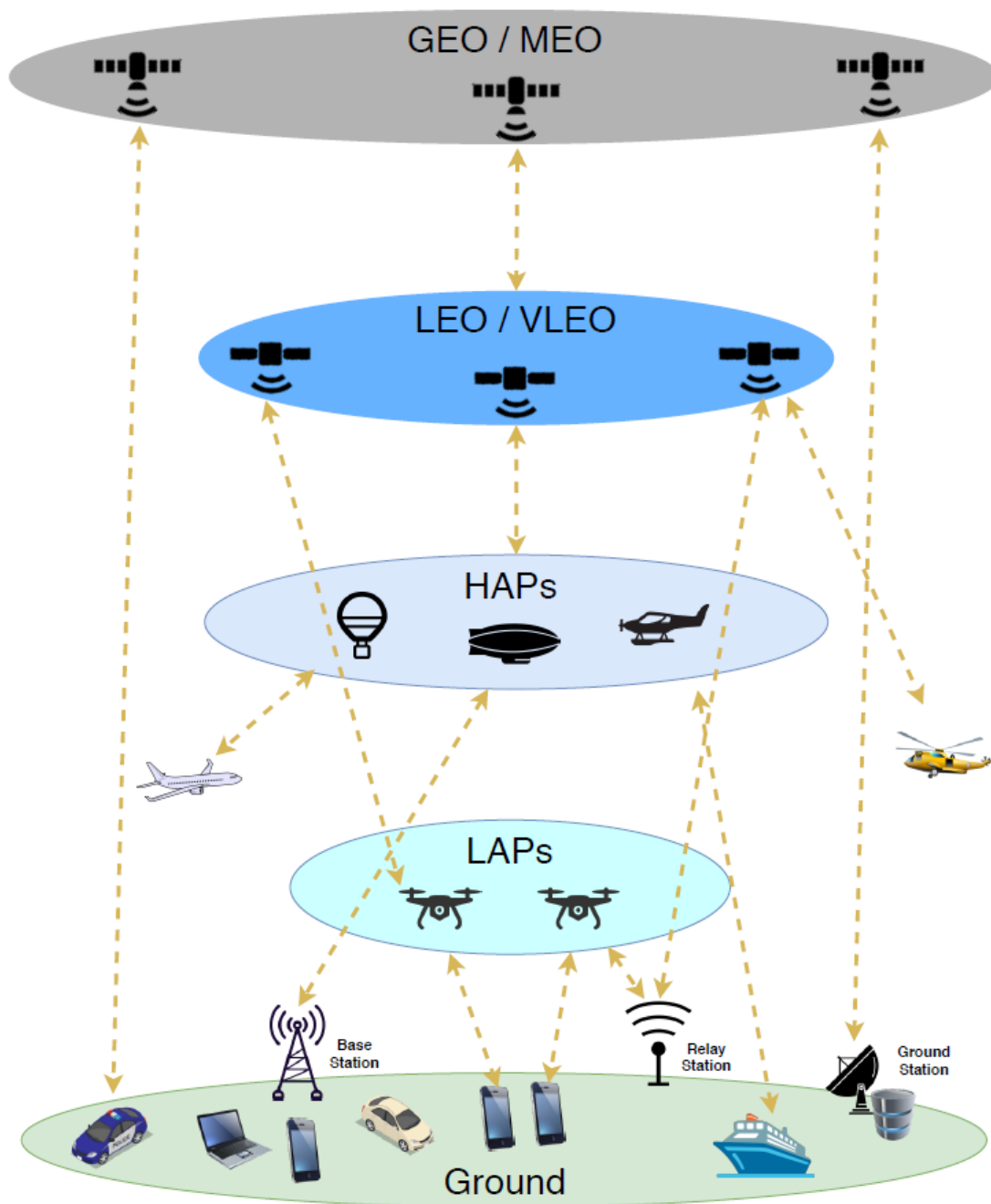




Integração HAP-Satélite



- 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.





