Módulo II

Certificação e Public Key Infrastructure (PKI)

Prelúdio

Abstract Syntax Notation One (ASN.1)

Introdução

- A Abstract Syntax Notation One (ASN.1) encontra-se especificada nas normas X.208.

- Embora tenha sido criada para especificar tipos e valores de dados nas normas OSI, é hoje utilizada sistematicamente para especificar objectos nos mais variados standards, incluindo os criptográficos.

- A ASN.1 é uma notação que permite a definição de diversos tipos de dados, desde os tipos básicos, como inteiros aos tipos estruturados, como sequências.

- A ASN.1 por si só não pode ser utilizada directamente numa implementação, sendo necessárias normas adicionais para definir como é que se codifica essa notação abstracta em sequências de bits.

Codificação ASN.1

- As formas mais usuais de codificação são o BER e o DER.
- Basic Encoding Rules (BER) – mecanismo de codificação definido no standard X.209 e que, por permitir obter várias codificações para o mesmo valor, não é conveniente quando é necessária uma codificação sem ambiguidades.
- Distinguished Encoding Rules (DER) – subconjunto do BER definido no standard X.509 e que, introduzindo restrições adicionais à codificação, garante uma codificação única para cada valor ASN.1.
- O DER é geralmente utilizado quando se pretende garantir a compatibilidade da codificação ASN.1 com implementações heterogéneas.

Considerações gerais

- Uma definição em ASN.1 pode ser de várias categorias, no que respeita à abrangência do seu contexto:
  - Universal,
  - Application (e.g. X.500),
  - Private (e.g. dentro de uma empresa) e
  - Context-specific (dentro de uma estrutura).

- O layout não é relevante para a semântica do ASN.1 i.e. conjuntos de espaços e linhas em branco são irrelevantes. Os comentários são delimitados por --.

- Todos os tipos e valores podem ter um nome definido com o operador de atribuição ::=. Estes nomes podem ser utilizados na definição de novos tipos e valores.

Tipos simples

- O ASN.1 define os seguintes tipos simples, que podem ser utilizados na construção de tipos mais complexos:

Simple Type	Tag	Typical Use
BOOLEAN	1	Two-state variable values
INTEGER	2	Integer variable values
BIT STRING	3	Binary data of arbitrary length
OCTET STRING	4	Binary data where $L = k * 8$
NULL	5	Absence of a sequence element
OBJECT IDENTIFIER	6	Name information objects
REAL	9	Real variable values
ENUMERATED	10	Variables with at least three states
CHARACTER STRING	*	Strings of characters

Tipos estruturados

- O ASN.1 define as seguintes formas de construir tipos complexos:

Structured Type	Tag	Typical Use
SEQUENCE	16	Ordered collection of different type
SEQUENCE OF	16	Ordered collection of the same type
SET	17	Unordered collection of different types
SET OF	17	Unordered collection of the same type
CHOICE	*	Collection from which to choose one type
SELECTION	*	Select a component type from a CHOICE

- Além disso, estão também definidos alguns tipos estruturados úteis: `GeneralizedTime`, `UTCTime`, `ObjectDescriptor`, etc.

ASN.1: Exemplo #1

- Nas normas PKCS #1 define-se o tipo de uma chave privada RSA como o seguinte objecto:

```
RSAPrivateKey ::= SEQUENCE {
      version Version,
      modulus INTEGER, -- n
      publicExponent INTEGER, -- e
      privateExponent INTEGER, -- d
      prime1 INTEGER, -- p
      prime2 INTEGER, -- q
      exponent1 INTEGER, -- d mod (p-1)
      exponent2 INTEGER, -- d mod (q-1)
      coefficient INTEGER, -- (inverse of q) mod p }
Version ::= INTEGER
```

ASN.1: Exemplo #2

- Nas mesmas normas também está definido o hash que deve ser utilizado quando se usa o RSA como mecanismo de assinaturas. Na notação ASN.1 temos:

```
DigestInfo ::= SEQUENCE {
      digestAlgorithm DigestAlgorithmIdentifier,
      digest Digest }
digestAlgorithmIdentifier ::= AlgorithmIdentifier
AlgorithmIdentifier ::= SEQUENCE {
      algorithm OBJECT IDENTIFIER,
      parameters ANY DEFINED BY algorithm OPTIONAL }
Digest ::= OCTET STRING
```

Módulo II.A

Certificados de Chave Pública X.509

Introdução

- Esforços recentes para melhorar a segurança na Internet levaram ao aparecimento de um grupo de protocolos (S/MIME, IPSec, etc.) que utilizam a criptografia de chave pública para garantir:
  - Confidencialidade
  - Integridade
  - Autenticação
  - Não repúdio.

- Esta utilização baseia-se no conceito de Certificado (de chave pública ou de atributos).

- A Public Key Infrastructure (PKI) tem como objectivo a gestão segura e eficiente de chaves e certificados para permitir essa mesma utilização.

Introdução$_{cont}$

- A utilização da criptografia de chave pública nas telecomunicações é regulamentada pela recomendação X.509 da International Telecommunications Union (ITU).

- A aplicação dessa recomendação à Internet está definida num conjunto de Requests For Comments (RFCs) publicados pela IETF.

- A Internet Engineering Task Force é uma comunidade internacional de produtores, operadores, vendedores e investigadores das tecnologias de redes, interessados no funcionamento e evolução da Internet.

- Dentro da IETF, o grupo que gere os RFCs relacionados com o X.509 chama-se "*PKIX Working Group*". Este grupo de trabalho mantém um conjunto de documentos que se denomina "*Internet X.509 Public Key Infrastructure*".

Certificados de Chave Pública

- Os utilizadores de um sistema baseado numa PKI devem poder confiar que, cada vez que utilizam uma chave pública, o agente com quem querem comunicar possui a chave privada associada.

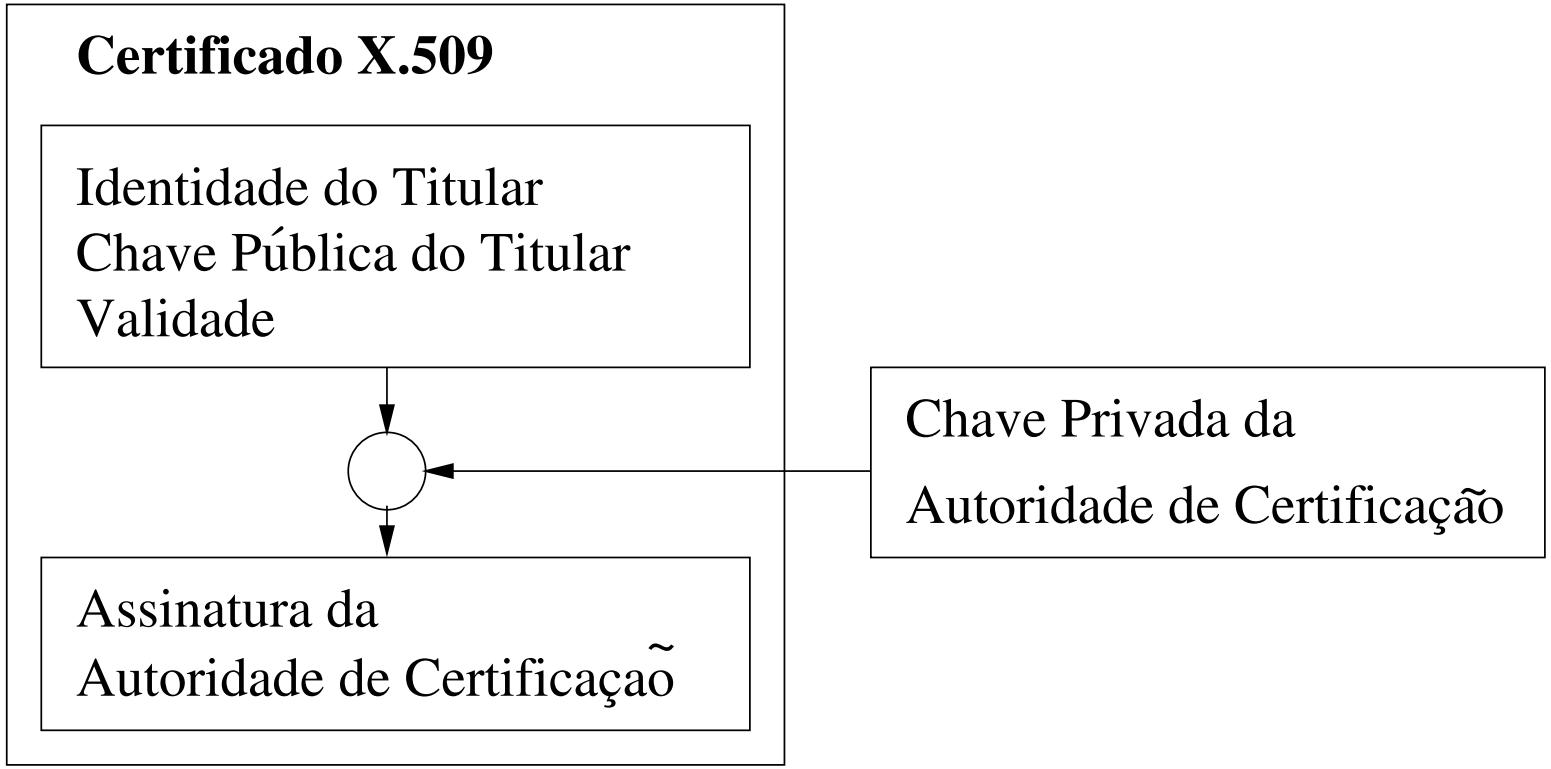
- Esta confiança é construída com base em Certificados de Chave Pública.

