



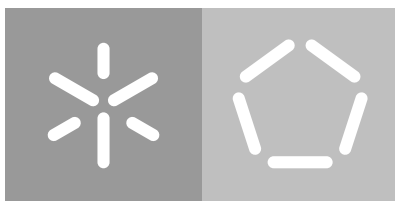
Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

José Carlos Lima Martins

CLAV:
API de dados e Autenticação

Relatório de Pré-Dissertação

December 2019



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

José Carlos Lima Martins

CLAV:
API de dados e Autenticação

Relatório de Pré-Dissertação

Master dissertation
Master Degree in Computer Science

Dissertation supervised by
José Carlos Leite Ramalho

December 2019

ABSTRACT

Write abstract here (en)

RESUMO

Escrever aqui resumo (pt)

CONTEÚDO

1	INTRODUÇÃO	2
1.1	Motivação	2
1.2	Objetivos	3
2	ESTADO DA ARTE	4
2.1	Estado da Arte do CLAV	4
2.1.1	Estrutura	4
2.1.2	Formas de autenticação	5
2.2	JSON Web Token (JWT)	8
2.2.1	Estrutura do JWT	9
2.2.2	Criação de JWT/JWS	12
2.2.3	Alternativas ao JWT	13
2.3	Autorização de pedidos à API	15
2.3.1	Verificação dos <i>tokens</i> no servidor API	18
2.4	Autenticação.gov	20
2.4.1	SAML 2.0	22
2.5	Swagger	22
2.6	Swagger-UI	23
3	O PROBLEMA E OS SEUS DESAFIOS	24
4	CONCLUSÃO	25

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Estrutura do CLAV incluindo a interação de um utilizador com a mesma	5
Figura 2	Fluxo do <i>login</i> de um utilizador através do Autenticação.gov	8
Figura 3	Exemplo de representação compacta de JWT (quebra de linhas por forma a melhorar leitura)	9
Figura 4	Criação de um JWT	12
Figura 5	Criação de um JWS	13
Figura 6	Fluxo de autenticação e posteriores pedidos de um utilizador	16
Figura 7	Fluxo de autenticação e posteriores pedidos de uma chave API	17
Figura 8	Fluxo de pedidos entre CLAV e o Autenticação.gov de forma a autenticar um utilizador na CLAV . Fonte: AMA (2018)	21

LISTA DE TABELAS

LISTA DE EXEMPLOS

2.1	<i>Header</i> usado para construir o JWT da figura 3	10
2.2	<i>Payload</i> usado para construir o JWT da figura 3	11
2.3	<i>Signature</i> usado para construir o JWT da figura 3	11
2.4	Verificação se um pedido com uma determinada Chave API pode ser efetuado	18
2.5	Verificação se um pedido com um determinado <i>token</i> de um utilizador registado pode ser efetuado	18
2.6	Extração do <i>token</i> da <i>query string</i>	19
2.7	Extração do <i>token</i> da <i>header Authorization</i>	19
2.8	Verificação se um utilizador registado tem permissões suficientes para aceder a uma determinada rota	19

GLOSSÁRIO

Application Programming Interface Interface ou protocolo de comunicação entre um cliente e um servidor [viii](#)

ontologia Representação de conhecimento (conceitos e as relações entre estes) [2](#)

Simplex Programa de Simplificação Administrativa e Legislativa [2](#)

LISTA DE ACRÓNIMOS

- AEAD** Authenticated Encryption with Additional Data [14](#)
- AMA** Agência para a Modernização Administrativa [22](#)
- AP** Administração Pública [2](#), [20](#)
- API** Application Programming Interface [iii](#), [iv](#), [vi](#), [2–8](#), [14–20](#), [22](#), [23](#), *Glossary: Application Programming Interface*
- CC** Cartão de Cidadão [5](#), [7](#), [20](#), [21](#)
- CLAV** Classificação e Avaliação da Informação Pública [iii](#), [iv](#), [2–7](#), [9](#), [14](#), [20–22](#)
- CMD** Chave Móvel Digital [20](#), [21](#)
- CSS** Cascading Style Sheets [4](#), [23](#)
- CSV** Comma Separated Values [3](#)
- DGLAB** Direção-Geral do Livro, dos Arquivos e das Bibliotecas [2](#), [6](#), [7](#)
- HMAC** Hash-based Message Authentication Code [9](#), [10](#), [13](#), [14](#)
- HTML** Hypertext Markup Language [4](#), [23](#)
- HTTP** Hypertext Transfer Protocol [15](#)
- IETF** Internet Engineering Task Force [14](#)
- JOSE** [JSON](#) Object Signing and Encryption [9](#), [10](#)
- JSON** JavaScript Object Notation [iii](#), [viii](#), [3](#), [8–14](#)
- JWE** [JSON](#) Web Encryption [8](#), [9](#), [14](#)
- JWS** [JSON](#) Web Signature [iii](#), [iv](#), [8](#), [9](#), [11–14](#)
- JWT** [JSON](#) Web Token [iii](#), [iv](#), [vi](#), [7–15](#)
- LC** Lista Consolidada [2](#), [3](#)
- NIC** Número de Identificação Civil [6](#), [21](#)
- NSA** National Security Agency [10](#)
- OAS** OpenAPI Specification [22](#), [23](#)
- OASIS** Organization for the Advancement of Structured Information Standards [22](#)
- OCSP** Online Certificate Status Protocol [21](#)
- PDF** Portable Document Format [4](#)
- PIN** Personal Identification Number [20](#), [21](#)
- PKI** Public Key Infrastructure [20](#), [21](#)
- POSIX** Portable Operating System Interface [11](#)

RDF Resource Description Framework 3

REST Representational State Transfer 2

RSA Rivest–Shamir–Adleman 9, 10

SAML Security Assertion Markup Language iii, 13, 14, 22

SDK Software Development Kit 23

SHA-2 Secure Hash Algorithm 2 10

SMS Short Message Service 21

SSO Single Sign On 22

SWT Simple Web Token 13

UM Universidade do Minho 2

XML Extensible Markup Language 3, 13, 14, 22

YAML **YAML** Ain't Markup Language i, 23

INTRODUÇÃO

Vemos atualmente a mudança de paradigma em várias organizações e governos em relação a políticas e estratégias para a disponibilização de dados abertos nos domínios das ciências e da [Administração Pública](#). Quanto à [Administração Pública](#) portuguesa têm sido promovidas políticas para a sua transformação digital com o objetivo de otimização de processos, a modernização de procedimentos administrativos e a redução de papel. De certa forma a agilização de procedimentos da [Administração Pública](#) portuguesa. [Lourenço et al. \(2019\)](#)

De forma a alcançar estes objetivos a [Administração Pública](#) (AP) tem desmaterializado processos e tem promovido a adoção de sistemas de gestão documental eletrónica bem como da digitalização de documentos destinados a serem arquivados. [Lourenço et al. \(2019\)](#)

Por forma a continuar esta transformação da AP a [Direção-Geral do Livro, dos Arquivos e das Bibliotecas](#) (DGLAB) apresentou a iniciativa da [Lista Consolidada](#) (LC) para a classificação e avaliação da informação pública. A LC serve de referencial para a construção normalizada dos planos de classificação e tabelas de seleção das entidades que executam funções do Estado. [Lourenço et al. \(2019\)](#)

Nasce assim o projeto [Classificação e Avaliação da Informação Pública](#) (CLAV) com um dos seus objetivos primordiais a operacionalização da utilização da LC, numa colaboração entre a DGLAB e a [Universidade do Minho](#) (UM) e financiado pelo Simplex. [Lourenço et al. \(2019\)](#)

A plataforma CLAV disponibiliza em formato aberto uma [ontologia](#) com as funções e processos de negócio das entidades que exercem funções públicas (ou seja a LC) associadas a um catálogo de legislação e de organismos. Desta forma, a CLAV viabiliza a desmaterialização dos procedimentos associados à elaboração de tabelas de seleção tendo como base a LC e ao controlo de eliminação e arquivamento da informação pública através da integração das tabelas de seleção nos sistemas de informação das entidades públicas alertando-as quando determinado documento deve ser arquivado ou eliminado. Esta integração promove também a interoperabilidade através da utilização de uma linguagem comum (a LC) usada no registo, na classificação e na avaliação da informação pública. [Lourenço et al. \(2019\)](#)

1.1 MOTIVAÇÃO

A continuação do desenvolvimento da API de dados da CLAV nesta dissertação, seguindo uma metodologia REST, permite a processos ou aplicações aceder aos dados sem a intervenção

humana para além de suportar a plataforma [CLAV](#). Um dos objetivos da [API](#) de dados é permitir futuramente a criação de novas aplicações através desta. Como tal, é extramamente essencial que a [API](#) de dados do [CLAV](#) possua uma boa documentação ajudando futuros programadores ou utilizadores a utilizar a [API](#). Advém daí a necessidade de nesta dissertação realizar a documentação da [API](#) de dados em *Swagger*.