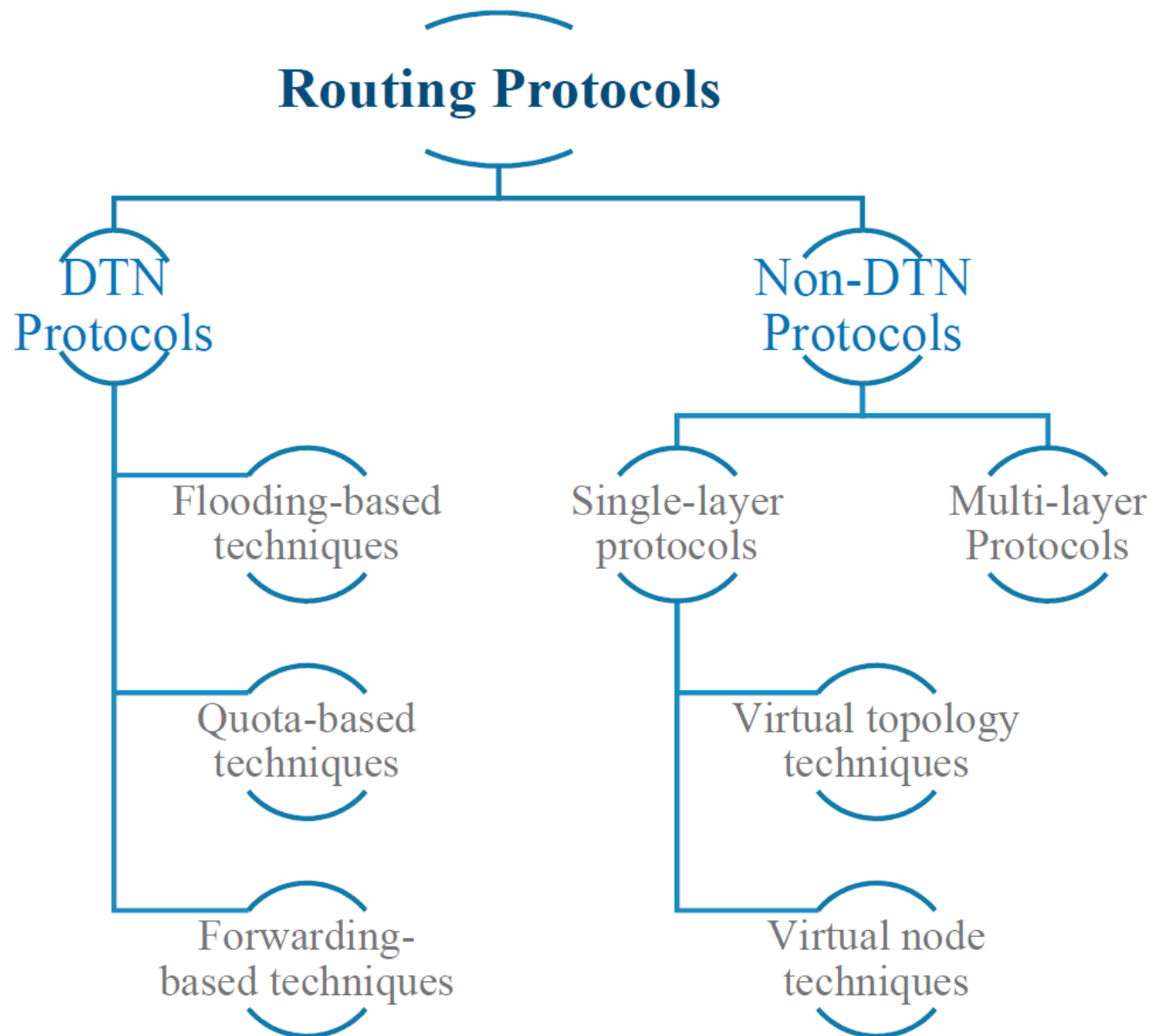
Satélites - Visão Geral

- 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



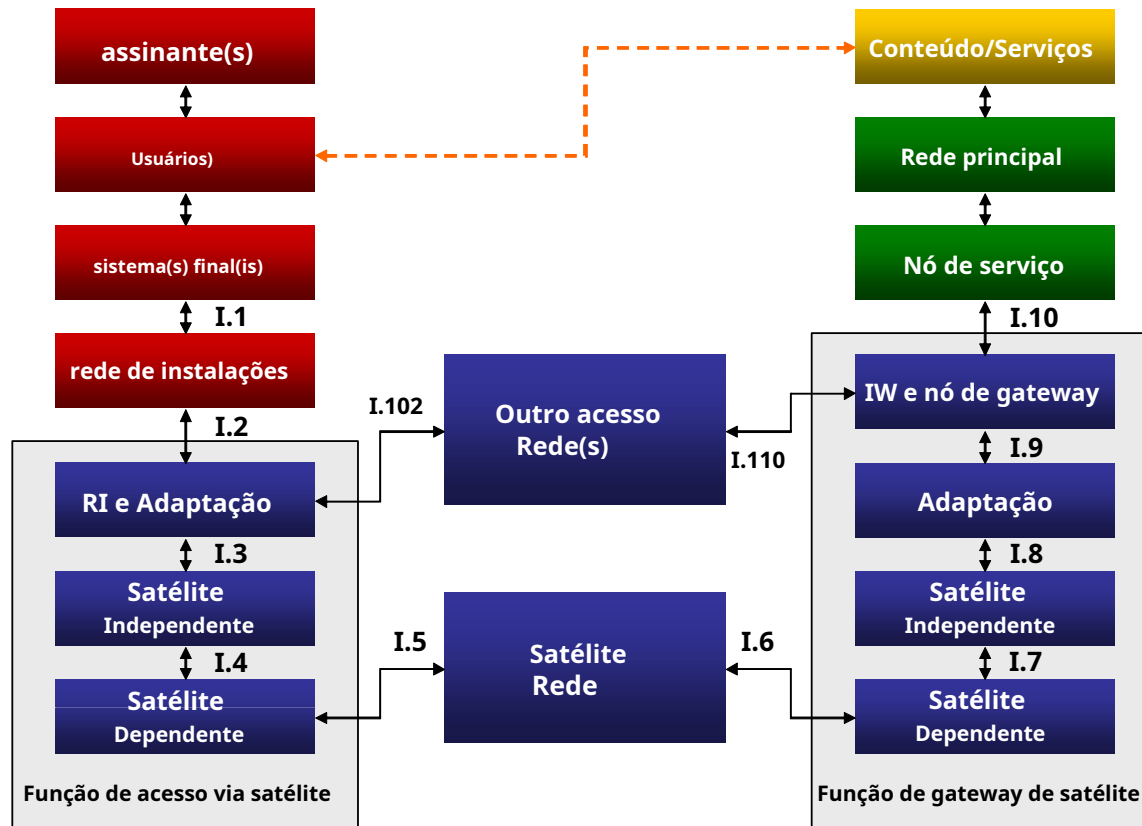