- Um Certificado de Chave Pública é uma estrutura de dados que associa uma chave pública a um determinado agente (a uma representação da sua identidade).

- A associação chave/agente é estabelecida por uma entidade terceira, uma Autoridade de Certificação, que assina digitalmente cada certificado.

- A utilidade de um certificado depende unicamente da **confiança** depositada na Autoridade de Certificação.

Certificados de Chave Pública$_{cont}$



Certificados de Chave Pública$_{cont}$

- O utilizador do certificado confia que a Autoridade de Certificação verificou que a chave pública contida no certificado pertence de facto ao titular do certificado.

- A assinatura da Autoridade de Certificação assegura a autenticidade e integridade do certificado.

- Um Certificado de Chave Pública é válido durante um período de tempo bem definido. Esse período vem especificado no conteúdo assinado.

- Como a assinatura e a validade temporal de um certificado podem ser verificados independentemente por um utilizador, os certificados podem ser distribuídos por canais inseguros. Será isto verdade para todos os certificados?

Certificados de Chave Pública$_{cont}$

- Os Certificados de Chave Pública são utilizados maioritariamente na validação de informação assinada digitalmente. Este processo consiste geralmente nos seguintes passos:

  1. O destinatário verifica que a identidade indicada pelo emissor está de acordo com a identidade indicada no certificado.
  2. O destinatário verifica que o certificado é válido:
     - que a assinatura do certificado é válida;
     - que foi efectuada por uma autoridade de certificação de confiança;
     - que o certificado está dentro do seu período de validade.
  3. O destinatário verifica que a informação que recebe está de acordo com as permissões/privilégios do emissor.
  4. O destinatário utiliza a chave pública contida no certificado para verificar a assinatura da informação recebida.

Certificados de Chave Pública$_{cont}$

- Se todos os passos anteriores forem executados sem problemas, o destinatário aceita que a informação foi assinada pelo emissor, e que essa informação permanece inalterada.

- Como é que se utiliza um certificado para proteger informação ao nível da confidencialidade?

- O certificado passa a ser utilizado pelo emissor, e contém informação relativa ao destinatário:

  1. o emissor valida o certificado e a identidade do destinatário;
  2. o emissor utiliza a chave pública contida no certificado para cifrar a informação;
  3. o emissor envia a informação cifrada ao destinatário que a decifra com a sua chave privada.

Certificados X.509 (V1)

- Surgiram em 1988 com a primeira versão do X.509. Um certificado deste tipo contém os seguintes campos:
  - **Version** version
  - **CertificateSerialNumber** serialNumber
  - **AlgorithmIdentifier** signature
  - **Name** issuer
  - **Validity** validity
  - **Name** subject
  - **SubjectPublicKeyInfo** subjectPublicKeyInfo

- A assinatura do certificado é efectuada pela Autoridade de Certificação (CA) sobre uma codificação DER da representação desta estrutura de dados em ASN.1.

Certificados X.509 (V2)

- Surgiram na revisão de 1993 do X.509. Não chegaram a ser muito utilizados porque pouco tempo depois surgiu a versão actual (V3).

- Foram introduzidos dois novos campos:
  - **UniqueIdentifier** issuerUniqueID
  - **UniqueIdentifier** subjectUniqueID

- Estes campos tentam rectificar o problema de ser muito difícil garantir que os campos do tipo **Name** tenham valores únicos.

- A IETF recomenda que as CAs não utilizem estes campos e garantam, na medida do possível, a unicidade dos nomes. Por outro lado recomenda que estes campos, caso existam, não devem ser ignorados.

Certificados X.509 (V3)

- Esta é a versão utilizada hoje em dia. Foi standardizada em 1996 e é compatível com as versões anteriores.

- Esta versão veio colmatar as deficiências que as versões anteriores apresentavam para algumas aplicações e que consistiam básicamente na necessidade de mais atributos.

- Como inovação, esta versão introduziu um novo campo do tipo **Extensions**: uma colecção de elementos do tipo **Extension**.

- Estas extensões permitem a associação de atributos genéricos a um agente ou à sua chave pública, de forma muito flexível.

- Cada extensão é ela própria uma estrutura de dados com um identificador e um valor adequado ao tipo do atributo que representa.

Certificados X.509 (V3): Atributos

- **version** Tem de estar de acordo com o conteúdo do certificado.
- **serialNumber** Número único atribuido pela CA.
- **signature** Estrutura que identifica o algoritmo utilizado para gerar a assinatura da CA que acompanha o certificado.
- **validity** Estrutura com as duas datas que delimitam o período de validade do certificado.
- **subjectPublicKeyInfo** Estrutura contendo a chave pública do titular do certificado e identificação do algoritmo correspondente.

Certificados X.509 (V3): Atributos$_{cont}$

- Os atributos **issuer** e **subject** identificam a CA e o titular do certificado respectivamente. Ambos são do tipo **Name**.

- O tipo **Name** provém da norma X.501 e é utilizado porque permite a compatibilidade com os sistemas de directório definidos nas normas X.500 (e.g. DAP e LDAP).

- O tipo **Name** é uma colecção de atributos, geralmente $strings$ da forma "$< nome > = < valor >$". Estes atributos definem um **Distinguished Name** para o agente titular.

- O **Distinguished Name** tem uma estrutura hierárquica. Inclui por exemplo, o país, a organização e o nome próprio do agente ou entidade.

Certificados X.509 (V3): Atributos$_{cont}$

- A norma X.520 standardiza alguns dos componentes de um Distinguished Name. Os seguintes são de reconhecimento obrigatório e são muito utilizados:
  - country (C)
  - organization (O)
  - organizational-unit (OU)
  - common name (CN)
  - serial number (SN)

- Algumas aplicações importantes utilizam também o endereço de e-mail como um dos atributos centrais da construção do Distinguished Name.