Apesar de o projeto ter em mente a disponibilização aberta de informação pública é necessário controlar a adição, edição e eliminação da informação presente na [Lista Consolidada](#), bem como a informação de utilizadores, da legislação, das entidades, etc, mantendo-a consistente e correta. É, portanto, necessário controlar os acessos à [API](#) de dados com múltiplos níveis de acesso restringindo as operações que cada utilizador pode realizar consoante o seu nível. Desta forma garante-se que apenas pessoal autorizado pode realizar modificações aos dados.

Este controlo de acesso exige a existência de formas de autenticação. Como um cofre para o qual ninguém tem a chave não é útil pelo facto de que algo lá guardado ficará eternamente inacessível, também algo com controlo de acesso seria inútil caso não fosse possível ultrapassar esse controlo de alguma forma. Assim, uma das formas de autenticação usadas, Autenticação.gov, criada pelo Estado português, permite a autenticação dos cidadãos portugueses nos vários serviços públicos [AMA \(2019\)](#) entre os quais, a Segurança Social, o Serviço Nacional de Saúde e a Autoridade Tributária Aduaneira. Sendo este um projeto do Governo Português, a autenticação no [CLAV](#) através do Autenticação.gov é um requisito.

Por forma a contrariar o aumento da complexidade da [API](#) de dados com a adição do controlo de acesso e da autenticação pretende-se investigar se a criação de um API Gateway simplifica a comunicação entre interface/utilizadores e a [API](#) de dados.

1.2 OBJETIVOS

Resumidamente, os objetivos desta dissertação são:

- Documentação em *Swagger* da [API](#) de dados da [CLAV](#)
- Adição de formatos de exportação à [API](#) de dados da [CLAV](#) (para além do já presente [JSON](#), adicionar [CSV](#), [XML](#) e [RDF](#))
- (Continuação da) Integração do Autenticação.gov na [CLAV](#)
- Proteção da [API](#) de dados da [CLAV](#) com múltiplos níveis de acesso
- Estudo da criação de um [API](#) Gateway
- Integração do [CLAV](#) no iAP

ESTADO DA ARTE

2.1 ESTADO DA ARTE DO CLAV

Quando esta dissertação teve início o projeto [CLAV](#) já tinha cerca de 2 anos de desenvolvimento. Assim nesta secção será apresentado o estado da arte do [CLAV](#) quando esta dissertação iniciou aprofundando principalmente os pontos mais importantes sobre o tema desta dissertação.

2.1.1 Estrutura

O [CLAV](#) está dividido em duas partes:

- interface (*front-end*) presente em <http://clav.dglab.gov.pt>
- [API](#) de dados (*back-end* que inclui também duas bases de dados, *GraphDB* e *MongoDB*) presente em <http://clav-api.dglab.gov.pt>.

Cada parte encontra-se numa máquina diferente.

Através da figura 1 é possível ver o possível fluxo tanto de um utilizador a aceder à interface como a de um utilizador a aceder diretamente à [API](#) de dados. No primeiro caso, quando um utilizador acede o servidor da interface do [CLAV](#) é descarregado para o lado do utilizador o ficheiro [HTML](#) (*index*) e os vários ficheiros *JavaScript*, [CSS](#) e *assets* (como imagens, [PDFs](#), etc) quando necessários. O servidor da interface é nada mais que um servidor *web* com recurso ao *Nginx* que hospeda estes ficheiros, os quais representam a interface construída com o *Vue* e o *Vuetify*. Como tal o código apresenta-se todo do lado do utilizador e os pedidos à [API](#) serão feitos do computador do utilizador para o servidor da [API](#) de dados e não do servidor da interface para o servidor da [API](#) de dados. Ou seja, o fluxo de cada um desses pedidos será igual ao fluxo no caso em que se acede diretamente a [API](#) sem uso de qualquer interface.

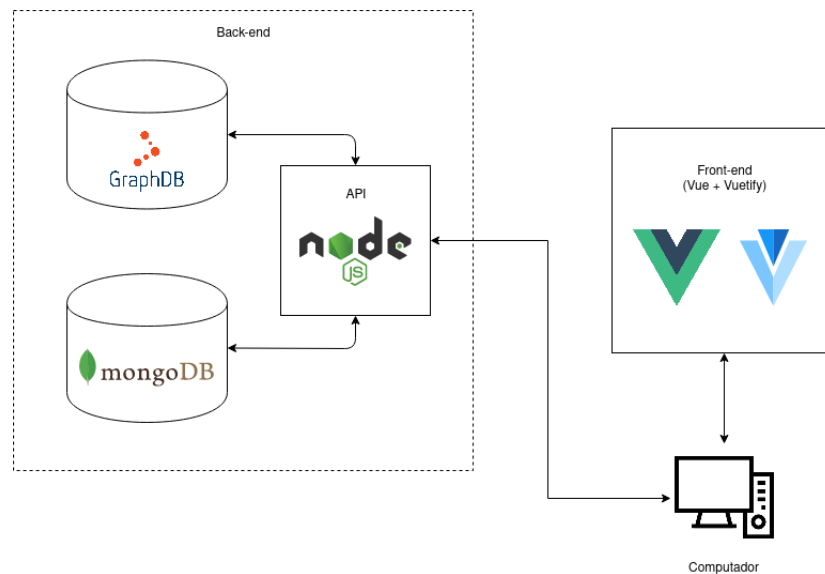


Figura 1: Estrutura do CLAV incluindo a interação de um utilizador com a mesma

2.1.2 Formas de autenticação

A API de dados e a interface estavam inicialmente “juntas” (aplicação monolítica) onde as rotas eram protegidas contudo, com a separação da aplicação em duas partes, ambas partes deixaram de estar protegidas. Devido à plataforma já ter estado protegida esta já possui duas formas de autenticação, através de chaves API ou através de utilizadores registados. Ou seja, tanto o registo de utilizadores e de chaves API já se encontra implementado bem como o *login* de utilizadores.

As chaves API existem por forma a dar acesso a certas rotas da API a aplicações que interajam com a mesma (por exemplo sistemas de informação) sem a necessidade de interação humana.

Já os utilizadores possuem múltiplos níveis de acesso sendo que consoante o seu nível podem ou não aceder a uma rota da interface ou da API. Os utilizadores podem autenticarem-se através de *email* e *password* ou com recurso ao Cartão de Cidadão (CC) através do Autenticação.gov, este último apenas disponível através da interface do CLAV.

A hierarquia dos níveis de acesso, do nível que permite menor para o maior acesso, é a seguinte:

- Nível 0: Chaves API
- Nível 1: Representante Entidade
- Nível 2: Utilizador Simples
- Nível 3: Utilizador Avançado
- Nível 3.5: Utilizador Validador (AD)

- Nível 4: Utilizador Validador
- Nível 5: Utilizador Decisor
- Nível 6: Administrador de Perfil Funcional
- Nível 7: Administrador de Perfil Tecnológico

As chaves API poderão aceder a algumas rotas com método GET. Já os utilizadores poderão realizar todos os pedidos que as chaves API podem realizar mas quanto maior o seu nível de acesso mais rotas poderão aceder.

A proteção da API terá de ter esta hierarquia em conta.

Registo

Como já referido tanto o registo de chaves API como de utilizadores já se encontra implementado.

Para o registo de uma chave API é necessário providenciar um nome, um email e a entidade a que pertence. Após o registo da chave a informação desta chave API é mantida numa base de dados MongoDB.