Roteamento

- 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



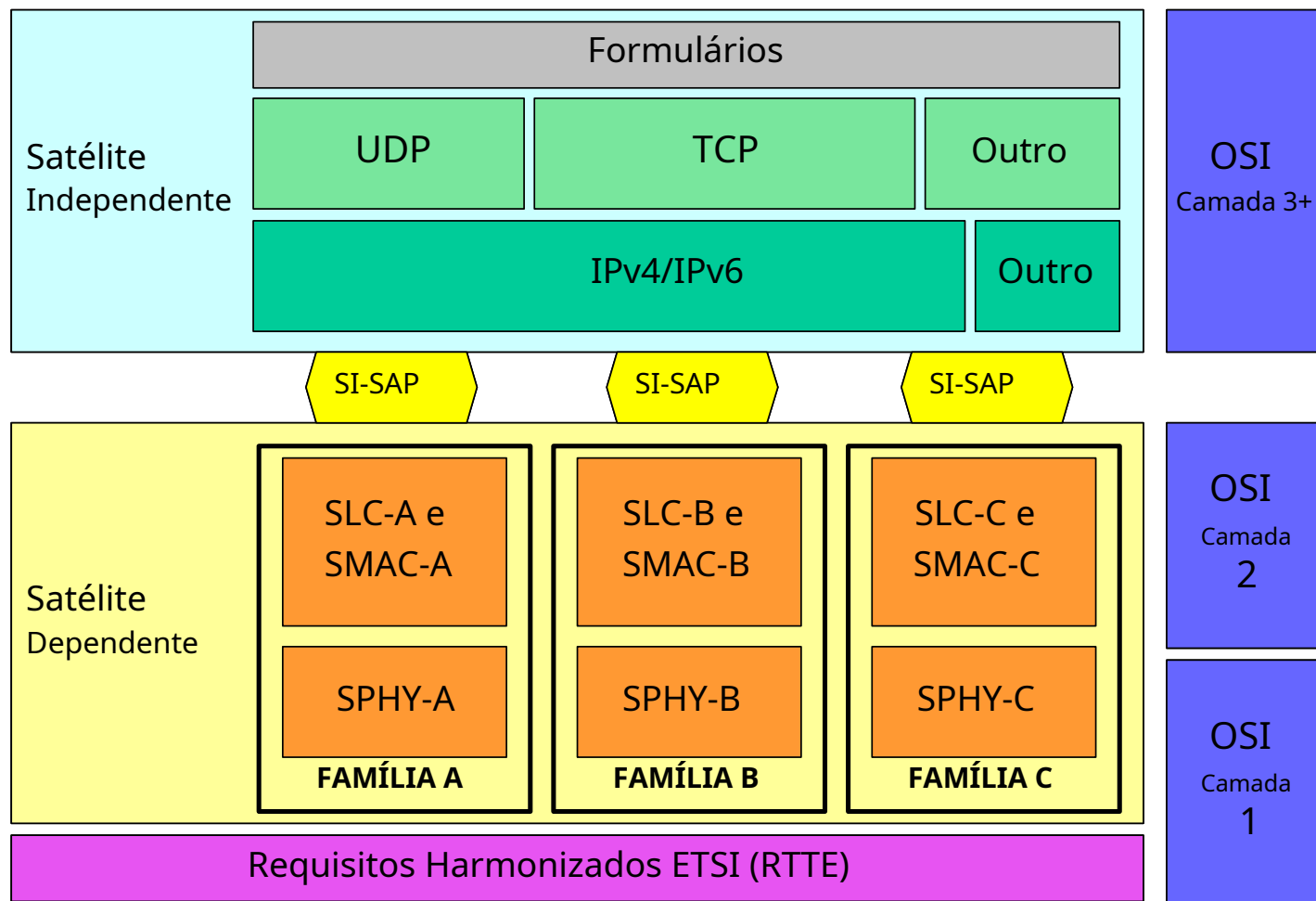


Modelo de referência