- Exemplo: C=PT, O=UMINHO, OU=DI, CN=MBB

Certificados X.509 (V3): Extensões

- As extensões são marcadas como **Critical** ou **Non Critical**.
- Uma aplicação que encontre uma extensão crítica que não reconheça tem de rejeitar o certificado.
- Não são permitidas várias instâncias da mesma extensão.
- O RFC3280 da IETF normaliza as extensões recomendadas para utilização na Internet, definindo o identificador (OBJECT IDENTIFIER) e o tipo de dados associado.
- São desaconcelhados desvios desta recomendação, nomeadamente no que diz respeito a extensões críticas, apesar de não haver qualquer limitação a nível do standard.

Certificados X.509 (V3): Extensões$_{cont}$

- **Subject Key Identifier** Serve para identificar o certificado que contém uma determinada chave pública e.g. quando um agente tem várias. é, em geral, um valor de hash derivado da chave pública que, caso esta extensão não conste do certificado, pode ser calculado em run-time.

- **Authority Key Identifier** Serve para identificar a chave pública da CA que assinou o certificado, caso existam várias, o que facilita a verificação de cadeias de certificação. Isto pode ser feito
  - identificando o certificado da CA através do seu **Subject** e **Serial Number**;
  - ou através da extensão **Subject Key Identifier** do certificado da CA.

- **Subject/Issuer Alternative Name** Permitem associar formas de identificação alternativas ao titular do certificado ou à CA que o emitiu, e.g. e-mail, nome DNS, endereço IP, URI, etc.

Certificados X.509 (V3): Extensões$_{cont}$

- **Basic Constraints** Permite assinalar um certificado como pertencendo a uma CA e limitar o comprimento de cadeias de certificados.

- **Certificate Policies** Permite incluir informação relativa às políticas de certificação aplicáveis ao certificado:
  - Para certificados de utilizador, permite especificar em que condições o certificado foi emitido e quais as restrições associadas à sua utilização.
  - Para certificados de CAs, permite definir as políticas de certificação aplicaveis por CAs hierarquicamente inferiores.

- **Policy Mappings** Permite a uma CA declarar que algumas das suas políticas são equivalentes às políticas de certificação de outra CA.

  (As hierarquias de CAs serão estudadas mais tarde.)

Certificados X.509 (V3): Extensões$_{cont}$

- **Key Usage** Esta extensão permite restringir as utilizações do par de chaves associado ao certificado e.g. quando uma chave apenas pode ser utilizada para verificar assinaturas digitais. Esta extensão contempla as seguintes utilizações:
  - **digitalSignature** Assinaturas digitais para autenticação e protecção da integridade de dados, excepto certificados e CRLs.
  - **nonRepudiation** Assinaturas digitais para não repúdio.
  - **keyEncipherment** Protecção da confidencialidade de chaves.
  - **dataEncipherment** Protecção da confidencialidade de dados.
  - **keyAgreement** Protocolos de acordo de chaves.
  - **keyCertSign** Assinatura de certificados.
  - **cRLSign** Assinatura de CRLs.
  - **encipherOnly**/**decipherOnly** Restringem a funcionalidade **keyAgreement**.

Certificados X.509 (V3): Extensões$_{cont}$

- **Extended Key Usage** Permite especificar ou restringir as utilizações previstas para o par de chaves associado ao certificado, em adição ou em alternativa à extensão **Key Usage**. Estão definidas diversas utilizações, bem como a sua relação com as especificadas na extensão **Key Usage**:
  - WWW server authentication
  - WWW client authentication
  - Signing of downloadable executable code
  - E-mail protection
  - . . .

- **CRL Distribution Points** Serve para indicar ao utilizador de um certificado onde pode obter informação quanto à revogação do certificado na forma de **Certificate Revocation Lists** (CRLs).

Certificados X.509 (V3): Codificação

- Os certificados, como todas as estruturas de dados na PKI, são definidos e representados em ASN.1. A codificação é feita utilizando as Dinstinguished Encoding Rules (DER).

- O ficheiro que contém um certificado X.509 consiste na codificação DER da seguinte estrutura ASN.1:

```
Certificate  ::=  SEQUENCE  {
        tbsCertificate          TBSCertificate,
        signatureAlgorithm      AlgorithmIdentifier,
        signatureValue          BIT STRING  }
```

- Além da estrutura de atributos apresentada nos slides anteriores (**tbsCertificate**), aparece também a assinatura da Autoridade de Certificação (**signatureAlgorithm** e **signatureValue**).

Módulo II.B

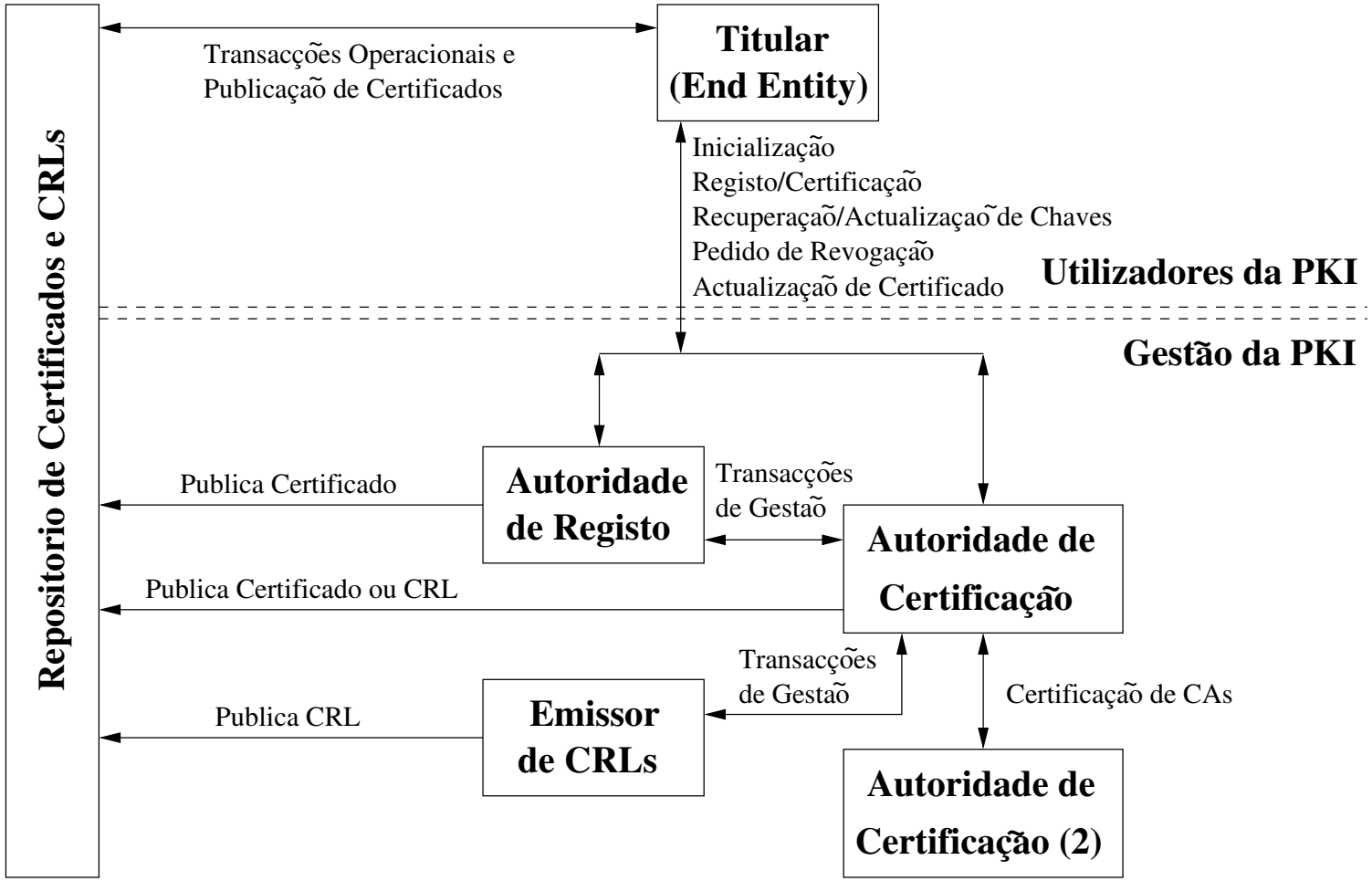
Infraestrutura de Chave Publica (PKI)

Introdução

- Uma Public Key Infrastructure define-se como o conjunto de hardware, software, pessoas, políticas e procedimentos necessários para criar, gerir, armazenar, distribuir e revogar Certificados de Chave Pública.