Um utilizador pode se registar através de email + password ou através do Autenticação.gov. No primeiro caso, ao se registar necessita obviamente de indicar o seu email, a password, o seu nome, a entidade a que pertence e o nível de acesso que pretende. Já no caso do Autenticação.gov para o registo do utilizador é necessário todos os campos anteriores exceto a password (pode ser depois definida), sendo também necessário o campo Número de Identificação Civil (NIC) do utilizador. Caso o registo seja efetuado com recurso à interface do Autenticação.gov apenas será necessário indicar o email, a entidade a que pertence e o nível de acesso que pretende visto que os restantes campos são fornecidos pela Autenticação.gov quando o utilizador se autentica e autoriza nesta a partilha dessa informação com a plataforma do CLAV. A password é armazenada não na sua forma literal mas sim a sua hash ao aplicar a função criptográfica bcrypt. A utilização de funções de hash criptográficas ao armazenar passwords impede que as passwords originais se saibam caso a base de dados seja comprometida. Para além disso, como o bcrypt combina um valor aleatório (salt) com a password do utilizador, é impossível pré-computar a password que deu origem ao hash sem saber o salt¹.

Durante esta tese com a proteção da API ficará apenas possível o registo de utilizadores através de utilizadores que já estejam registados e possuam um nível de acesso suficiente para registar utilizadores. Estes utilizadores registados e autorizados pertencem à entidade DGLAB. Portanto por forma a utilizadores representantes de outras entidades se registarem na plataforma terão de: DGLAB (2019)

- Preencher o formulário disponibilizado para o efeito, para cada representante designado pela entidade;

¹ Para mais informação veja *rainbow table attack*

- O formulário deverá ser assinado por um dirigente superior da Entidade e autenticado com assinatura digital, se o envio for feito por via eletrónica (NB: não serão aceites assinaturas do formulário por dirigentes intermédios). Esta autorização autenticada pelo dirigente superior é o equivalente a uma delegação de competências, uma vez que o representante da entidade passa a ter capacidade para, em nome da entidade, submeter autos de eliminação, propostas de tabelas de seleção e novas classes para a Lista Consolidada;
- O formulário deverá ser remetido à [DGLAB](#) por via postal ou eletrónica, respetivamente, para:
 - [DGLAB](#), Edifício da Torre do Tombo, Alameda da Universidade, 1649-010 Lisboa (formulário assinado manualmente) ou
 - clav@dglab.gov.pt (formulário com assinatura digital).
- Após receção do formulário, a [DGLAB](#) efetuará o(s) respetivo(s) registo(s) até 48 horas úteis;
- Findo esse prazo, o utilizador poderá aceder à plataforma, selecionando a opção “Autenticação”;
- A autenticação, no primeiro acesso, deve ser efetuada com o [Cartão de Cidadão](#).

Login

O *login* apenas está presente para o caso dos utilizadores visto que assim que uma chave [API](#) é registada é enviado por email um [JWT](#) com a duração de 30 dias a ser usado nos pedidos a realizar à [API](#). O utilizador poderá ao fim dos 30 dias renovar a sua chave [API](#), onde é gerado um novo [JWT](#).

Portanto do lado dos utilizadores é possível como já referido realizar o *login* de duas formas através de uma estratégia local ou através do Autenticação.gov.

A estratégia local (email + password) é conseguida através do uso do *middleware Passport*. O *Passport* é um middleware de autenticação para *Node.js* que tem como objetivo autenticar pedidos. [Passport.js \(2019\)](#) Tem como única preocupação a autenticação delegando qualquer outra funcionalidade para a aplicação que a usa. Este *middleware* possui muitas estratégias de autenticação entre as quais a local (email/username + password), [JWT](#), *OAuth²*, *Facebook* ou *Twitter*. Cada estratégia está num módulo independente. Assim as aplicações que usam o *Passport* não terão um peso adicional devido a estratégias que nem sequer usam.

No caso do *login* através do Autenticação.gov, o utilizador tem de se autenticar na interface do Autenticação.gov (a partir do botão disponível na área de autenticação da interface do [CLAV](#)). O fluxo do *login* neste caso é:

² Protocolo *open-source* com o objetivo de permitir a autenticação simples, segura e padrão entre aplicações móveis, *web* e *desktop*

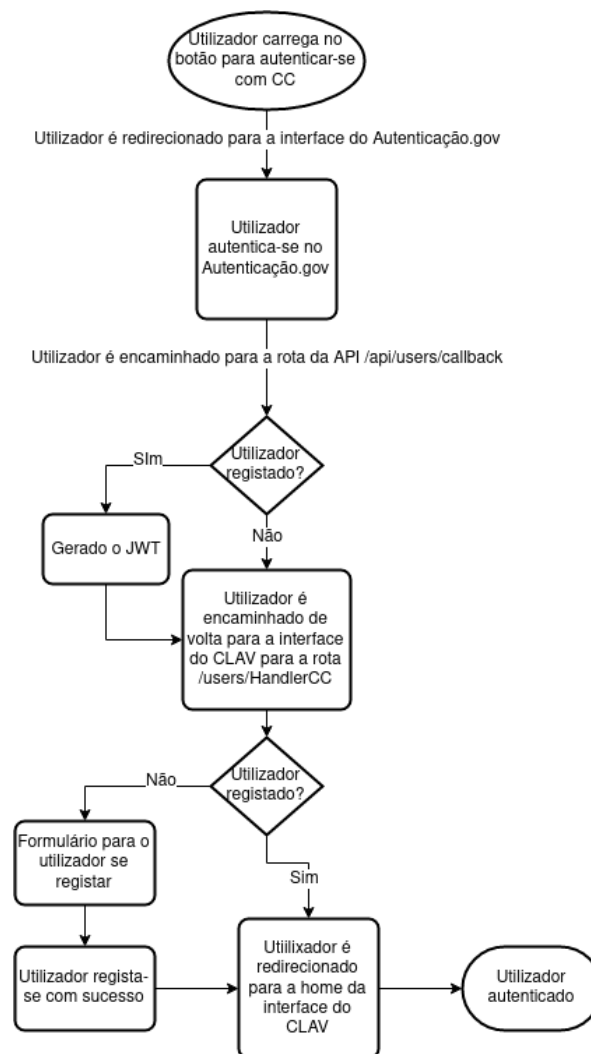


Figura 2: Fluxo do *login* de um utilizador através do Autenticação.gov

No *login* do utilizador é gerado um **JWT** com a duração de 8 horas que deve ser usado nos pedidos a realizar à **API**. No fim das 8 horas o utilizador necessita de se autenticar de novo.

2.2 JSON WEB TOKEN (JWT)

O **JWT** é um *open standard*³ que define uma forma compacta e independente de transmitir com segurança informação entre partes com um objeto **JSON**. Autho (2019) O **JWT** pode ser assinado digitalmente (**JWS**), encriptado (**JWE**), assinado e depois encriptado (**JWS** encriptado, ou seja, um **JWE**, ordem recomendada⁴) ou encriptado e depois assinado (**JWE** assinado, ou seja, um **JWS**).

³ Mais informação em <https://tools.ietf.org/html/rfc7519>

⁴ Mais informação em <https://tools.ietf.org/html/rfc7519#section-11.2>

Caso seja assinado digitalmente é possível verificar a integridade da informação mas não é garantida a sua privacidade contudo podemos confiar na informação do **JWT**. A assinatura pode ser efetuada através de um segredo usando por exemplo o algoritmo **HMAC** ou através de pares de chaves pública/privada usando por exemplo o algoritmo **RSA**. No caso de se usar pares de chaves pública/privada a assinatura também garante que a parte envolvida que tem a chave privada é aquela que assinou o **JWT**.

Por outro lado, os **JWTs** podem ser encriptados garantindo a privacidade destes, escondendo a informação das partes não envolvidas. Nesta secção apenas se falará sobre **JWTs** e **JWSs** (**JWT** assinado). Se pretender saber mais sobre **JWEs** pode ler o capítulo 5 do livro *The JWT Handbook* por Sebastián E. Peyrott.