para acesso via satélite



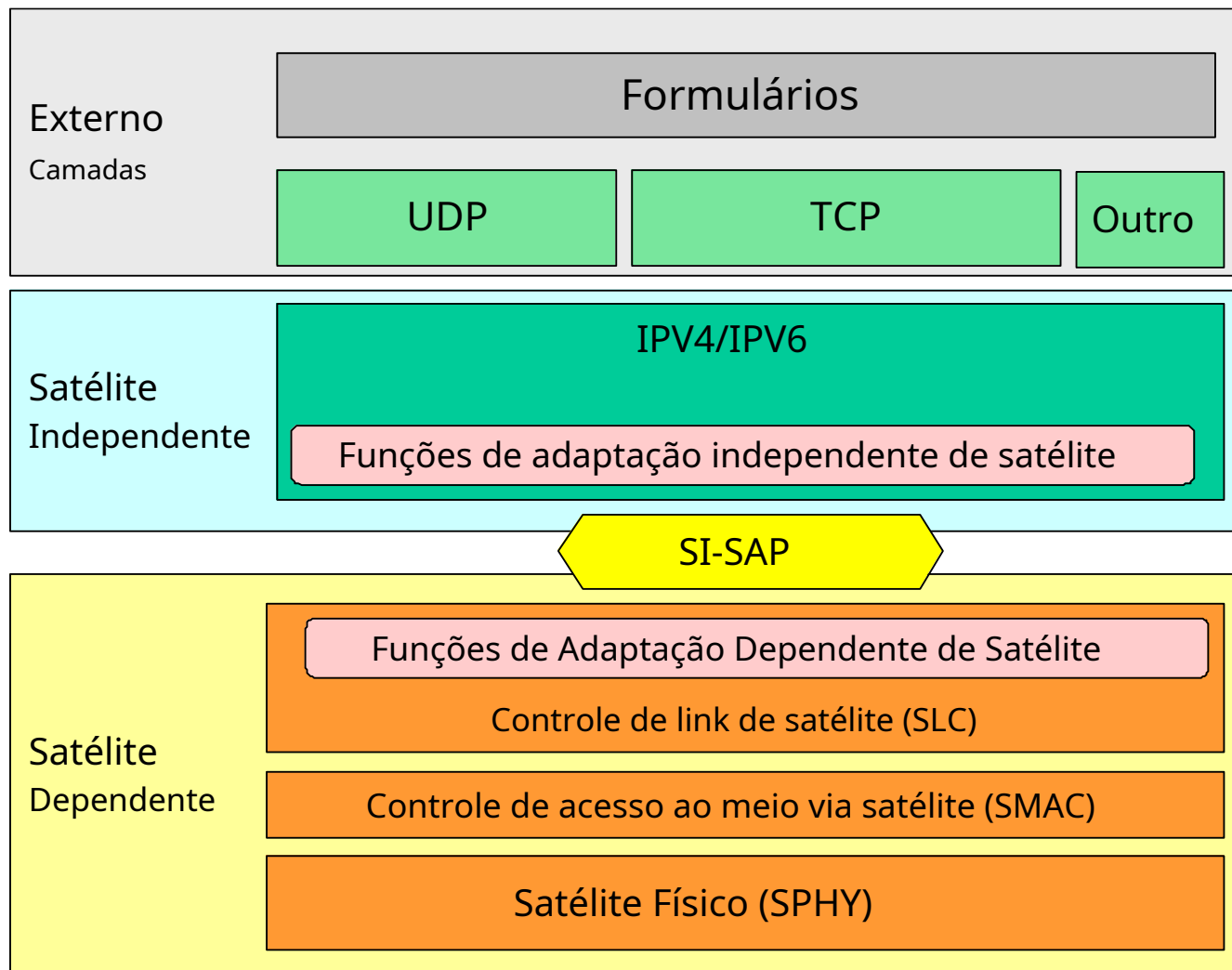


Arquitetura de protocolo





Arquitetura de protocolo





Interoperabilidade IP