- Uma PKI é composta por cinco tipos de componentes:
  - **Titulares** de Certificados de Chave Pública, que possuem as chaves privadas e as utilizam para decifrar mensagens e assinar documentos.
  - **Clientes** que utilizam a chave pública contida num certificado para cifrar mensagens e verificar assinaturas.
  - **Autoridades de Certificação**, que emitem e revogam certificados.
  - **Autoridades de Registo** que garantem a associação entre chaves públicas e identidades de titulares (são opcionais).
  - **Repositórios** que armazenam e disponibilizam certificados e CRLs.

Arquitectura



Arquitectura$_{cont}$

- O funcionamento de uma PKI baseia-se em dois tipos de protocolos:
  - **Protocolos Operacionais** Estes protocolos são necessários para entregar certificados e CRLs aos sistemas que os utilizam. Estas operações podem ser efectuadas de diversas formas, incluindo o LDAP, HTTP e FTP. Para todos estes meios estão especificados protocolos operacionais que definem, inclusivamente, os formatos das mensagens.
  - **Protocolos de Gestão** Estes protocolos são necessários para dar suporte às interacções entre os utilizadores e as entidades de gestão da PKI, nomeadamente:
    * Inicialização.
    * Registo e Certificação.
    * Recuperação e Actualização de pares de chaves.
    * Pedido de revogação.
    * Certificação de CAs.

PKI: Operações

- **Inicialização** Consiste no processo inicial que permite ao utilizador comunicar com a PKI: o utilizador toma conhecimento das CAs em que confia e adquire as chaves públicas e certificados correspondentes, gera o seu par de chaves, etc.

- **Registo** Uma end entity (utilizador) dá-se a conhecer perante uma CA (directamente, ou através de uma RA) para que a CA possa emitir um certificado para essa entidade. O utilizador fornece informação de identificação que deve ser verificada pela CA (RA).

- **Geração de Par de Chaves** Em algumas implementações, as CAs encarregam-se de gerar o par de chaves da entidade.

- **Certificação** A CA recebe a chave pública do utilizador e a sua identificação e emite o respectivo certificado, segundo regras internas.

PKI: Operações$_{cont}$

- **Publicação de Certificados e CRLs** Esta tarefa pode ser feita directamente pela CA, ou indirectamente por entidades como RAs. Além de colocar os certificados e CRLs em repositórios é muitas vezes necessário fazer estes documentos chegar aos utilizadores finais por outros meios (on-line ou não).

- **Revogação** Quando um certificado é emitido o seu período util de vida está pré-definido. No entanto, pode haver a necessidade de invalidar o certificado antes do fim desse período por diversos motivos (e.g. um despedimento, o comprometimento da chave privada, etc.). A revogação de certificados faz-se através de CRLs. As CRLs vão ser analizadas em detalhe mais tarde.

PKI: Operações$_{cont}$

- **Recuperação de um Par de Chaves** Em algumas implementações as CAs armazenam o par de chaves da entidade como $back\text{-}up$ e protecção e.g. no caso de uma empresa e os seus empregados.Nestes casos o par de chaves pode ser restaurado em caso de extravio ou danificação do seu suporte.

- **Actualização de Par de Chaves** Todos os pares de chaves precisam de ser alterados, periódicamente por razões de segurança, ou simplesmente porque a segurança da chave privada foi corrompida.

- **Certificação de CAs** Os certificados das CAs chamam-se **cross certificates**. São utilizados para a validação de cadeias de certificados, mas também podem ser utilizados para outros fins e.g. comunicação segura entre uma entidade e a CA.

Cadeias de Certificação e Confiança

- Para utilizar um serviço que requeira o conhecimento de uma chave pública, é necessário obter e validar um certificado que a contenha.
- A validação do certificado implica, por sua vez, o conhecimento da chave pública da Autoridade de Certificação que o emitiu e, consequentemente, a obtenção e validação do certificado que a contém.
- A validação do certificado da CA poderá implicar o conhecimento da Chave Pública de outra CA que o tenha emitido, e assim sucessivamente.
- Chama-se a esta sequência uma **Cadeia de Certificação**.
- Em geral, para se conhecer e confiar numa chave pública é necessário validar o certificado dessa chave, e zero ou mais certificados de CAs.

Cadeias de Certificação e Confiança$_{cont}$

- A validação de um certificado segue o seguinte algoritmo:
  - Para todo o $x = 1, ..., n-1$, o `subject` do certificado x é o emissor do certificado $x+1$;
  - O certificado 1 é emitido pela **raiz da relação de confiança**;
  - O certificado n é o certificado a ser validado; e . . .
  - Para todo o $x = 1, ..., n$, verifica-se que o certificado é válido na altura da sua utilização.

- Perguntas:
  - Onde termina a validação de uma cadeia de certificados?
  - O que é a raiz da relação de confiança?
  - Se cada chave pública implica um certificado, e vice-versa, o que aparece primeiro?

Cadeias de Certificação e Confiança$_{cont}$

- As cadeias de certificação reflectem uma **hierarquia** de Autoridades de Certificação.

- As CAs hierarquicamente superiores emitem os certificados das CAs hierarquicamente inferiores.

- No topo da hierarquia reside uma CA denominada **Root** ou raiz. O certificado desta CA é emitido e assinado por ela própria: os campos `subject` e `issuer` do seu certificado são iguais.

- A confiança na chave pública de uma Root CA **não depende** de outra CA. é estabelecida por um meio externo à PKI.

- Por exemplo, a utilização de uma instalação comum do MS Windows implica a "confiança" em dezenas de Root CAs!

Cadeias de Certificação e Confiança$_{cont}$

- Um utilizador conhece um número limitado de chaves públicas pertencentes a CAs (em geral Root CAs) e que funcionam como raizes das relações de confiança.

- Isso significa que o utilizador aceitará um certificado emitido por uma dessas CAs e que depositará um determinado nível de confiança no seu conteúdo.

- A validação de uma cadeia de certificados terminará quando for encontrado um certificado com essa característica.

- Conclusão: o grau de confiança depositada num certificado validado baseia-se apenas na confiança depositada na CA que funcionou como raiz da relação de confiança.

Políticas de Certificação

- De uma forma geral, a confiança que é depositada numa CA depende, em última instância, da sua política de certificação, e da forma como essa política é implementada.

- Essa confiança é influenciada por diversos factores internos e externos à PKI. Factores externos, como a credibilidade da instituição ou empresa que suporta a CA e o seu país de origem são obviamente importantes.

- No entanto, o conceito de PKI prevê uma forma de "ancorar" a confiança que se deposita numa CA, naquilo que de facto importa: as leis da sociedade em que a PKI opera.

- Isto é feito através das chamadas **Certificate Policies** ou CP.

Certificate Policies

- Uma Certificate Policy é um conjunto de regras que define a aplicabilidade de certificados a uma determinada comunidade ou classe de aplicações:
  - Qual a legislação em que se baseará a emissão e utilização dos certificados.
  - Quais os requisitos e as responsabilidades (nomeadamente legais e financeiras) associados a CAs e RAs.
  - Quais os requisitos e as responsabilidades associados a Titulares e Clientes.
  - Restrições ao conteúdo e utilização dos certificados e.g. apenas autenticação, somas máximas envolvidas numa transacção, etc.
  - Procedimentos a serem implementados relativamente a diversos aspectos do funcionamento de CAs e RAs.