Sendo assim em que casos é útil o uso de **JWTs**? Dois dos casos são os seguintes:

- Autorização: Este será o caso para o qual o **JWT** será usado na **CLAV**. Quando o utilizador realiza o *login* gera-se um **JWT** por forma a que os restantes pedidos desse utilizador sejam realizados com esse **JWT** (*Single Sign On*). O uso de **JWTs** para estes casos permitem um *overhead* pequeno e a flexibilidade de serem usados em diferentes domínios.
- Troca de informação: No caso de troca de informação entre duas partes os **JWTs** assinados são de bastante utilidade visto que permitem verificar se o conteúdo não foi violado e, no caso de se usar pares de chaves pública/privada para assinar, permitem ter a certeza que o remetente é quem diz ser.

2.2.1 Estrutura do **JWT**

Os **JWTs** são construídos a partir de três elementos, o *header* (objeto **JSON** também conhecido por **JOSE header**), o *payload* (objeto **JSON**) e os dados de assinatura/encriptação (depende do algoritmo usado). Estes elementos são depois codificados em representações compactas (Base64 URL-safe⁵). As codificações Base64 URL-safe de cada elemento são depois concatenadas através de pontos dando origem a uma representação final compacta do **JWT** (**JWS/JWE Compact Serialization**). Na secção 2.2.2 está presente dois diagramas referentes à construção de dois **JWTs** sendo um deles assinado.

eyJhbGciOiJIUzI1NiIsInR5cCI6IkpXVCJ9.
eyJ0YXV1IjoiSm9zw6kgTWYydGlucyIsIm51bSI6ImE3ODgyMSJ9.
tRPSYVsFI-nziRPuAjdGZLN2tUez5MtLML_aAnPplgM

Figura 3: Exemplo de representação compacta de **JWT** (quebra de linhas por forma a melhorar leitura)

De seguida vamos aprofundar cada elemento referido:

Header: O cabeçalho (a vermelho na figura 3) consiste nos seguintes atributos:

⁵ Variante da codificação Base64 onde a codificação gerada é segura para ser usada em *URLs*. Basicamente para a codificação Base64 gerada substitui os caracteres '+' e '/' pelos caracteres '-' e '_' respetivamente. Além disso, remove o carácter de *padding* e proíbe separadores de linha

- O atributo obrigatório (único campo obrigatório para o caso de um JWT não encriptado) `alg` (algoritmo) onde é indicado que algoritmo é usado para assinar e/ou descriptar. O seu valor pode ser por exemplo HS256 (HMAC com o auxílio do SHA-256⁶) ou RSA.
- O atributo opcional `typ` (tipo do *token*) em que o seu valor é “JWT”. Serve apenas para distinguir os JWTs de outros objetos que têm um JOSE header.
- O atributo opcional `cty` (tipo do conteúdo (*payload*)). Se o *payload* conter atributos arbitrários este atributo não deve ser colocado. Caso o *payload* for um JWT⁷ então este atributo deve ter o valor de “JWT”.

O cabeçalho é de grande importância visto que permite saber se o JWT é assinado ou encriptado e de que forma o resto do JWT deve ser interpretado.

```
{  
  "alg": "HS256",  
  "typ": "JWT"  
}
```

Exemplo 2.1: Header usado para construir o JWT da figura 3

Payload: O *payload* (a roxo na figura 3) contém a informação/dados que pretendemos transmitir com o JWT. Não há atributos obrigatórios contudo existem certos atributos que têm um significado definido (atributos registados).

Existem 7 atributos registados (*registered claims*): Peyrott (2018)

- `iss` (*issuer*): Identificador único (*case-sensitive string*) que identifica unicamente quem emitiu o JWT. A sua interpretação é específica a cada aplicação visto que não há uma autoridade central que gere os emissores.
- `sub` (*subject*): Identificador único (*case-sensitive string*) que identifica unicamente de quem é a informação que o JWT transporta. Este atributo deve ser único no contexto do emissor, ou se tal não for possível, globalmente único. O tratamento do atributo é específico a cada aplicação.
- `aud` (*audience*): Identificador único (*case-sensitive string*) ou *array* destes identificadores únicos que identificam unicamente os destinatários pretendidos do JWT. Ou seja, quem lê o JWT se não estiver no atributo `aud` não deve considerar os dados contidos no JWT. O tratamento deste atributo também é específico a cada aplicação.

6 Função pertencente ao conjunto de funções *hash* criptográficas Secure Hash Algorithm 2 (SHA-2) desenhadas pela NSA

7 JWT aninhado (*nested JWT*)

- `exp` (*expiration (time)*): Um número inteiro que representa uma data e hora específica no formato *seconds since epoch* definido pela [POSIX](#)⁸, a partir da qual o **JWT** é considerado inválido (expira).
- `nbf` (*not before (time)*): Representa o inverso do atributo `exp` visto que é um número inteiro que representa uma data e hora específica no mesmo formato do atributo `exp`, mas que a partir da qual o **JWT** é considerado válido.
- `iat` (*issued at (time)*): Um número inteiro que representa uma data e hora específica no mesmo formato dos atributos `exp` e `nbf` na qual o **JWT** foi emitido.
- `jti` (*JWT ID*): Identificador único (*string*) do **JWT** que permite distinguir **JWTs** com conteúdo semelhante. A implementação tem de garantir a unicidade deste identificador.

Estes atributos registados têm todos 3 caracteres visto que um dos requisitos do **JWT** é ser o mais pequeno/compacto possível.

Existem depois mais dois tipos de atributos, públicos e privados. Os atributos públicos podem ser definidos à vontade pelos utilizadores de **JWTs** mas têm de ser registados em *IANA JSON Web Token Claims registry* ou definidos por um espaço de nomes resistente a colisões de forma a evitar a colisão de atributos. Já os atributos privados são aqueles que não são nem registados nem públicos e podem ser definidos à vontade pelos utilizadores de **JWTs**. Os dois atributos usados no exemplo 2.2 (`name` e `num`) são atributos privados.

```
{
  "name": "José Martins",
  "num": "a78821"
}
```

Exemplo 2.2: *Payload* usado para construir o **JWT** da figura 3

Signature: A assinatura (a azul da figura 3) é criada ao usar o algoritmo indicado na *header* no atributo `alg` tendo como um dos argumentos os elementos codificados da *header* e do *payload* juntos por um ponto e como outro argumento um segredo. O resultado do algoritmo é depois codificado em Base64 URL-safe. Esta assinatura no caso dos **JWSs** é usada para verificar a integridade do **JWT** e caso seja assinado com uma chave privada permite também verificar se o remetente é quem diz ser. No caso de o atributo `alg` for `none` a assinatura é uma *string* vazia.

```
HMACSHA256(
  base64UrlEncode(header) + "." +
  base64UrlEncode(payload),
  segredo1.-uminho!clav
)
```

⁸ Mais informação em https://pubs.opengroup.org/onlinepubs/9699919799/basedefs/V1_chap04.html#tag_04_16

Exemplo 2.3: *Signature* usado para construir o JWT da figura 3

2.2.2 Criação de JWT/JWS

Na figura 4 é apresentada a construção de um JWT em que o atributo `alg` (algoritmo) tem o seu valor igual a `none`, ou seja, o JWT não é assinado nem encriptado.