- Cada CP é identificada por um `ObjectIdentifier` que pode ser incluido na extensão **Certificate Policies** de um certificado.

Certification Practice Statements

- Cada CA publica uma ou mais **Certification Practice Statements** (CPS), nas quais publicita as suas normas de operação internas. Uma CPS explica a forma como uma CA implementa um determinado conjunto de **Certificate Policies** (CP).

- Em geral, a acreditação de uma CA de acordo com uma determinada CPS implica uma auditoria efectuada por (ou em nome de) uma entidade denominada **Policy Management Authority**.

- Por exemplo, a PKI Governamental do Canadá define oito CPs correspondentes a quatro níveis de segurança na utilização de certificados em assinaturas digitais e protecção de dados.

- Uma CA que pretenda emitir certificados que em conformidade com estas políticas tem de ser acreditada pelo estado Canadiano.

Políticas de Certificação na Prática

- Uma parte significativa do RFC3280 é dedicada às políticas de certificação e ao efeito de uma política de certificação imposta num determinado ponto da hierarquia de certificação.

- Como foi já referido, esta especificação define também as extensões que permitem incluir este tipo de informação nos certificados X.509.

- De facto, associada a cada certificado pode estar uma lista de políticas aplicáveis à sua utilização ou, no caso do certificado de uma CA, uma lista das políticas aceitáveis para os certificados hierarquicamente inferiores.

- Durante a validação de um certificado é necessário propagar as políticas impostas desde o topo da hierarquia até à sua base.

Políticas de Certificação na Prática$_{cont}$

- A informação contida nos certificados inclui uma componente processável num algoritmo de resolução deste problema, algoritmo esse que está também definido no RFC3280.

- A política em vigor na base da hierarquia de certificação resulta da reunião das políticas em vigor nos níveis superiores, com a ressalva de que uma política inserida num determinado nível não pode contradizer uma política de nível superior.

- Compete ao utilizador determinar se a política associada a um determinado certificado é aceitável ou não.

- é também possível incluir num certificado uma CPS, de forma directa ou referenciada, bem como informação dirigida ao utilizador final sobre as condições de emissão do certificado.

Módulo II.C

Certificate Revocation Lists (CRL)

Introdução

- As **Certificate Revocation Lists (CRL)** são o canal previsto no X.509 para a revogação de certificados dentro do período de validade. Uma CRL diz-se:
  - **Base CRL** quando lista todos os certificados revogados por uma CA que ainda estão no seu período de validade.
  - **Delta CRL** quando apenas lista os certificados revogados desde a publicação de uma Base CRL referenciada.

- As CRLs são emitidas, em geral, pelas próprias CAs. No entanto é possível que a CA delegue esta função numa outra autoridade denominada **CRL Issuer**. Uma CRL emitida nestas condições denomina-se **CRL Indirecta**.

- Cada CRL tem um contexto específico: o conjunto de certificados passíveis de aparecerem no seu conteúdo. Para que uma CRL possa ser utilizada eficientemente, este contexto deve estar bem definido.

CRLs: Estrutura e Atributos

- Uma CRL contém os seguintes campos:
  - **Version** version
  - **AlgorithmIdentifier** signature
  - **Name** issuer
  - **Time** thisUpdate
  - **Time** nextUpdate
  - Lista de certificados revogados.

- A assinatura da CRL é efectuada pela Autoridade de Certificação (CA) sobre uma codificação DER da representação desta estrutura de dados em ASN.1.

- O campo **version** é opcional e deve ter o valor 2 uma vez que as CRLs foram introduzidas na versão 2 do X.509. O campo **signature** tem o mesmo significado que nos certificados.

CRL: Estrutura e Atributos$_{cont}$

- O campo **thisUpdate** indica a data de publicação da CRL.
- O campo **nextUpdate** é muito importante uma vez que permite ao utilizador conhecer uma data a partir da qual é garantido ter sido publicada uma nova CRL.
- A lista de certificados revogados é representada por uma sequência de registos que indicam o titular e número de série de cada certificado, bem como a data em que foi revogado.
- A definição de CRL contempla também a inclusão de extensões, tanto dos atributos globais da CRL, como dos atributos associados a cada certificado revogado.

CRL: Extensões Globais

- **Authority Key Identifier** Semelhante à utilizada nos certificados, permite identificar o certificado que contém a chave pública da CA que permite validar a CRL.

- **Issuer Alternative Name** Semelhante à utilizada nos certificados, permite indicar identificações alternativas para a CA.

- **CRL Number** Permite incluir um número sequencial que serve como número de ordem da CRL dentro do seu contexto específico.

- O CRL Number serve também para as Delta CRLs referenciarem as Base CRLs correspondentes.

CRL: Extensões Globais$_{cont}$

- **Delta CRL Indicator** Marca a CRL como sendo uma Delta CRL, e referencia a Base CRL correspondente.
- **Issuing Distribution Point** Identifica o ponto de distribuição da CRL, bem como o seu contexto e.g. o tipo de certificados que revoga, as possíveis razões de revogação, etc.
- **Delta CRL Distribution Point** Permite, nas Base CRLs, indicar onde pode ser obtida a Delta CRL correspondente mais recente.
- Os pontos de distribuição são indicados como URIs, e apontam sempre para a CRL mais recente, num dado contexto.

CRL: Extensões às Entradas

- **Reason Code** Permite indicar uma razão para o aparecimento do certificado na CRL.

- Em geral, a razão será a revogação de um certificado por um determinado motivo e.g. chave privada comprometida, segurança da CA comprometida, alteração de filiação ou de previlégios, existência de uma versão mais recente do certificado, fim da operação da CA.

- No entanto, é possível um certificado não ser imediatamente revogado, mas ser suspenso. O valor `certificateHold` está definido para esta extensão precisamente para este efeito.

- Um certificado suspenso numa CRL pode ser reactivado numa CRL posterior atribuindo o valor `removeFromCRL` a esta extensão.

CRL: Extensões às Entradas$_{cont}$

- **Hold Instruction Code** Quando um certificado é suspenso, é possível indicar a acção que deve ser tomada quando a utilização do certificado for necessária: rejeitar o certificado ou contactar a CA.

- **Invalidity Date** Permite indicar a data em que se suspeita que o certificado deixou de ser válido.

- **Certificate Issuer** Nas CRLs Indirectas utiliza-se esta extensão para identificar a CA que emitiu o certificado revogado.

CRL: Publicação periódica e segurança

- A segurança de uma PKI depende da eficácia com que são revogados os certificados que se tornaram inválidos. Este facto sugere que assim que um certificado se torna inválido uma nova CRL deva ser publicada.

- No entando, desta forma, um utilizador nunca saberia qual a CRL mais recente. Isto possibilitaria ataques do tipo:
  - Um intruso controla o meio de comunicação que liga o utilizador ao ponto de publicação de uma CRL.
  - O utilizador pretende utilizar um certificado cuja chave privada foi comprometida, e que é conhecida pelo intruso.
  - O utilizador tenta obter a CRL mais recente, que revogaria o certificado. O intruso fornece-lhe uma versão antiga da CRL.
  - O utilizador aceita o certificado porque não tem como saber que a CRL que utilizou estava desactualizada.

CRL: Publicação periódica e segurança$_{cont}$

- De facto, a utilidade de uma CRL depende do facto de ela ser publicada periódicamente e.g. diáriamente, semanalmente, mensalmente, etc.
- Isto permite também que a CRL seja pública, e distribuida por canais não seguros.
- Compete ao utilizador estar ao corrente da frequência de publicação das CRLs, e definir uma política sobre o que é uma CRL "suficientemente recente".
- O atributo `nextUpdate` permite indicar na própria CRL a altura a partir da qual é garantida a publicação de uma nova CRL.

CRL: Publicação periódica e segurança$_{cont}$

- O utilizador está consciente de que, a menos que obtenha a última versão da CRL, estará a correr o risco de aceitar certificados inválidos.

- Isto não quer dizer que não possam ser publicadas CRLs extraordinárias, fora da frequência normal de publicação.

- Isto pode ocorrer, por exemplo, se um certificado importante tem de ser revogado porque a chave privada correspondente foi comprometida e.g. o certificado de uma CA hierarquicamente inferior.

- No entanto, a granularidade garantida nunca é inferior ao período de publicação da CRL: não é possível garantir que os utilizadores obtenham a CRL extraordinária antes da data de publicação da próxima CRL periódica.

CRLs: Codificação

- As CRLs, como todas as estruturas de dados na PKI, são definidos e representados em ASN.1. A codificação é feita utilizando as Dinstinguished Encoding Rules (DER).

- O ficheiro que contém uma CRL consiste na codificação DER da seguinte estrutura ASN.1:

```
CertificateList  ::=  SEQUENCE  {
        tbsCertList           TBSCertList,
        signatureAlgorithm    AlgorithmIdentifier,
        signatureValue        BIT STRING  }
```

- Além da estrutura de atributos apresentada nos slides anteriores (**tbsCertificate**), aparece também a assinatura da Autoridade de Certificação (**signatureAlgorithm** e **signatureValue**).

Módulo II.D

Problemas do X.509

Principais Críticas

- O X.509 baseia-se num sistema de directório. A chave primária desse directório é o Distinguished Name (DN): um DN tem de ser único. Mas como é que se garante esta unicidade?

- Se cada DN apenas pode ser associado a uma entidade, nada impede uma entidade de ter vários DNs. Além disso, nada obriga a que o DN contenha elementos de identificação baseados na identidade real da entidade. Assim, um certificado associa um DN a uma chave pública, mas não se pode dizer que identifique a entidade.

- As garantias que se esperam de uma CA relativamente à verificação da informação constante de um certificado não são abrangidas pela norma!

Principais Críticas$_{cont}$

- Em resumo, o X.509 não foca o esforço necessário para validar a informação constante num certificado, nem define um significado global para essa informação, um significado absoluto, exterior às CAs.

- O X.509 remete para as CPSs das CAs todos os aspectos relacionados com confiança e com semântica da informação constante num certificado.

- Os certificados não são legíveis directamente pelo utilizador: quem garante que uma aplicação mostra ao utilizador toda a informação relevante acerca de um certificado?

- O X.509 implica a utilização de um directório ou repositório para distribuição de certificados e CRLs.

Principais Críticas$_{cont}$

- As CRLs são muito pouco utilizadas, e reconhecidas por poucos como a solução para o problema das revogações de certificados.

- O conceito de "raiz da relação de confiança" e Root CA transfere o problema da confiança de um nível local para um nível global, potenciando os efeitos da ignorância ou da fraude.

- O processo de inicialização e manutenção de uma lista de certificados, nomeadamente de Root CAs em que uma entidade confia, está mal definido.

- Qualquer assinatura torna-se efectivamente inválida se deixar de existir um certificado válido que permita verifica-la!

- Qual a duração ideal do período de validade de um certificado?

Módulo II.E

PKCS: Public Key Cryptography Standards

Introdução

- A empresa RSA Data Security, formada pelos inventores das técnicas RSA de criptografia de chave pública, tem um papel importante na criptografia moderna.

- Nomeadamente, a sua divisão RSA Laboratories mantém uma série de standards denominada Public Key Cryptography Standards (PKCS) muito importantes na implementação e utilização de PKIs.

- Os PKCS visam preencher o vazio que existe nas normas internacionais relativamente a formatos para transferência de dados que permitam a compatibilidade/interoperabilidade entre aplicações que utilizem criptografia de chave pública.

- Existem doze standards deste tipo: PKCS#1, #3, #5, #6, #7, #8, #9, #10, #11, #12, #13 e #15.

Introdução$_{cont}$

- Os objectivos da RSA na publicação destes standards são, segundo eles próprios, os seguintes:
  - Manter a compatibilidade com os standards existentes, nomeadamente com PEM (Privacy-Enhanced Mail Protocol).
  - Ir além dos standards existentes, para permitir uma melhor e mais completa integração entre aplicações, normalizando a troca segura de qualquer tipo de dados.
  - Produzir um standard que possa ser incluído numa futura versão dos standards OSI (Open Systems Interconnection).

- Os PKCS descrevem a sintaxe de mensagens de uma forma abstracta, utilizando o ASN.1, e não restringem a sua codificação.

- A aproximação utilizada é a de especificar algoritmos criptográficos e a sintaxe de mensagens de forma ortogonal.

O que é que falta standardizar?

- Assinaturas digitais:
  - Como codificar e transferir este tipo de informação.
  - Como utilizar os diferentes algoritmos criptográficos (funções de hash e assinaturas digitais) para gerar e utilizar este tipo de informação.
  - Como armazenar, proteger e transferir chaves privadas.
  - Como codificar chaves privadas de algoritmos específicos.
  - Definir algoritmos de Password Based Encryption que permitam proteger chaves privadas com base numa password.

- Envelopes digitais:
  - Como codificar e transferir este tipo de informação.
  - Como utilizar os diferentes algoritmos criptográficos (cifras simétricas e cifras assimétricas) para gerar e utilizar este tipo de informação.
  - Como no caso anterior, como lidar com chaves privadas.

O que é que falta standardizar?$_{cont}$

- Certificação e PKI
  - Como codificar e transferir pedidos de certificação.
  - Como codificar e transferir certificados.
  - Como incluir um conjunto alargado de atributos num certificado.
  - Como codificar e transferir CRLs.
  - Como utilizar algoritmos de assinatura digital.
  - Como codificar as chaves públicas de algoritmos específicos.

- Acordo de Chaves
  - Como codificar e transferir as mensagens envolvidas, em termos abstractos.
  - Concretizar para algoritmos específicos e.g. Diffie-Hellman.

PKCS#1: RSA Encryption Standard

- Normaliza a utilização do algoritmo RSA nas seguintes aplicações:
  - **Assinaturas Digitais** A informação a assinar é inicialmente reduzida a um valor de hash utilizando um algoritmo de message digest (e.g. MD5). O resultado é então cifrado com a chave privada RSA.
  - **Envelopes Digitais** A informação a proteger é cifrada com a chave de sessão utilizando um algoritmo simétrico (e.g. DES). Posteriormente, a chave de sessão é cifrada com a chave pública RSA.

- O formato de uma mensagem contendo uma assinatura digital ou um envelope digital PKCS#1 está definido no PKCS#7.

- Esta norma também inclui uma sintaxe para chaves RSA que é compatível com as normas X.509 e PEM. Assim, é possível interligar aplicações PKI baseadas no RSA utilizando esta norma.

PKCS#3: Diffie-Hellman Key Agreement Standard

- Normaliza a utilização do protocolo de acordo de chaves Diffie-Hellman no estabelecimento de chaves secretas (de sessão).
- Destina-se a ser incluído, ao nível das Camadas de Rede e de Transporte, numa versão futura do modelo OSI.
- Este protocolo permite a dois utilizadores acordarem uma chave secreta, sobre um canal inseguro, sem trocarem informação que permita a um intruso obter essa mesma chave.

PKCS#5: Password-Based Encryption Standard

- Descreve um método para cifrar um array de bytes utilizando uma chave secreta calculada a partir de uma password (Password-Based Encryption ou PBE).

- Destina-se à protecção de chaves privadas em situações que exijam a sua transferência.

- Isto pode ser necessário, por exemplo, quando as chaves são geradas pela CA, e não pelo utilizador; ou quando o utilizador necessita transferir a chave para outra máquina.

- A cifragem utilizada baseia-se no DES.

PKCS#6: Extended-Certificate Syntax Standard

- Extende a definição de certificados X.509 permitindo a associação de outros atributos à entidade titular do certificado.