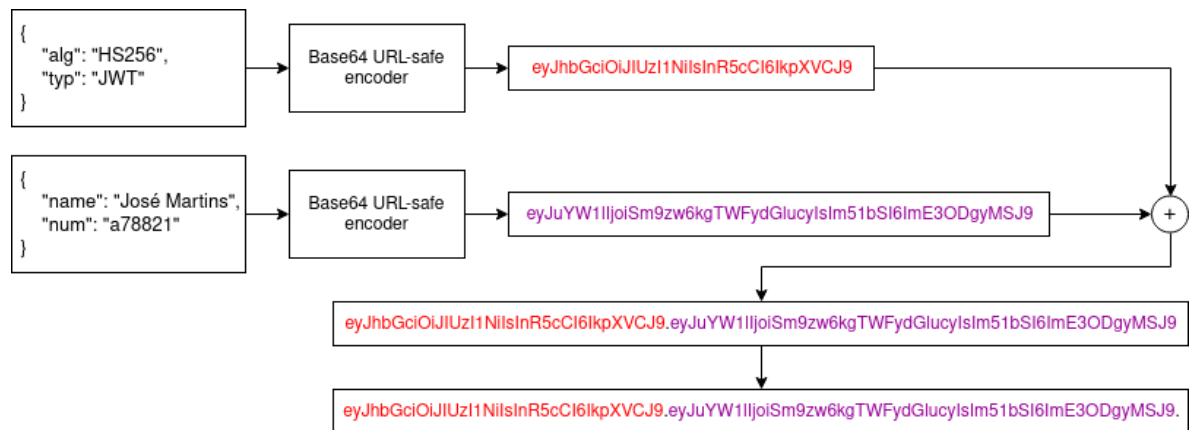


Figura 4: Criação de um JWT

Já na figura 5 é demonstrada a construção de um JWT assinado, ou seja, um JWS.

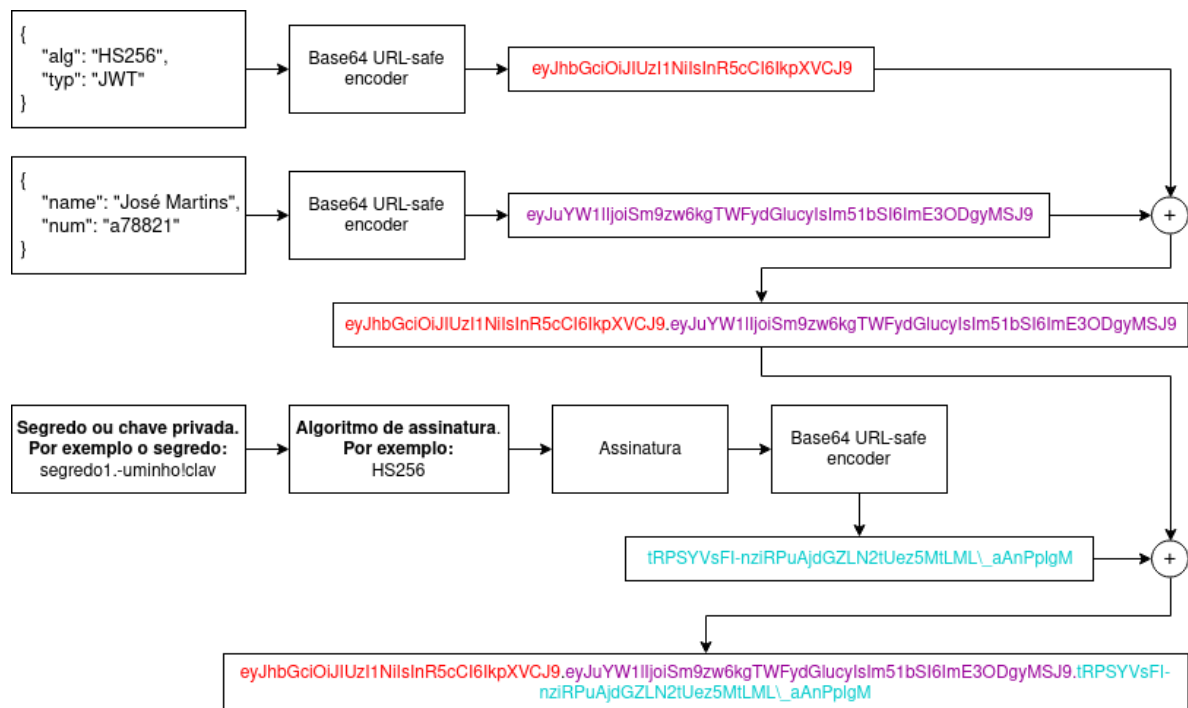


Figura 5: Criação de um JWS

2.2.3 Alternativas ao JWT

Algumas alternativas ao JWT passam pelo uso de Simple Web Token (SWT) ou Security Assertion Markup Language (SAML). Se compararmos o JWT ao SAML, o JSON é menos verboso que o XML e mesmo quando codificado o seu tamanho é menor.

De um ponto de vista de segurança o SWT apenas pode ser assinado simetricamente por um segredo partilhado usando o algoritmo HMAC. Já o JWT e o SAML podem usar pares de chaves pública/privada para assinar. Contudo assinar XML com XML Digital Signature sem introduzir buracos de segurança é mais difícil quando comparado com a simplicidade de assinar JSON. Autho (2019)

Houve contudo algumas bibliotecas de JWT com vulnerabilidades devido ao atributo alg da header do JWT. Havia duas situações de vulnerabilidade:

- As bibliotecas ao fazer a verificação (recebe um JWT e um segredo/chave pública como argumentos) de um JWT com alg igual a none assumiam logo que o JWT era válido mesmo que o segredo/chave pública fosse diferente de vazio. Ou seja, com a simples alteração do atributo alg e com a remoção da signature podia-se alterar o payload do JWT que o servidor iria continuar a considerar que a integridade do JWT não foi colocada em causa mesmo que os JWTs gerados pelo servidor tivessem sido com um algoritmo e com recurso a um segredo/chave privada.

- As bibliotecas ao fazer a verificação seja um algoritmo simétrico ou assimétrico apenas tinham como parâmetros o JWT e o segredo/chave pública. Isto gera uma segunda vulnerabilidade, se o servidor estiver à espera de um JWT assinado com pares de chaves pública/privada mas recebe um JWT assinado com HMAC vai assumir que a chave pública é o segredo a usar no algoritmo HMAC. Ou seja, se se criar um JWT com o atributo alg igual a HMAC e a assinatura for gerada usando o algoritmo HMAC com o segredo a ser a chave pública, podemos alterar o *payload* (antes de assinar) que o servidor vai considerar que o JWT não foi maliciosamente alterado.

Portanto a flexibilidade de algoritmos dada pelo JWT coloca em causa a segurança pelo que da parte das bibliotecas o atributo alg não deve ser considerado McLean (2015) bem como deve ser *deprecated* e deixar de ser incluído nos JWTs⁹.

A biblioteca que será usada na CLAV, jsonwebtoken, já endereçou estes problemas¹⁰ pelo que estas vulnerabilidades não estarão presentes na CLAV.

Por outro os parsers de JSON são mais comuns em grande parte das linguagens de programação visto que os JSONs mapeiam diretamente para objetos ao contrário do XML que não tem um mapeamento natural de documento para objeto. Autho (2019) Portanto isto torna mais fácil trabalhar com JWT do que com SAML.

Já quando comparamos os JWT a *cookie sessions*, o JWT tem a vantagem de as sessões puderem ser *stateless* enquanto que as *cookies* são *statefull*. Contudo, ser *stateless* não permite por exemplo que a qualquer altura se possa revogar um JWT. Para endereçar esse problema é necessário, por exemplo, guardar (*statefull*) os JWTs numa base de dados associando cada JWT ao identificador único de quem é a informação contida no JWT (o uso de uma *whitelist*). Assim para revogar um JWT bastaria removê-lo da base de dados.

Outra alternativa ao JWT seria *sessionIDs*. As *sessionIDs* são *strings* longas, únicas e aleatórias. É possível revogar um *sessionID*, ao contrário do JWT, bastando para isso remover o *sessionID* da base de dados. Mais à frente na secção ?? veremos outra possível alternativa com recurso a *API gateways* em que uma possível abordagem é dentro da *API gateway* ser através de JWTs, fora ser usado *sessionIDs* e na “entrada” da *API gateway* ter uma base de dados que associa os *sessionsIDs* aos JWTs.