- O "PKCS#9: Selected Attribute Types" lista diversos atributos que podem ser incluídos num certificado X.509.

- Um exemplo de um atributo definido nestas normas é o endereço de e-mail do titular. Este atributo é bastante utilizado.

PKCS#7: Cryptographic Message Syntax Standard

- Define uma sintaxe para mensagens criptográficas, nomeadamente assinaturas digitais e envelopes digitais.
- Esta sintaxe admite recursividade, e.g. pode haver uma assinatura digital de um envelope digital.
- No caso das assinaturas digitais, permite a associação de atributos de natureza arbitrária aos dados assinados.
- Como caso particular desta sintaxe é também definido um meio para distribuir certificados e CRLs.
- é compatível com o PEM no sentido em que uma mensagem PKCS#7 pode ser convertida de e para mensagens PEM sem necessidade de operações criptográficas: basta alterar o formato.

PKCS#8: Private-Key Information Syntax Standard

- Define uma sintaxe para informação relativa a chaves privadas: o valor da chave, o algoritmo correspondente, e um conjunto de atributos associados.

- Define também uma sintaxe para chaves cifradas e.g. recorrendo às técnicas PBE definidas no PKCS#5.

- A norma PKCS#9 lista alguns dos atributos que podem ser associados a uma chave privada.

- Como exemplo de um atributo que pode ser associado a uma chave privada temos a identificação de uma Root CA. Desta forma é possível inicializar o utilizador com uma raiz para as suas relações de confiança.

PKCS#10: Certification Request Syntax Standard

- Define uma sintaxe para pedidos de certificação.

- Um pedido de certificação inclui:
  - os atributos de identificação do futuro titular do certificado;
  - outros atributos e.g. o endereço da entidade que faz a requisição para que lhe seja enviado o certificado.
  - a chave pública a incluir no certificado;
  - uma assinatura digital do pedido que simultâneamente demonstra o conhecimento da chave privada e assegura a integridade da mensagem.

- Pretende-se que um pedido deste tipo forneça à CA toda a informação necessária para gerar o certificado. Note-se no entanto que existem outros aspectos a ter em conta no processo de certificação, nomeadamente a prova de identidade que tem de ser fornecida pelo titular do certificado.

PKCS#12: Personal Information Exchange Syntax

- Descreve uma sintaxe para a transferência de informação de identificação pessoal, incluindo chaves privadas, certificados, chaves secretas e extensões.

- é uma norma muito útil uma vez que é utilizada por diversas aplicações (e.g. IE e Mozilla) para importar e exportar este tipo de informação.

- Suporta a transferência de informação pessoal em diferentes condições de manutenção da privacidade e integridade.

- O grau de segurança mais elevado prevê a utilização de assinaturas digitais e cifras assimétricas para protecção da informação.

PKCS#12: Personal Information Exchange Syntax$_{cont}$

- Isto implica a utilização de certificados e pares de chaves associados às plataformas de origem e destino, entre as quais se transfere a informação.
- Um nível de segurança intermédio prevê a utilização de PBE para protecção dos segredos.
- Esta norma é uma extensão do PKCS#8 para transferência de informação de identificação pessoal.

PKCS#11, PKCS#13 e PKCS#15

- As normas PKCS#11 e PKCS#15 referem-se à utilização de dispositivos portáteis em criptografia, e serão abordadas mais adiante.

- A norma PKCS#13 está ainda em desenvolvimento e será dedicada às técnicas criptográficas baseadas em curvas elípticas.

Módulo II.F

Certificados de Atributos

Introdução

- Os certificados de chave pública associam uma identidade a uma chave pública. Os Certificados de Atributos constituem um caso mais genérico: **associam um conjunto de atributos a uma identidade**.

- Os atributos num certificado deste tipo dizem geralmente respeito a **autorizações (permissões ou previlégios)** conferidas a uma determinada entidade, num dado contexto.

- O facto de também serem definidos na recomendação X.509 torna a designação "certificado X.509" ambígua.

- O RFC3281 da IETF é uma recomendação para a utilização deste tipo de certificados na internet, definindo os atributos e extensões mais comuns.

Introdução$_{cont}$

- A distinção entre certificado de chave pública e certificado de atributos faz-se geralmente com base na analogia passaporte/visto:
  - Um passaporte identifica o seu titular e é um documento com um período de validade extenso.
  - Um visto é obtido por um processo mais simples, mediante a apresentação de um passaporte, é válido por um período de tempo curto, e confere ao utilizador um determinado previlégio.

- Os atributos relacionados com autorizações podem ser incluídos nos certificados de chave pública como extensões. No entanto:
  - Os previlégios atribuídos são, em geral, válidos por menos tempo do que é habitual para um certificado de chave pública.
  - A autoridade que confere os previlégios não é, em geral, a mesma que emite os certificados de chave pública.

Utilização

- Os certificados de chave pública são utilizados para demonstrar a identidade de um agente, por exemplo no controlo de acessos.

- No entanto, em muitas aplicações de controlo de acesso a recursos a identidade não é o principal critério considerado: as autorizações (permissões e privilégios) conferidas ao agente são tão ou mais importantes do que a identidade (role-based access).

- Na prática é necessário efectuar dois tipos de verificação:
  - A de que o certificado de atributos apresentado confere ao titular a autorização necessária para efectuar o acesso.
  - Que a entidade que apresentou o certificado de atributos é, de facto, o seu titular.

Utilização$_{cont}$

- Esta segunda parte implica geralmente a utilização do certificado de chave pública do titular e a verificação de que o agente conhece a chave privada correspondente.

- Uma forma eficiente de facilitar este tipo de procedimento consiste em referenciar o certificado de chave pública directamente no certificado de atributos.

- Os certificados de atributos podem ser também utilizados na autenticação da origem de dados (assinatura digital) e não repúdio.

- Nestes casos, os certificados de atributos fornecem mais informação sobre o signatário, nomeadamente se é uma entidade competente para assinar a informação.

Delegação de Autorizações

- O X.509 define "autorização" como o acto de uma entidade detentora de um privilégio, o conferir a uma outra entidade. Os certificados de atributos são um meio de implementar este processo.

- Uma autorização pode ser conferida directamente, ou através de uma sequência de **delegações**, cada uma delas representada por um AC.

- No entanto, o RFC3281 desaconcelha este tipo de estrutura, uma vez que o processo de verificação destas cadeias se torna demasiado complexo.

- De facto, este documento aconselha apenas as utilizações mais simples dos certificados de atributos na internet: uma autoridade emite todos os certificados respeitantes a um determinado conjunto de atributos.