Por fim, uma outra alternativa bastante semelhante ao JWT é *Branca*. *Branca* usa o algoritmo simétrico IETF XChaCha20-Poly1305 AEAD que permite criar *tokens* encriptados e que garantam integridade. Tem também uma região de *payload* como JWT com a única diferença é que este *payload* não tem um estrutura definida. Não necessita da *header* visto que o algoritmo usado não varia. Em vez de usar codificação em Base64 URL-safe usa Base62 que também é URL-safe. Para além disso o *token* gerado é geralmente de menor dimensão do que o gerado pelo JWT sendo como tal mais compacto que o JWT. Tuupola (2017) Visto que o *Branca* encripta e garante integridade de uma forma mais simples que o JWT permite (para isso era necessário recorrer a um JWE que tem no seu *payload* um JWS), sendo como tal propenso

⁹ Ver <https://gist.github.com/paragonie-scott/c88290347c2589b0cd38d8bb6ac27c03>

¹⁰ Ver <https://github.com/auth0/node-jwt-token/commit/1bb584bc382295eeb7ee8c4452a673a77a68b687>

a menos erros de programação. Contudo, o *Branca* ainda não é muito conhecido nem um *standard* da indústria, ao contrário do *JWT*, mas não deixa de ser algo a ter em conta para o futuro.

2.3 AUTORIZAÇÃO DE PEDIDOS À API

Quanto à forma como os pedidos serão feitos à *API* poderão ser feitos de duas formas, através da *header HTTP Authorization* ou através da *query string* do pedido em um dos seguintes campos:

token caso seja o token de um utilizador:

`http://example.com/path/page?token=<token>`

apikey caso seja uma Chave *API*:

`http://example.com/path/page?apikey=<Chave API>`

Na *header Authorization* irá se usar o esquema de autenticação *Bearer*¹¹ com umas pequenas alterações. Portanto o conteúdo da *header Authorization*:

- Caso seja o token de um utilizador:
token <token>
- Caso seja uma Chave *API*:
apikey <Chave API>

ao invés do esquema de autenticação predefinido do *Bearer*: *Bearer* <token/Chave API>

Convém referir que a Chave *API* é também um *token*. A divisão entre utilizadores e chaves *API* permite uma mais fácil gestão dos *tokens* recebidos pela *API* bem como usar duas formas diferentes de os gerar/verificar com o possível benefício de melhorar a segurança da *API*.

Os *tokens* gerados pela *API* serão *JWTs*. Contudo poderiam ser outro tipo de *tokens* (por exemplo uma *string* aleatória e única) que o processo de envio dos *tokens* para a *API* manter-se-ia igual.

Após descrito como poderão ser feitos os pedidos à *API*, irá ser apresentado possíveis fluxos de interação entre utilizadores (*browser*, *app*, etc) e o servidor da *API*.

O fluxo de autenticação de um utilizador na *API* a ser implementado será o seguinte:

¹¹ Mais informação em <https://tools.ietf.org/html/rfc6750>

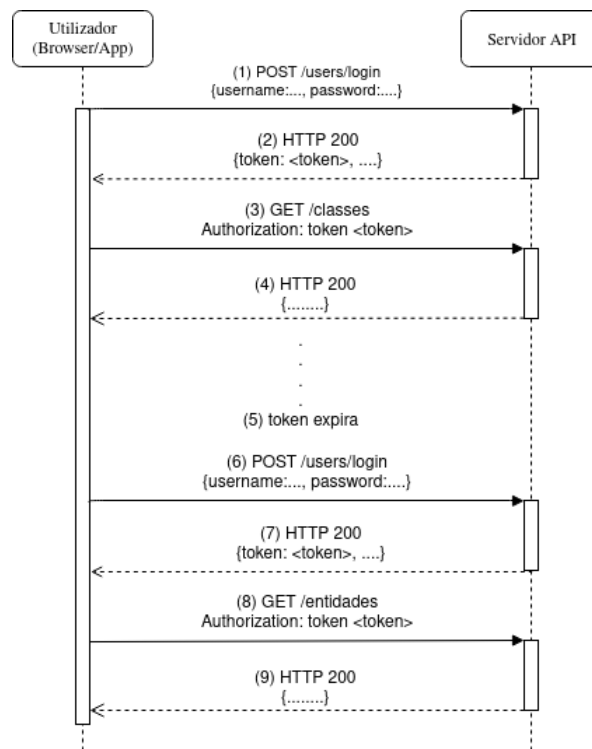


Figura 6: Fluxo de autenticação e posteriores pedidos de um utilizador

1. Utilizador autentica-se ao providenciar o seu *email* e a sua *password*
2. Caso o utilizador se autentique com sucesso é devolvido um *token* que deve ser usado nos restantes pedidos até expirar
3. Utilizador realiza um pedido para obter as classes, colocando o token na *header Authorization*
4. Caso o *token* enviado seja válido e não tenha expirado são devolvidas as classes
5. *Token* expirou após o tempo definido
6. Utilizador realiza uma nova autenticação por forma a obter um novo *token*
7. Caso o utilizador se autentique com sucesso é devolvido um *token* que deve ser usado nos restantes pedidos até expirar
8. Utilizador realiza um pedido para obter as entidades, colocando o token na *header Authorization*
9. Caso o *token* enviado seja válido e não tenha expirado são devolvidas as entidades

O fluxo de autenticação e renovação de uma Chave API na API a ser implementado será o seguinte:

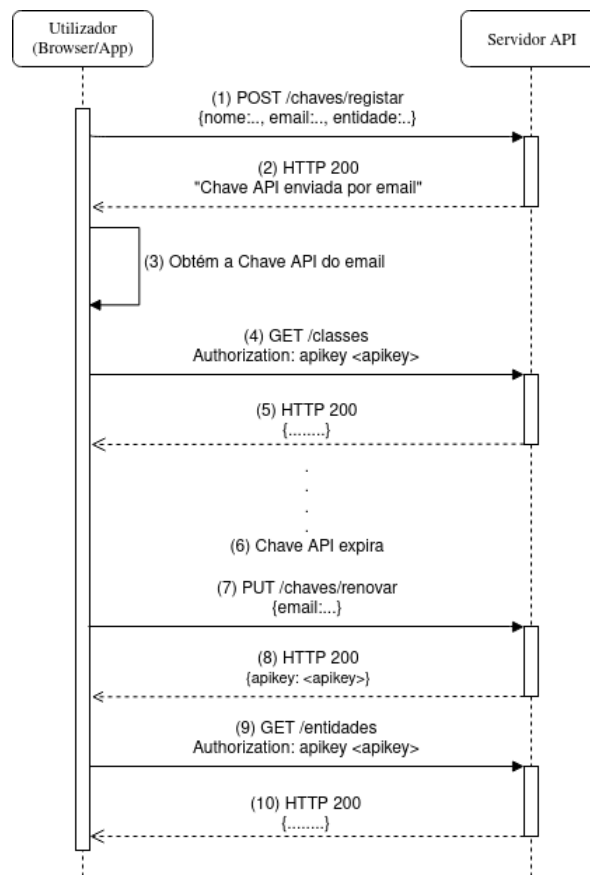


Figura 7: Fluxo de autenticação e posteriores pedidos de uma chave API

1. Utilizador cria uma chave API ao providenciar o nome, email e entidade
2. A Chave API é enviada para o email fornecido pelo utilizador com o objetivo de ser usada nos próximos pedidos
3. O utilizador obtém a chave API do email enviado
4. Utilizador realiza um pedido para obter as classes, colocando a chave API na *header Authorization*
5. Caso a Chave API enviada seja válida e não tenha expirado são devolvidas as classes
6. Chave API expirou após o tempo definido
7. Utilizador renova a Chave API ao providenciar o email usado para criar a Chave API
8. A nova (renovada) Chave API é devolvida para ser usada nos restantes pedidos
9. Utilizador realiza um pedido para obter as entidades, colocando a Chave API na *header Authorization*
10. Caso a Chave API enviada seja válida e não tenha expirado são devolvidas as entidades

2.3.1 Verificação dos tokens no servidor API

Para proteger as rotas da API é necessário haver métodos de verificação dos *tokens* com o objetivo de decidir se o utilizador/Chave API pode aceder a uma determinada rota. De seguida será apresentado o pseudo-código de verificação dos *tokens* tendo em conta que os utilizadores registados conseguem aceder a todas as rotas que as Chaves API conseguem mas que o inverso não acontece. Ou seja, um utilizador registado até o de nível mais baixo por exemplo, consegue aceder a todas as rotas que as Chaves API tem acesso e mais algumas nas quais as Chaves API não têm permissões de acesso.