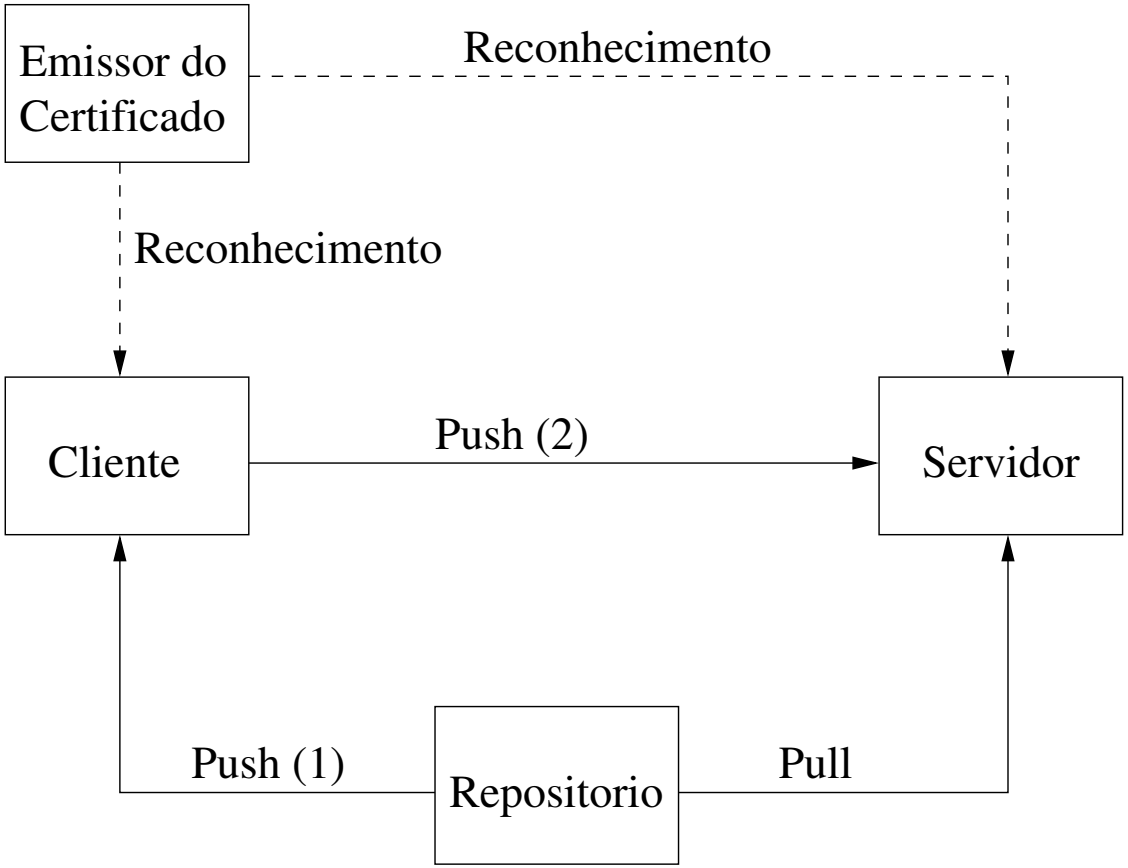
Funcionalidades Avançadas

- **Cifragem de Atributos** Os atributos estão definidos segundo uma sintaxe flexível que permite a sua inclusão na forma de texto limpo ou na forma cifrada. Isto pode ser necessário, por exemplo, no caso de pares login/password requeridos por aplicações legacy.

- **Utilização de Proxys** Refere-se a situações em que um servidor actua como cliente perante outro servidor, em nome do titular de um certificado de atributos. Nestes casos, o servidor intermediário pode funcionar como proxy dos certificados de atributos, armazenando-os localmente.

- **Utilização de ObjectDigestInfo** A associação de certificados de atributos a objectos, em vez de a entidades, é uma funcionalidade opcional.

Distribuição



Distribuição$_{cont}$

- A interacção entre entidades utilizando certificados de atributos pode ser implementada segundo dois modelos:
  - **Modelo Push** Apropriado a aplicações intra-domínio, o utilizador apresenta o seu certificado directamente ao servidor.
  - **Modelo Pull** Apropriado a aplicações inter-domínio, o utilizador identifica-se perante o servidor, que procura o certificado apropriado junto da autoridade correspondente.

- Numa interacção intra-domínio a autoridade emissora está acessível a clientes e servidor (pode mesmo estar dentro do domínio). Nas interacções inter-domínio a autoridade emissora está, típicamente, associada ao servidor.

- Utilizando o Modelo Pull, a funcionalidade dos certificados de atributos pode ser incorporada numa aplicação sem alterações do lado do cliente.

Atributos Básicos

- **version** Versão da norma X.509 na qual o certificado se baseia. Toma o valor v2.

- **holder** Identificação do titular. Este campo pode tomar três formas alternativas (é uma união):
  - O número de série e o `issuer` do certificado de chave pública do titular (**baseCertificateID**). Esta opção deve ser utilizada quando a aplicação recorre ao certificado de chave pública do utilizador.
  - O nome do titular do certificado, com possível correspondência no campo `subject` do certificado de chave pública do titular (**entityName**).
  - A referência a um objecto e.g. a uma classe de java ou a uma chave pública (**objectDigestInfo**).

Atributos Básicos$_{cont}$

- **issuer** A autoridade que emitiu o certificado identificada pelo seu **Distinguished Name**.
- **signature** Identificador do algoritmo de assinatura digital utilizado para assinar o certificado.
- **serialNumber** Número de série atribuido ao certificado pelo `issuer`.
- **attrCertValidityPeriod** Par ordenado de datas que delimita o período de validade do certificado.
- **attributes** Lista de atributos que constam no certificado.

Atributos Básicos$_{cont}$

- **issuerUniqueID** Este campo não deve ser utilizado. Corresponde ao campo com o mesmo nome definido na versão 2 do X.509 para os certificados de chave pública.

- **extensions** Lista de extensões ao certificado, semelhante ao que se encontra nos certificados de chave pública.

- Os nomes utilizados nos certificados de atributos são do tipo **General Names**, mais genérico que o `DistinguishedName` utilizado nos certificados de chave pública.

- Um `GeneralName` pode ser um `DistinguishedName` , mas pode também tomar outras formas: um nome DNS, um IP, um URI, etc.

Atributos

- **Service Authentication Information** Permite incluir informação de validação da identidade do titular perante outro serviço no domínio do servidor. Típicamente:
  - O servidor funciona como intermediário.
  - Inclui pares login/password para utilização em aplicações **legacy**.
  - Esta informação estará, geralmente, cifrada.

- **Access Identity** Identificador do titular no sistema que é acedido através do servidor. Diferente do anterior na medida em que não inclui informação de autenticação.

Atributos$_{cont}$

- **Charging Identity** Identificação do titular para transacções que envolvam pagamentos. Esta pode ser diferente, por exemplo quando as despesas são cobradas à organização a que o titular pertence.

- **Group** Informação relativa aos grupos de utilizadores a que titular pertence.

- **Role** Informação relativa ao papel que o titular desempenha no sistema e.g administrador.

- **Clearance** Informação relativa ao nível de acesso atribuido ao titular, para diversas categorias de recursos. Os níveis de acesso pré-definidos são: *unmarked*, *unclassified*, *restricted*, *confidential*, *secret* e *top-secret*.

Extensões

- **Audit Identity** Permite associar um identificador único ao titular do certificado para que a sua actividade possa ser registada por servidores:
  - sem violar leis de privacidade, o que aconteceria registando a identificação do titular e.g. o `DistinguishedName` , e
  - para os diversos certificados de atributos utilizados pelo mesmo titular, para diversos fins e ao longo do tempo.
  - Quando a identificação do titular for necessária (e.g. por quebra de legislação) esta pode ser obtida através do emissor.

- **AC Targeting** Pode ser utilizada para restringir o conjunto de servidores/serviços onde o certificado pode ser utilizado.

Extensões$_{cont}$

- **Authority Key Identifier** Serve para identificar a chave pública do emissor que assinou o certificado, caso existam várias. Equivalente à definida para os certificados de chave pública.

- **Authority Information Access** Se presente, indica que o emissor disponibiliza informação sobre a revogação de certificados via OCSP.

- **CRL Distribution Points** O local onde podem ser obtidas as CRLs relevantes. Equivalente à definida para os certificados de chave pública.

- **No Revocation Available** Se presente, indica que o emissor não disponibiliza informação sobre a revogação de certificados.

Codificação

- Os certificados de atributos são definidos e representados em ASN.1. A codificação é feita utilizando as Dinstinguished Encoding Rules (DER).

- O ficheiro que contém um Certificado de Atributos consiste na codificação DER da seguinte estrutura ASN.1:

```
AttributeCertificate ::= SEQUENCE {
   acinfo AttributeCertificateInfo,
   signatureAlgorithm AlgorithmIdentifier,
   signatureValue BIT STRING
}
```

- Além da estrutura de atributos apresentada nos slides anteriores (**AttributeCertificateInfo**), aparece também a assinatura da autoridade emissora (**signatureAlgorithm** e **signatureValue**).