Por forma a validar se uma Chave API pode aceder a uma determinada rota pode ser executada a seguinte função em *middleware*:

```
function isLoggedInKey(req, res, next)
  key = getJWTfromHeaderOrQueryString('apikey')

  if key then
    keyBD = getKeyFromMongoDB(key)
    if keyBD then
      res = jwt.verify(key, secretForAPIkey)
      if res != expired then
        if keyBD.active == True then
          return next()
        else
          return err
      else
        return err
    else
      return err
  else
    return isLoggedInUser(req, res, next)
```

Exemplo 2.4: Verificação se um pedido com uma determinada Chave API pode ser efetuado

É importante destacar a chamada da função `isLoggedInUser` que é executada no caso de não ser detetado uma Chave API no pedido (na *header Authorization* ou na *query string apikey*) e como tal, com essa chamada, tenta-se perceber se afinal foi passado um *token* de um utilizador já que todos os utilizadores conseguem aceder às rotas que as Chaves API conseguem como já referido.

No seguimento, para validar se um determinado *token* de um utilizador registado pode aceder a uma determinada rota pode ser executada a seguinte função em *middleware*:

```
function isLoggedInKey(req, res, next)
  key = getJWTfromHeaderOrQueryString('token')

  if key then
    res = jwt.verify(key, secretForToken)
    if res != expired then
```

```

    if keyBD.active == True then
        return next()
    else
        return err
    else
        return err
else
    return err

```

Exemplo 2.5: Verificação se um pedido com um determinado *token* de um utilizador registado pode ser efetuado

A obtenção do *token* bem como a verificação deste *token* pode ser obtido através da utilização da estratégia do passport chamada `passport-jwt`.

Além disso as obtenções dos *tokens* tanto das Chaves API como de *tokens* de utilizadores registados podem ser obtidos através da utilização de extratores presentes na estratégia `passport-jwt`. Assim para extrair o *token* da *query string* basta:

```

var ExtractJWT = require("passport-jwt").ExtractJwt
token = ExtractJWT.fromUrlQueryParameter("<nome do campo, 'token' ou 'apikey' no caso da CLAV>")

```

Exemplo 2.6: Extração do *token* da *query string*

Já para extrair o *token* da *header Authorization* bastaria:

```

var ExtractJWT = require("passport-jwt").ExtractJwt
token = ExtractJWT.fromAuthHeaderWithScheme("<palavra antes do token, 'Bearer' no caso dum bearer token, 'token' ou 'apikey' no caso da CLAV>")

```

Exemplo 2.7: Extração do *token* da *header Authorization*

Para verificar se o utilizador registado tem um nível suficiente para aceder a uma rota, depois de se verificar que o utilizador está autenticado (`isLoggedInUser`), deve-se executar também em *middleware* a seguinte função:

```

function checkLevel(clearance)
    return function(req, res, next)
        havePermissions = False

        if clearance is Array then
            if req.user.level in clearance then
                havePermissions = True
            else
                if req.user.level >= clearance then
                    havePermissions = True

        if havePermissions then
            return next()
        else

```

```
return err
```

Exemplo 2.8: Verificação se um utilizador registado tem permissões suficientes para aceder a uma determinada rota

Ou seja, a variável `clearance` poderá ser uma lista de números ou apenas um número. No primeiro caso verifica-se que o nível do utilizador está presente na lista, em caso afirmativo então o utilizador tem permissões para aceder. Já no segundo caso, o utilizador só terá permissões para aceder se o seu nível foi igual ao superior ao `clearance`.

Com estas três funções (`isLoggedInKey`, `isLoggedInUser` e `checkLevel`) é possível proceder à proteção da API da CLAV garantindo que utilizadores com diferentes níveis de acesso apenas conseguem aceder ao que lhes é permitido.

2.4 AUTENTICAÇÃO.GOV

O Autenticação.gov surgiu da necessidade de identificação unívoca de um utilizador perante sítios na Web. AMA (2018) Será esta quem realiza o processo de autenticação do utilizador e que fornecerá os atributos do utilizador necessários para identificar o utilizador numa entidade (*website*/portal).

O CC em conjunto com o Autenticação.gov permite obter os identificadores dos utilizadores junto das entidades participantes da iniciativa do CC (funcionalidade de Federação de Identidades da Plataforma de Interoperabilidade da Administração Pública). Além disso, o Autenticação.gov gere os vários fornecedores de atributos disponíveis bem como possui uma estreita ligação com a infraestrutura de chave pública do Cartão de Cidadão (Public Key Infrastructure (PKI)), com o intuito de manter os elevados níveis de segurança e privacidade no processo de autenticação e identificação. AMA (2018)

O Autenticação.gov permite também a criação de credenciais comuns a todos os sites da AP, ou seja, o utilizador apenas necessita de se autenticar uma vez que poderá aceder aos vários portais (Portal do Cidadão, etc) com a mesma autenticação.

Para além disso o utilizador pode autenticar-se utilizando outros certificados digitais que não o CC (por exemplo Chave Móvel Digital (CMD), *user+password* ou redes sociais, estes dois últimos quando o *website*/portal necessita apenas de conhecer do utilizador o *email*).

No projeto CLAV irá ser implementado a autenticação com recurso ao Autenticação.gov através de dois certificados digitais diferentes:

- **Cartão de Cidadão (CC)**: Já se encontra implementado como referido na secção 2.1.2. A autenticação é realizada através da leitura do CC (através de um leitor de cartões sendo necessário a instalação de *software* do Autenticação.gov para proceder à leitura do CC) e posterior inserção do PIN de autenticação recebido quando se cria/renova o CC.
- **Chave Móvel Digital (CMD)**: Um dos objetivos desta tese é a implementação da autenticação com recurso a este certificado digital. Com o CMD, após o utilizador associar

um número de telemóvel ao **NIC**, o utilizador pode autenticar-se com o número de telemóvel, o código **PIN** da **CMD** e o código de segurança temporário enviado por **SMS**.

De forma a completar a figura 2 apresenta-se de seguida o fluxo de pedidos efetuado entre o **CLAV** e o Autenticação.gov de forma a autenticar um utilizador na **CLAV**: **AMA (2018)**

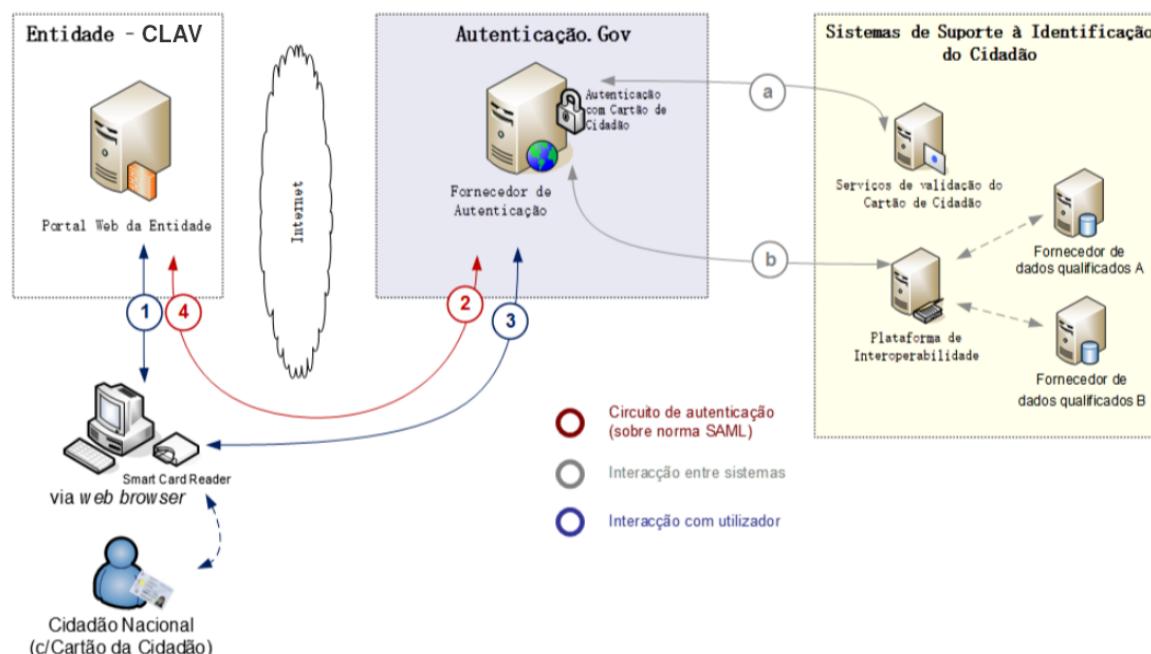


Figura 8: Fluxo de pedidos entre **CLAV** e o Autenticação.gov de forma a autenticar um utilizador na **CLAV**. Fonte: **AMA (2018)**

- O utilizador pretende aceder à área privada do portal de uma entidade (do **CLAV**), na qual é necessário que comprove a sua identidade;
- O portal da entidade (**CLAV**) delega a autenticação e redireciona o utilizador para o **Autenticação.gov**, juntamente com um pedido de autenticação assinado digitalmente;
- O **Autenticação.gov** valida o pedido de autenticação recebido e solicita a autenticação do utilizador com recurso ao seu **CC** pedindo a inserção do seu **PIN** de autenticação. Durante este processo, o **Autenticação.gov** efetua as seguintes operações internas:
 - Valida as credenciais do utilizador com recurso à **PKI** do **CC** via **OCSP**
 - Obtém atributos que sejam solicitados pelo portal da entidade (**CLAV**) junto dos vários fornecedores de atributos qualificados. Esta operação é efetuada via **Plataforma de Interoperabilidade**. Este processo pode incluir a obtenção de dados da **Federação de Identidades** ou de outras Entidades.
- A identificação e atributos do utilizador são autenticadas e assinados digitalmente pelo **Autenticação.gov**, após o que redireciona o utilizador de volta ao portal da entidade ori-

ginal (CLAV). Cabe à entidade (CLAV) a validação das credenciais do Autenticação.gov e utilização dos atributos do cidadão.

A troca de pedidos entre o CLAV e o Autenticação.gov é feita através de SAML 2.0 (com as extensões que a AMA considera obrigatórias). De seguida será feita uma pequena introdução ao SAML 2.0.

2.4.1 SAML 2.0

O Security Assertion Markup Language (SAML) define uma *framework standard* em XML. Lockhart et al. (2005) Foi aprovado pela OASIS e permite a troca segura de informação de autenticação e autorização entre diferentes entidades. Através do SAML é possível através de uma credencial (*login* de um utilizador) aceder autenticado a um conjunto de *websites*. Esta funcionalidade é conhecida por Single Sign On (SSO).

Existem três tipos de papéis em SAML: Petters (2018)

- Utilizador
- *Identity Provider*: Realiza a autenticação de quem o utilizador é quem diz ser e envia essa informação ao *Service Provider* junta com as permissões de acesso do utilizador para o serviço
- *Service Provider*: Precisa de autenticação do *Identity Provider* para poder dar autorização ao utilizador

O documento XML enviado pelo *Identity Provider* para o *Service Provider* é conhecida por SAML Assertion. Existem três tipos de SAML Assertion: Petters (2018)

- *Authentication Assertion*: Prova a identificação de um utilizador e fornece a hora em que o utilizador se autenticou e o método de autenticação usado
- *Attribution Assertion*: Envia SAML attributes (formato de dados que contém informação acerca do utilizador) para o *Service Provider*
- *Authorization Assertion*: Indica se o utilizador está autorizado a usar o serviço ou se o *Identity Provider* recusou o pedido à inserção de uma password errada ou por falta de permissões para usar o serviço

No projeto CLAV o utilizador final é o utilizador da CLAV, o *Identity Provider* é representado pelo Autenticação.gov e o *Service Provider* é representado pela CLAV.

2.5 SWAGGER

O Swagger é um ecossistema de ferramentas para desenvolver APIs com a OpenAPI Specification (OAS).

Até 2015 o *Swagger* consistia numa especificação e num ecossistema de ferramentas para implementar a especificação. Em 2015 a fundadora do *Swagger*, *SmartBear Software*, doou a especificação *Swagger* para a *Linux Foundation* e renomeou a especificação para [OpenAPI Specification](#). [Swagger \(2019\)](#)

A especificação é agora desenvolvida pela *OpenAPI Initiative* que envolve várias empresas tecnológicas entre as quais *Microsoft*, *Google*, *IBM* e a fundadora *Smartbear Software*.

Já o conjunto de ferramentas *Swagger* inclui ferramentas *open-source*, gratuitas e comerciais que podem ser usadas em diferentes estágios do ciclo de vida de uma [API](#). Algumas das ferramentas são: [Pinkham \(2017\)](#)

- **Swagger Editor**: Permite editar especificações *OpenAPI* em [YAML](#) no *browser* bem como pré-visualizar a documentação em tempo real
- **Swagger UI**: Coleção de *assets* [HTML](#), [JavaScript](#) e [CSS](#) que geram dinamicamente documentação a partir de uma especificação *OpenAPI* de uma [API](#)
- **Swagger Codegen**: Permite a geração de bibliotecas cliente da [API](#) (geração [SDK](#)), *server stubs* e documentação automática a partir de uma especificação *OpenAPI*
- **Swagger Inspector** (gratuita): Ferramenta de testes de [APIs](#) que permite validar as [APIs](#) e gerar definições *OpenAPI* de [APIs](#) existentes
- **SwaggerHub** (gratuita e comercial): Desenho e documentação de [APIs](#), construído para equipas que trabalham com *OpenAPI*

O *Swagger* possui um ecossistema que permite criar uma [API](#) de raiz até ao fim de forma estruturada. Contudo, visto que já temos grande parte da [API](#) construída o *Swagger* vai ser usado apenas para uma das últimas fases da construção da [API](#), a documentação da [API](#).

O PROBLEMA E OS SEUS DESAFIOS

CONCLUSÃO

BIBLIOGRAFIA

- AMA. *Autenticação.gov - Fornecedor de autenticação da Administração Pública Portuguesa*, 1.5.1 edition, 12 2018.
- AMA. Autenticação.gov, 2019. URL <https://autenticacao.gov.pt/fa/Default.aspx>. Acedido a 2019-11-20.
- Auth0. Introduction to JSON Web Tokens, 2019. URL <https://jwt.io/introduction/>. Acedido a 2019-12-19.
- DGLAB. CLAV - Classificação e Avaliação da Informação Pública, 2019. URL <http://clav.dglab.gov.pt>. Acedido a 2019-12-15.
- Hal Lockhart, Thomas Wisniewski, Prateek Mishra, and Nick Ragouzis. *Security Assertion Markup Language(SAML) V2.0 Technical Overview*. OASIS, 7 2005.
- Alexandra Lourenço, José Carlos Ramalho, Maria Rita Gago, and Pedro Penteado. Plataforma CLAV: contributo para a disponibilização de dados abertos da Administração Pública em Portugal. Acedido a 2019-11-20, 7 2019. URL <http://hdl.handle.net/10760/38643>.
- Tim McLean. Critical vulnerabilities in JSON Web Token libraries, 3 2015. URL <https://auth0.com/blog/critical-vulnerabilities-in-json-web-token-libraries/>. Acedido a 2019-12-22.
- Passport.js. Overview, 2019. URL <http://www.passportjs.org/docs/>. Acedido a 2019-12-17.
- Jeff Petters. What is SAML and How Does it Work?, 8 2018. URL <https://www.varonis.com/blog/what-is-saml/>. Acedido a 2019-12-26.
- Sebastián E. Peyrott. *The JWT Handbook*. 0.14.1 edition, 2018.
- Ryan Pinkham. What Is the Difference Between Swagger and OpenAPI?, 10 2017. URL <https://swagger.io/blog/api-strategy/difference-between-swagger-and-openapi/>. Acedido a 2019-12-27.
- Swagger. What is Swagger?, 2019. URL <https://swagger.io/tools/open-source/getting-started/>. Acedido a 2019-12-27.
- Mika Tuupola. Branca as an Alternative to JWT?, 8 2017. URL <https://appelsiini.net/2017/branca-alternative-to-jwt/>. Acedido a 2019-12-22.

NB: place here information about funding, FCT project, etc in which the work is framed.
Leave empty otherwise.